tmmob
makina mühendisleri odası
izmir şubesi

ÖLÇÜMBİLİM
SEMPOZYUMU VE SERGİSİ

Sezyum (Cs) atomunun aşırı ince geçiş frekansı	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
Işığın vakumdaki hızı	c	299 792 458	$m\ s^{-1}$
Planck sabiti*	h	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$	$J\ Hz^{-1}$
Elementer (temel) yük*	e	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$	C
Boltzmann sabiti*	k	$1.380\ 649 \times 10^{-23}$	$J\ K^{-1}$
Avogadro sabiti*	N_A	$6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Aydınlatma etkisi	K_{cd}	683	$lm\ W^{-1}$

20 - 22 Kasım 2019
MMO TEPEKULE KONGRE VE SERGİ MERKEZİ

BİLDİRİLER KİTABI

tmmob
makina mühendisleri odası
izmir şubesi

ÖLÇÜMBİLİM SEMPOZYUMU

BİLDİRİLER KİTABI

İZMİR
KASIM 2019

tmmob
makina mühendisleri odası
izmir şubesi

ISBN 978-605-01-1315-0

Adres

TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
MMO Tepekule Kongre Sergi ve İş Merkezi
Anadolu Cad. No: 40 Kat:M2 Bayraklı - İzmir
Telefon: 0 232 462 33 33 Faks: 0 232 486 20 60
e-posta: izmir@mmo.org.tr http://izmir.mmo.org.tr

Dizgi Tasarım
TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

MMO YAYIN NO: E/MMO/710

Bu yayın Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi tarafından derlenmiştir. Makina Mühendisleri Odası bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir. Bu eserin yayın hakkı Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi'ne aittir. Kitaptaki bilgiler kaynak gösterilerek kullanılabilir.

DANIŞMANLAR KURULU

Ayfer Adıgüzel
Fatma Akçadağ
Ümit Akçadağ
Müslüm Akgöz
Sibel Aslı Akgöz
Nihat Akkuş
Meheddin Arifoviç
Muharrem Aşar
Seda Aytekin
Mehmet Ayyıldız
Özcan Bazkır
Eyüp Bilgiç
Nimetullah Burnak
Hüseyin Çaycı
Mustafa Çetintaş
Vahit Çiftçi
Turan Çoban
Alev Çorman
Erkan Danacı
Aynur Davut
Çetin Doğan
Oktay Tamer Doğan
Lev Dorossinski
M. Numan Durakbaşa
Yasin Durgut
Fatih Eğilmez
Ahmet Ekerim
Okhan Ganioğlu
Turgut Gülmez
Gülay Gülmez
Yakup Gülmez
Abdullah Hamarat
Ramiz Hamid
Serhat İkizoğlu
Sevda Kaçmaz
Murat Kalemci
Üzeyir Karagöz
Soner Karataş
S. Engin Kılıç
M.Fatih Kocabeyler
Bahattin Koç
Arif Koyuncu
Ahmet Merev
Yaşar Odacıoğlu
Ali Oral
Hacer Şekerci Öztura
Melda Patan Alper
Enver Sadıkoğlu
Gökçe Sarıyeli
Hüseyin Sözeri
Tanıl Tarhan
Serhat Tigrel
Koray Tunçalp
Derya Turgay
Enis Turhan
Saliha Turhan
Ayhan Türkel
A. Kamuran Türkoğlu
Hüseyin Uğur
Hanife Ural
Ali Uytun
Bülent Ünsal
Uğur Yücesan
Besim Yüksel

YÜRÜTME KURULU

Bülent Aydemir
Atakan Baştürk
M. Berkay Eriş
Ahmet İnce
İlknur Koçaş Kozbe
Ziya Haktan Karadeniz
Kürşat Özdemir
Necmi Varlık
Ferda Yamanlar
Tanfer Yandayan

SEMPOZYUM SEKRETERİ

Alper Tortoç

SEMPOZYUM SEKRETARYASI

Önder Sözen Sungu KÖKSALÖZKAN

SUNUŞ

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, ölçümbilim konusunda toplumun bilincini artırmak, bilim ve teknoloji alanında daha etkin ve rekabetçi olmak amacıyla bu alandaki etkinliklerini 1995 yılından itibaren düzenli olarak gerçekleştirmiş ve bu alandaki öncülüğünü pekiştirmiştir. Bu etkinliklerde; ölçümbilim ile ilgili, eğitim, sağlık, ticaret, gıda, kimya, makine, elektrik-elektronik ve çevre konularındaki izlenebilirlik, akreditasyon, ulusal ve uluslararası ilişkiler, teknik/yasal düzenlemeler ve sektörel sorunların yanı sıra, toplumun tüm kademelerini ilgilendiren ölçümbilim konularının derinlemesine tartışılmasına olanak sağlamıştır.

Bütün bu yapılan çalışmaların devamı niteliğinde TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi yerel olarak, Ölçümbilim Sempozyumu ve Sergisi'ni MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi-İzmir`de 20-22 Kasım 2019 tarihlerinde gerçekleştirecektir.

Ölçümbilimin temeli olan SI birimlerinden kilogram, amper, kelvin ve mol birimlerinin tanımlarındaki değişiklikler ve tüm temel birimlerin, doğanın sabitleri ile tanımlanması göz önünde bulundurularak Sempozyumun ana teması **"#nedeğişti"** olarak belirlenmiştir.

Sempozyum açılış konuşmalarının ardından UME Eski Müdürü ve BIPM Yönetim Kurulu Eski Üyesi, Sıcaklık Ölçümleri Danışmanlar Komitesi Eski Başkanı Doç. Dr. Hüseyin Uğur'un sunacağı **"SI Birimlerinde Ne Değişti?"** konulu konferans ile başlayacak. Açılış konuşmasının ardından düzenlenecek panelde **"SI Birimlerindeki Değişimin Yaşam ve Bilimsel Çalışmalara Etkileri"** konusu uzmanlarınca ele alınıp masaya yatırılacak.

"Yasal Metroloji", "Akreditasyon Uygulamaları ve Sorunlar", "Metroloji'de Yeni Alanlar İçin Çalışmalar", "Bilim, Savunma, Sağlık İçin Metrolojinin Etkinleştirici Rolü", "Sıcaklık Ölçümleri", "Elektriksel Ölçümler", "Metroloji ve Riskli Alanlar ve Yönetimi", "Farklı Alanlarda Metroloji Uygulamaları" ve **"Mekanik Ölçümler"** konularında iki paralel salonda 17 oturum gerçekleştirilecek ve bu oturumlarda 55 bildiri sunulacak. Sempozyumun ikinci günü Doç. Dr. Tanfer Yandayan tarafından düzenlenecek çalıştayda **"Takım Tezgahları Metrolojisi"** konusu ele alınacak. Poster sunumlarla birlikte Sempozyumda 70'in üzerinde sunum gerçekleştirilecektir.

Tofaş Bursa Anadolu Arabaları Müzesi'nde kolleksiyoner Y. Mimar A. Naim Arnas'ın kültür hayatımıza armağan ettiği farklı dönemlere ait 4 bin 500 terazi, ağırlık ve ölçü aletlerinden oluşan **"Kantarın Topuzu Sergisi"** yer almaktadır. Bu aletlerin bir kısmı Ölçümbilim Sempozyumu, sergi alanında katılımcılarla buluşturulacaktır.

Ayrıca Sempozyum paralelinde düzenlenecek olan sergide ise ölçümbilim alanında ürün ve hizmet üreten kurum ve kuruluşlar çalışmalarını katılımcılarla paylaşma imkanı bulacaktır.

Sempozyumun ölçümbilim ve ilişkili alanlarda çalışan üyelerimize yararlı olmasını diler, etkinliğin düzenlenmesinde katkıda bulunan tüm kurum ve kuruluşlara, bilim insanı ve uygulayıcılara teşekkür ederiz.

TMMOB
MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBESİ
YÖNETİM KURULU

PROGRAM BİLDİRİLERİ **Sayfa No**

1. ÇINAR, Emre.
"Yasal Metroloji İle Yasal Metrolojinin Ekonomiye ve Topluma Yönelik Faydaları" 1

2. ATASOY, Fehmi.
"Hız İhlal Tespit Donanımları" 8

3. ÖZCAN, Ali Dildehan.
"Taksimetre ve Radarların Akıllı Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu" 13

4. KIRMIZIOĞLU, Erkut.
"Isı Sayaçlarının Muayeneleri" 20

5. PAKSOY, Özlem İstanbullu.
"Gıda Kontrol Laboratuvarlarında ISO/IEC 17025:2017 Akreditasyonu ve Gıda Güvenliğine Etkisi" 26

6. AKKAYA, Tuğçe.
"TÜRKAK Akreditasyon Denetimlerinde Tespit Edilen İzlenebilirlik Sorunları ve Çözüm Yaklaşımları" 31

7. GÜLER, Ece. ALİCAN, Tuna Çınkıllı.
"Yeterlilik Testleri Bilgi Sistemi (YETBİS)" 38

8. ŞAHİN, Ersoy.
"780 nm Lazer Dalgaboyu Standardı Mutlak Frekans ve Kararlığı Ölçümleri" 45

9. KAÇAR, Birgül. ARAZ, İsa. YORULMAZ, İsmail. MERAKİ, Adil. KUBANALİEV, Bakmurat.
"Kardiyografi Ölçümleri İçin Atomik Manyetometre Geliştirilmesi" 50

10. DENİZ, Yücel. GEDİK, Adem. ŞAHİN, Ersoy. EKREN, Nazmi. BABA, Ahmet Fevzi.
"Lazer Dalgaboyu Standardı Atomik Gaz Sıcaklık Elektronik Kontrol Ünitesi Tasarımı ve Ölçüm Sonuçları" 59

11. YANDAYAN, Tanfer.
"Dünyada İleri Seviye Açı Metrolojisi ve Nanoradyan Açı Ölçüm Talepleri İçin Mevcut Sınırların Zorlanması" 65

12. SADIKOĞLU, Enver. BİLGİÇ, Bilgiç.
"İşitme Değerlendirmeleri İçin Metrolojik İzlenebilirlik Sorunları" 76

13. AKGÖZ, Sibel Aslı. YANDAYAN, Tanfer.
"Savunma, Uzay ve Havacılık Endüstrisinde Açı Ölçümlerinin Önemi, Ülkemizin İhtiyaçları ve Bunların Karşılanması İçin Yapılan Çalışmalar" 84

14. UYTUN, Ali. NKHAMA, Alfred Emil. KALEMCİ, Murat.
"Direnç Sensörlü Göstergeli Sıcaklık Ölçerin Sıvı Banyo ve Kuru Blok Kalibratöründe Kalibrasyonlarının Karşılaştırılması" 95

15. ARİFOVİÇ, Narcisa. SESTAN, Danijel. ZVİZDİÇ, Davor. HODZİÇ, Nedzadeta.
"TÜBİTAK UME'de Yeni EMPIR Projesi: Isılçift Performansının Gözlenmesi İçin İzlenebilir Ölçüm Yeteneklerinin Geliştirilmesi" 100

16. DAVUT, Aynur.
"Sıcaklık Ölçümlerinde Bir Karşılaştırmanın Düşündürdükleri" 106

17. DANACI, Erkan. CELEP, Murat. DOĞAN, Aliye Kartal. SAKARYA, Handan.
"Yeni RF ve Mikrodalga Kalibrasyon ve Test Laboratuvarı Kurulumu" 112

18. DANACI, Erkan. CELEP, Murat. ARSLAN, Murat.
"Hesaplanabilir Empedans Standardının Karakterizasyonu ve Mikrodalga Empedans İzlenebilirliği" 119

19. DANACI, Erkan. CELEP, Murat. TUNCEL, Özlen. ARSLAN, Arslan.
"TÜBİTAK UME'de 50 GHz'e Kadar RF Güç Algılayıcı Kalibrasyonlarının Doğrudan Karşılaştırma Transfer Metodu Kullanılarak Yapılması" 129

PROGRAM BİLDİRİLERİ **Sayfa No**

20. EROĞLU, Aysun. TEYMUR, Çorman Teymur.
"TS EN 60601 Standardı Kapsamında Bebek Kuvözlerinde Sıcaklık Ölçümleri" 136

21. TOPAL, Yasin. YILANCI, Ahmet. YURTSEVEN, Semih. UYTUN, Ali. NASİBLİ, Hümbet.
"Termal Kamera Kalibrasyonu ve Validasyonu İçin Suyun Üçlü Noktası Temelli Siyahcisim" 143

22. UYTUN, Ali. KALEMCİ, Murat. KORKMAZ, Mücahit. AVİNCA, Elif. TÜZÜN, Pervin.
"Sıcaklık Kontrollü Hacimlerin Kalibrasyonunda Radyasyondan Kaynaklı Belirsizlik Bileşeninin İrdelenmesi" 152

23. ARİFOVİÇ, Mehedin. TURHAN, Saliha.
"SI Revizyonu; Amperin Yeniden Tanımlanması Volt ve Ohm Birimlerine Etkisi" 158

24. ÖZTÜRK, Tezgül Coşkun. ERTÜRK, Sarp. TANGEL, Ali. ARİFOVİÇ, Mehedin.
"Kararlılığı Yüksek Yarı-İletken DAC'ın Kuantum Voltmetre İle Kalibrasyonu" 166

25. ARİFOVİÇ, Mehedin. ORHAN, Recep. KANATOĞLU, Naylan. TURHAN, Saliha.
"TÜBİTAK UME Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı" 176

26. ÖZTÜRK, Tezgül Coşkun. ERTÜRK, Sarp. TANGEL, Ali. ARİFOVİÇ, Mehedin.
"Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı Kullanılarak Gerilim Ölçer ve Yarı-İletken Gerilim Standardı Kalibrasyonu" 182

27. DAVUT, Aynur.
"Sıcaklık Kalibrasyonlarında Histerezis" 196

28. BİLGİÇ, Eyüp. KALEMCİ, Murat. KORKMAZ, Mücahit. ALPER, Melda Patan. TORUN, Mehmet K. İNCE, Ahmet T.
"Platin Kökenli Direnç Termometre (PRT) Kalibrasyonlarında Model Fonksiyonun Kalibrasyon Ölçüm Belirsizliğine Etkisi" 201

29. ALPER, Melda Patan. İNCE, Ahmet T. AIORDACHIOAIEI, Maria. NACAR, Berfu.
"Isılçift Kalibrasyonlarında Histerezis Etkisinin Ölçüm Belirsizliğine Katkısı" 211

30. YÜKSEL, İclal.
"Metroloji Laboratuvarlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Değerlendirmesi" ... 217

31. ALPER, Melda Patan. İNCE, Ahmet T.
"Deney ve Kalibrasyonları İçin ISO 17025:2017 Standardı ve Risk Temelli Düşünce" 224

32. YILDIZ, Çiğdem. YÜCEL, Ülkü.
"İyonlaştırıcı Radyasyon Metrolojisi" 230

33. ORHAN, Recep. AHMEDOV, Hacı. KORUTLU, Beste.
"UME Kibble Balans Kuantum Ölçümleri" 240

34. ŞAHİNTÜK, Utkan. AYDIN, Hamide. KURTAN, Ümran. EKERİM, Ahmet.
"Nanokarbon Esaslı Süperkapasitör Elektrotların Farklı Tarama Hızlarındaki Ölçümleri" . 247

35. DEMİRBAŞ, Özlem İşler.
"Tekstil/Hazır Giyim Alanında Yapılan Tekstil Performans Testlerinde Kullanılan Test Cihazlarına Ait Kalibrasyon Gereksinimleri / Martindale Aşınma ve Boncuklanma Deney Cihazı Kalibrasyonu" 255

36. AYDEMİR, Bülent.
"Yeni "kg" Tanımlanmasının Mevcut Birimlere Etkisi" 265

37. AHMEDOV, Hacı. KORUTLU, Beste.
"UME Kibble Balans Ölçüm Konsepti" 273

38. USLUKILIÇ, Uğur. AYDEMİR, Bülent.
"Yeni Tasarım Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi" 280

39. USLUKILIÇ, Uğur. AYDEMİR, Bülent.
"Yeni Tasarım Hidrolik Tip Kuvvet Kalibrasyon Makinası" 288

PROGRAM BİLDİRİLERİ **Sayfa No**

40. YAZICI, Sibel Şimşek.
"Ülkemizin İzlenebilirlik Sorunlarının Örneklerle Değerlendirilmesi" 294

41. ÜNSAL, Bülent. AKSELLİ, Başak.
"Evsel Su Tüketimi Akış Dinamikleri Üzerine İlk Sonuçlar" 301

42. TUNÇALP, B. Koray. AYDOĞMUŞ, Burçin Aydoğmuş.
"Türkiye'de Kesinlik Teknolojileri Eğitim Programlarının Geliştirilmesi" 310

43. SÖZMEZ, Erdoğan.
"Saha Kalibrasyon Uygulamaları ve Yapılan Yanlışlıklar" 320

44. BİLGİÇ, Eyüp. SADIKOĞLU, Enver. KIRBAŞ, Cafer. COŞKUN, İlkcan. BEŞİROĞLU, Serkan.
"Akustik ve Titreşim Alanlarında TÜBİTAK UME'nin Kalibrasyon Yeteneklerinin Genişletilmesi" 328

45. BİLGİÇ, Eyüp. GÜLMEZ, Gülay.
"Mikrofon Önyükselteçlerinin Frekans Tepkisine Mikrofon Kapasitansı Etkisinin Belirlenmesi" 334

46. GANİOĞLU, Okhan. MERAL, İlker. AŞAR, Muharrem. AKSULU, Murat.
"Endüstriyel Ölçümlerde 3-Boyutlu Ölçüm Cihazları (CMM) İçin Belirsizlik Hesaplamalarında Yeni Çalışma ve Gelişmeler" 340

47. KOZBE, İlknur Koçaş.
"Pistonlu Basınç Standartlarının (DWT) Kalibrasyon Metotları ve Ara Kontrol Yöntemlerinde Yaklaşımlar" 351

48. ÇELİKDEMİR, Özgür. ÇETİN, Levent.
"Basınç Düşümü Parametresinin İzlenerek Hidrolik Filtre Kirlilik Şalterlerinin Güvenirliğinin Arttırılması" 361

49. HAMARAT, Abdullah. DURGUT, Yasin. TÜRK, Ahmet. YILMAZ, Recep. AYDEMİR, Onur.
"Kalibrasyon Konumunun Basınç Dönüştürücü Ölçüm Sonuçlarına Etkisi" 368

50. HAMARAT, Abdullah. DURGUT, Yasin. TÜRK, Ahmet. YILMAZ, Recep. AYDEMİR, Onur. KANATOĞLU, Naylan.
"Besleme Geriliminin Basınç Dönüştürücüleri Çıkış Sinyaline Etkisi" 377

51. YANDAYAN, Tanfer. AKGÖZ, Sibel Aslı.
"Mekanik Karşılaştırma Yöntemi İle Uzun Mastar Bloklarının Yüksek Hassasiyette Kalibrasyonu ve Türkiye'nin Dünyadaki Yeri" 385

52. GANİOĞLU, Okhan. YANDAYAN, Tanfer. AKSULU, Murat.
"Pürüzlülük ve Form Ölçüm Cihazı Propları İçin Yeni İzlenebilirlik Yolları" 399

53. DEMİRBAĞ, Halit. KAYADELEN, Cihangir. YANDAYAN, Tanfer. GANİOĞLU, Okhan. AKSULU, Murat. ERTUNÇ, Hüseyin Metin. AKKUŞ, Nihat.
"Form Ölçüm Cihazı Problarının Primer Ölçümlerde Kullanılması İçin Elektronik Ünitelerin İncelenmesi ve Kalibrasyonları" 415

54. YURTSEVEN, Semih. KARABULUT, Mevlüt. AYTEKİN, Seda Oğuz. NASİBİ, Hümbet.
"Ortam Sıcaklığı ve Nemin InGaAs Dedektörlerin Tayfsal Duyarlılığı Üzerindeki Etkisi" ... 430

55. KORKMAZ, Mücahit. YURTSEVEN, Semih. NASİBİ, Hümbet.
"TÜBİTAK UME'de (Süper) Yalıtım Malzemelerinin Termal İletkenlik Ölçümleri" 443

56. DAVUT, Aynur.
"Radyasyon Termometrelerinde Yansıma Ölçümü" 450

POSTER BİLDİRİLER

57. ALPER, Melda Patan. İNCE, Ahmet T. AIORDACHIOAIEI, Maria.
"Radyasyon (IR) Termometrelerin Kalibrasyonunda Ölçüm Belirsizliği Tahmini" 457

PROGRAM BİLDİRİLERİ **Sayfa No**

58. TORUN, Mehmet K. NACAR, Mehmet. İNCE, Ahmet T.
"Paralel Mastar Bloğu Kalibrasyonlarında Laboratuvar Ortam Sıcaklığının Ölçüm Belirsizliğine Etkisi" 462

59. TEYMUR, Alev Çorman.
"ITS-90 Uluslararası Sıcaklık Ölçeğine Uygun Olarak - 40 °C / 420 °C Sıcaklık Aralığında Pt-100 Direnç Termometre Kalibrasyonu Karşılaştırması" 471

60. AYTEKİN, Seda Oğuz.
"Bağıl Nem Ölçer Kalibrasyonu ve Belirsizlik Hesaplamaları" 480

61. TURHAN, Enis. GÜLMEZ, Gülay.
"4 Terminal Dijital Koaksiyel Empedans Ölçüm Sistemi" 490

62. DOĞAN, Çetin. AKKOYUNLU, Osman. YÜCESAN, Uğur. TUĞCU, Barış.
"TSE Tork Laboratuvarı Tarafından 0,2 N·m İle 1000 N·m Ölçüm Aralığında Statik Tork Ölçümlerinin Gerçeklenmesi" 498

63. TÜRK, Ahmet. AKSULU, Murat.
"Pistonlu Basınç Standartlarında Boyutsal Ölçümler Yöntemi İle Efektif Alan Değerinin Hesaplanması" 506

64. AYTEKİN, Seda Oğuz.
"İklimlendirme Kabinlerinin Bağıl Nem Karakterizasyon Analizleri ve Belirsizlik Hesaplamaları" 513

65. AYTEKİN, Seda Oğuz.
"TÜBİTAK UME'de Nem Metroloji Projeleri Kapsamında Yapılan Çalışmalar" 522

66. TUĞCU, M.Barış. YAZICI, Semih. YÜCESAN, Uğur.
"Standart Olmayan Ağırlıkların Kalibrasyonu" 526

67. TÜRK, Ahmet. HAMARAT, Abdullah. DURGUT, Yasin.
"Yüksek Doğruluklu Sayısal Manometre Yardımıyla Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntemin Gerçekleştirilmesi" 533

YASAL METROLOJİ İLE YASAL METROLOJİNİN EKONOMİYE VE TOPLUMA YÖNELİK FAYDALARI

Emre ÇINAR

ÖZET

Bu çalışmada, yasal metroloji kavramı ve kapsamı ile ilgili bilgiler verilmiş, Türkiye'de yasal metroloji kapsamında yer alan ölçü aletleri ile Türkiye'deki yasal metroloji faaliyetleri incelenmiş ve yasal metrolojinin ekonomi ile toplum için faydaları değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma ve değerlendirmeler sonucunda yasal metrolojinin ekonomi ve topluma sağladığı on beş doğrudan veya dolaylı fayda tespit edilmiştir. Ekonomi ve toplum için tespit edilen bu faydalar içerisinde tüketicinin korunması, haksız rekabetin önlenmesi ve vergilerin tam toplanması başlıklarının yapılan araştırma ve değerlendirmelerde özellikle öne çıktığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yasal Metroloji, Yasal Metroloji Kapsamı, Yasal Metrolojinin Ekonomi ve Toplum için Faydaları

ABSTRACT

In this study, it is given information about legal metrology and legal metrology scope, legal metrology activities in Turkey are examined and benefits of legal metrology for economy and society are evaluated. As a result of the researches and evaluations, fifteen direct or indirect benefits of legal metrology for economy and society were determined. Among the benefits identified for economy and society, consumer protection, prevention of unfair competition and full collection of taxes have been identified as being particularly prominent in the researches and evaluations.

Key Words: Legal Metrology, Scope of Legal Metrology, Benefit of Legal Metrology for Economy and Society

1. GİRİŞ

Ölçüm faaliyetlerinin, yapılan arkeolojik araştırmalarda ortaya çıkan ve bin yıllar öncesine dayanan çeşitli ölçü aletleri ve ölçüm birimlerine dayanarak insanlığın ilk dönemlerine kadar uzandığı değerlendirilmektedir. İnsanoğlunun ölçümle olan ilişkisinin, özelikle avcı toplayıcılıktan tarım ile uğraşmaya başlamasıyla arttığı tahmin edilmektedir. Tarımla uğraşmaya, bir şeyler üretmeye başlayan insanoğlu kendi üretmediğine ihtiyaç duymuş zaman geçtikçe çeşitli malları birbiriyle değiş tokuş etmeye (trampa) akabinde karşılıklı olarak kabul edecekleri bir ortak değer (altın, gümüş vb.) ile daha sonra da para ile ticaret yapmaya başlamıştır [1,2]. Bu değiş tokuş ve ortak değer ile ticarette ise ölçüm her zaman en önemli hususlardan biri olmuştur. İnsanoğlunun tarım devrimi ile başladığı tahmin edilen ticari faaliyetleri hızlı bir şekilde artmış artan bu ticari faaliyetler neticesinde ölçüme ve ölçüm işlemlerine verilen önem giderek daha önemli bir hal almıştır.

Zaman geçtikçe ticarette ve devlet uygulamalarında gerçekleştirilen ölçümlerin doğruluğunu sağlamak için devletler tarafından kurallar koyulmaya başlanılmıştır. Eski Mısır'da, milattan önce (M.Ö.) 3000 yıllarında Firavunların piramitlerini ve tapınaklarını inşa etmekten sorumlu olan mimarları, her dolunayda, kullandıkları uzunluk standartlarını kalibre etmekle görevli olduğu ve bu görevi unutan ya

da ihmal edenlerin ölüm cezası ile karşılaştığı bilinmektedir. İlk kraliyet uzunluk ölçü birimi olan Kübit (Cubit), tahttaki Firavun'un dirseğinden, elinin orta parmağının ucuna kadar olan mesafe olarak tanımlanmış olup bu ilk ölçü, siyah granit üzerine kazınarak aktarılmış ve bu standart "Royal Cubit" olarak adlandırılmıştır [3]. Mısırdaki bu uygulama ilk yasal metroloji uygulaması olarak kabul edilebilir. Yıllar içerisinde yasal metroloji uygulamaları ticari faaliyetlere ilave olarak güvenlik, sağlık, çevre gibi farklı alanlarda yer bulmaya başlamış, devletler toplum huzurunu ve düzenini sağlamak için yasal metroloji uygulamalarını bir araç olarak kullanmaya başlamıştır.

Toplumun her kesiminin sürekli olarak karşı karşıya kaldığı yasal ölçüm faaliyetlerinin öneminin daha iyi anlaşılması için kişi ve kuruluşlar tarafından çeşitli araştırmalar yapılmış ve yasal metrolojinin önemi vurgulanmıştır. Bu çalışmada da yapılan araştırmalar ve bu araştırmalara ilave olarak getirilen değerlendirmeler neticesinde yasal metrolojinin ekonomi ve toplum için faydaları incelenmiştir.

2. YASAL METROLOJİ

Yasal metroloji, yasal gereklerden kaynaklanan ölçümleri, ölçüm birimlerini, ölçü aletlerini, ölçüm yöntemlerini kapsayan ve yetkili kuruluşlar tarafından yürütülen faaliyetlerle ilgilenen metroloji alanıdır [4].
Yasal Metroloji, ticari işlemler ve resmi kontroller sırasında veya sağlık, güvenlik vb. ile ilgili olarak yapılan ölçümlerin kalitesini garanti etmek amacıyla kamu makamları tarafından yasada oluşturulan teknik ve idari prosedürlerin tamamıdır [5].

Genel olarak yasal metroloji kamuoyunu doğrudan etkileyen ölçümlerin güvenirliliğini ve kalitesini sağlamaktadır. Yasal metroloji izlenebilirlikle ilgilendiği kadar ölçüm cihazlarının hatalı kullanım riskleriyle ve yanlış kullanımının cihazlar üzerindeki etkileriyle de ilgilenmektedir. Kanunlar ve yönetmelikler, ölçüm cihazlarının ulusal ve uluslararası gerekliliklere uygunluğuyla birlikte doğruluğunu da kontrol etmektedir.

Kamuoyunun doğrudan etkilendiği ölçümlerin doğruluğu, ölçü aletinin ulusal metroloji enstitülerinde muhafaza edilen standart ağırlıklara karşı ulusal izlenebilirlik sistemi üzerinden kalibre edilmesiyle sağlanmaktadır. Ayrıca bu standart ağırlıklarda bir uluslararası standarda karşı kalibre edilmekte, sonuç olarak kamuoyunun doğrudan etkilendiği ölçümlerin doğruluğu, uluslararası kabul görmüş bir izlenebilirlik sistemi üzerinden sağlanmakta ve böylece tüketici yerel ölçü ve ağırlıklar sisteminin doğruluğuna güvenmektedir.

Yasal metroloji, ticari alanlarla birlikte kanunların uygulanması, sağlık ve asayiş ölçümleri gibi bireylerin ve toplumun korunmasında da uygulanmaktadır. Yasal metroloji, genellikle ölçüm cihazlarını, ölçüm sonuçlarını ve ölçüm birimleriyle ilgili kanuni hükümleri içermektedir. Bununla birlikte devlet tarafından veya devlet adına yasal kontrollerin uygulanması da yasal metroloji kapsamındadır.

Devlet, yasal metroloji kapsamındaki ölçü aletlerini, belirlenen çalışma şartlarında tüm kullanım süresi boyunca kabul edilebilir hata sınırları içerisinde ölçüm sonuçlarını garanti etmek amacıyla kontrollerini sağlamaktadır.

Sağlam temeller üzerine kurulmuş, etkin kontrol mekanizmalarının var olduğu bir yasal metroloji sistemi ekonomi, sağlık, güvenlik, çevre vb. alanlarda ülke ekonomisi ve toplum için doğrudan veya dolaylı olarak birçok fayda sağlamaktadır. Beşinci bölümde bu faydalar başlıklar halinde incelenmiştir.

3. YASAL METROLOJİ KAPSAMI

Yasal metrolojinin kapsamını, genel bir ifadeyle, kamuoyunu doğrudan etkileyen tüm ölçümler ve bu ölçümleri yapan ölçü aletleri oluşturmaktadır. Bu ölçü ve ölçü aletleri uluslararası yükümlülükler de göz önünde bulundurularak ekonomi, güvenlik, sağlık, çevre vb. kriterler çerçevesinde kamu otoriteleri tarafından yasal mevzuat ile belirlenmektedir.

Yasal metroloji mevzuat kapsamı kullanıcı kategorisine bağlıdır. Devlet, kullanıcıların korunmasına ve ölçümlere yönelik suistimallere karşı kontrollerini gerçekleştirmektedir. Sonuç olarak, yasal metrolojinin amacı, yasal yükümlülüklerle ölçüm sonuçlarında güvenirliği sağlamaktır.

Yasal metrolojinin kesin sınırları belli değildir ve kapsamı ülkeden ülkeye uluslararası gereklilikler dahilinde farklılık gösterebilmektedir. Genel olarak yasal metrolojinin kapsamı, ticaret, çevre, sağlık ve güvenlik alanlarını kapsamaktadır.

Ülkemizde yasal metroloji kapsamı 3516 Sayılı Ölçüler ve Ayar Kanunu ile belirlenmiştir. Bunlar; uzunluk, alan, hacim, ağırlık ölçüleri, areometreler, hububat muayene aletleri, elektrik, su, havagazı, doğalgaz, akaryakıt sayaçları, taksimetreler, naklimetreler, akım ve gerilim ölçü transformatörleri ile demiryolu yük ve sarnıçlı vagonlar; basınç, yoğunluk, hız, zaman, sıcaklık ve ısı ölçüm aletleri, alkolmetre ve alkol hidrometreleri, alkol tabloları, tartı aletleri, hazır ambalajlama işlemleri, hububat muayene aletleri, sıkıştırılmış ve sıvılaştırılmış gaz sayaçları ile sıvıların veya gazların kütlesel ölçümünü yapan sistemler, su haricindeki sıvıların ölçüm sistemleri, trafikte hız ölçümünde kullanılan aletler, taşıtlarda kullanılan hız ölçerler ve hız sınırlayıcıları, takograf cihazları, motorlu taşıt lastiklerinin hava basıncı ölçümünde kullanılan cihazlar, sağlık, güvenlik ve çevrenin korunması hizmetlerinde kullanılan ölçüm cihazları, gemi tankları, ölçü şişeleri ile ölçü olarak kullanılan ecza kaplarıdır. Ayrıca hazır ambalajlı mamullere ilişkin miktar ve etiket bilgileri ile ilgili hususlar da yasal metroloji kapsamına girmektedir.

İlgili Kanun ile kapsama alınan ölçü ve ölçü aletlerinin uluslararası yükümlülükler ve kamuoyuna etkisi dikkate alınarak alt mevzuatları hazırlanmaktadır. Hazırlanan alt mevzuatlar ile ölçü ve ölçü aletlerinin taşıması gereken nitelikler, piyasa arz şekli, piyasada kullanımdayken yapılması gereken muayene ve denetimler, bu muayene ve denetimlerin nerede, ne zaman, nasıl ve kimler tarafından yapılacağı gibi hususlar belirlenmektedir.

4. ÜLKEMİZDE YASAL METROLOJİ FAALİYETLERİ

Ülkemizde yasal metroloji faaliyetleri 1 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, 3516 Sayılı Ölçü ve Ayar Kanunu ve 4703 sayılı Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun kapsamında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğü sorumluluğunda yürütülmektedir. Ülkemizde yürütülen yasal metroloji faaliyetleri kısaca aşağıda belirtilmiştir.

- Ölçü aletlerine yönelik;
    - Teknik ve yasal mevzuatının hazırlanması,
    - Tip Onayının verilmesi,
    - Onaylanmış kuruluş atama işlemlerinin ve atanan onaylanmış kuruluşlara yönelik denetimlerin gerçekleştirilmesi,
    - Periyodik olarak doğru çalıştığının kontrol edilmesi ve damgalanması,
    - Muayene ve damgalama işlemlerini yapacak iş yerlerine ait kriterlerin belirlenmesi, belirlenen kriterlere göre iş yerlerinin belgelendirilmesi, belgelendirildikten sonra denetlenmesi,
    - Kullanım sırasında doğru çalışıp çalışmadığını tespit etmek için denetimlerin gerçekleştirilmesi,
- Hazır ambalajlı mamullere yönelik; kriterlerin belirlenmesi ve miktar ile etiket bilgilerine ilişkin denetim işlemlerinin gerçekleştirilmesi faaliyetleri yürütülmektedir.

5. YASAL METROLOJİNİN EKONOMİYE VE TOPLUMA YÖNELİK FAYDALARI

Yasal metroloji, toplumun her kesimini ilgilendirmekte ve günlük yaşantısının içinde farklı birçok alanda sıkça karşısına çıkmaktadır. Yasal metroloji uygulamalarının toplum ile etkileşiminin yüksek olması sebebiyle yasal metroloji faaliyetleri çoğu zaman olağan hayat akışında rutin faaliyetler olarak görülmekte ve önemi fark edilmemektedir. Bu sebeple, bu çalışmada yasal metrolojinin ekonomi ve toplum için faydaları ele alınmış ve bu faydalar aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir.

5.1. Tüketicinin Korunması

Devlet tarafından ölçüm işlemlerine yönelik belirlenen kurallar ve kontrol mekanizmaları ile tüketici tarafından fark edilemeyecek ölçüm sonucunu etkileyecek hataların veya tüketici aleyhine yönelik bilinçli olarak gerçekleştirilebilecek hilelerin önüne geçilmekte, pazarın verimliliği artmakta ve tüketicinin korunmasına katkı sağlanmaktadır.

5.2. Haksız Rekabetin Önlenmesi

Yasal metroloji sistemi, ölçüm sonucunu etkileyecek hatalara sahip veya hileli bir ölçü aleti ile mal ve hizmet sunan bir tüccar ile periyodik kontrollerini yaptırarak doğru ölçüm yapan bir ölçü aleti ile mal ve hizmet sunan tüccar arasında oluşacak haksız rekabeti de koyduğu kurallar ve kurduğu kontrol mekanizmalarıyla önlemektedir. Özellikle piyasadaki tarafların güç dengesizliğinde bu husus daha da önem kazanmaktadır.

5.3. Vergilerin Tam Toplanması

Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler, ölçüme dayalı satışı yapılan ürün ve hizmetlerin vergileri yoluyla önemli miktarda gelir elde etmektedir. Hatalı yapılan ölçümler satış fiyatı hesaplamasını da doğrudan etkilediği için devletin de vergi kaybına sebep olmaktadır. Etkili bir yasal metroloji sistemi devletin ölçüme dayalı topladığı vergilerin adil bir şekilde ve tam toplamasına katkı sağlamaktadır.
Ülkemizde 2018 yılında sadece petrol ve doğalgaz ürünlerinden alınan 56.469.849.000 TL[1] özel tüketim vergisinin, 2018 yılı toplam Merkezi Yönetim Geliri'ne oranın % 6,5 olduğu göz önünde bulundurulduğunda akaryakıt, lpg ve doğal gaz sayaçlarının çok küçük oranlarda bile hatalı ölçüm yapması durumunda devleti önemli derecede vergi kaybına uğratacağı muhtemeldir. Bu durum, devletin vergilerinin tam toplanmasında yasal metrolojinin ne kadar önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

5.4. Ticaretteki Teknik Engellerin Kaldırılması

Piyasaya arz edilen ürünlerin insan ve çevre sağlığı açısında güvenli olmasını sağlamak ülkelerin temel öncelikleri arasında yer almakta olup ürünlerin belirlenen standartlar ve teknik düzenlemelere uygun olması istenmektedir. Bu uygunluğu ise uygunluk değerlendirmesi işlemleri ile belgelendirilmesi beklenilmektedir. Bununla birlikte, bu önlemler çoğu zaman sağlık ve güvenlik gibi meşru amaçların ötesinde ticarette teknik engellere sebep olmaktadır. Bu da ürünlerin uluslararası alanda ticaretinde engellere yol açmaktadır.
Ülkelerin yasal metroloji sistemi uluslararası alandaki doğrultusunda piyasaya sunulacak ölçü aletlerinin taşıması gereken teknik kriterleri belirlemekte ve belirlenen bu kriterlere uygun olmayan ölçü aletlerinin ülkeye girmesini engellerken ihraç edilecek ürünlerin de dış pazarda karşılaşabileceği teknik engellerin önüne geçmektedir.

5.5. Ülkede Üretilen Ölçü Aletlerinin Küresel Piyasada Kabul Görmesi

Uluslararası gereklilikler ve tavsiyeler doğrultusunda yürütülen yasal metroloji faaliyetleri, ülkede üretilen ölçü aletlerinin küresel pazarda ek işlem ve maliyetlere maruz kalmadan kabul görmesini sağlamaktadır. Böylelikle, üreticiler uluslararası alanda ürünlerinin satışını yapabilmekte ve hem iç hem dış pazarda diğer ürünler ile rekabet edebilmektedir.

[1] Gelir İdaresi Başkanlığı, 2018 Yılı Merkezi Yönetim Gelirleri (Tablo 21)

5.6. Yapılan Ölçümlere ve Devlete Duyulan Güven Artışı

Etkin işleyen bir yasal metroloji sistemi ve kontrol mekanizması sayesinde toplum, ekonomi, sağlık, güvenlik, çevre vb. alanlarında gerçekleştirilen ölçümlere ve aynı zamanda hakkını ve güvenliğini garanti altına aldığı için topraklarında yaşadığı devlete yönelik güven duymaktadır. Sistemin kusursuz ve sürekli olarak işletilmesi de ölçümlere ve devlete duyulan güveni daha da artırmaktadır.

5.7. Dolandırıcılıkla Mücadele

Devlet, özellikle toplumu doğrudan etkileyen ölçümlere yönelik oluşturduğu kontrol mekanizmaları ve gerçekleştirdiği denetim faaliyetleri ile hem üretici hem de kullanıcı tarafından yapılabilecek ölçü aletlerine yönelik müdahaleleri tespit etmekte ve mevzuatında belirlediği caydırıcı idari ve adli cezai işlemleri uygulamaktadır. Böylelikle haksız kazancın önüne geçmekte ve dolandırıcılıkla mücadeleye önemli bir katkı sağlamaktadır.

5.8. Emtia İhracatında Tam Ulusal Fayda

Malların toplu olarak ölçülerek ya da hazır ambalajlı olarak satışından elde edilen ihracat geliri birçok ülke için hem ihracat hem de milli gelirin önemli bir bileşenidir. Genelde, yetki alanı veya teknik kabiliyet eksikliği nedeniyle, bu ölçümler Devlet tarafından metrolojik olarak kontrol edilmez ve bunun sonucunda ulusal gelir kaybı riski oluşur [6]
Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa'dan ihraç edilen tahıl miktarının doğruluğuna dair endişeler, OIML uluslararası Tavsiyelerine dayanarak, UNISTOCK Tahıl Ölçümleri Tüzüğü'nün gelişmesine yol açmıştır. Gelişmekte olan ülkelerin daha büyük endişeleri mevcuttur. Özellikle emtia bağımlı ülkelerin malların doğru bir şekilde değerlenmesi için yeterli bir ölçüm sistemi geliştirmesinin önemi dikkat çekmektedir [7].

5.9. Trafik Kazaları Sonucu Ortaya Çıkan Ölüm ve Yaralanmaların Azaltılması

Her geçen gün trafiğe çıkan araç sayısı artmakta ve karayollarında meydana gelen trafik kazalarına yenileri eklenmektedir. Bu kazalar sonucu çoğu zaman ölüm ve yaralanmalar ortaya çıkmaktadır. Devletler, trafik kazalarına sebep olan unsurları araştırmakta, bu kazaların azaltılması için farklı yöntem ve uygulamalar geliştirmektedir.
Bir yaşamın 2 milyon dolar ile 8 milyon dolar arasında ekonomik değeri olduğunu öne süren araştırmalar [7] da dikkate alındığında trafik kazalarının azalması, hem toplumsal hem de ülke ekonomisi açısından büyük önem arz etmektedir.
Trafikteki radar hız cihazları ve alkolmetre gibi yasal metroloji uygulamaları, insanların davranışlarını değiştirerek trafik kaza sayılarını ve kaza hasarının azalmasını önemli ölçüde etkilemektedir.

5.10. Çevre Kirliliğinin Azaltılması

Emisyon ölçümleri gibi yasal metroloji uygulamaları çevreye salınan zararlı gazların miktarının belirlenen sınırlar içerisinde olup olmadığının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Yasal metroloji sistemi bu ölçümlerde kullanılan ölçü aletlerinin doğru ölçüm yapmasını güvence altına alarak belirlenen sınırlar dışarısında çevreye zararlı gazların salınımını yapan kaynakları tespit ederek çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

5.11. Sağlıkta Doğru Tanı ve Etkin Tedavi

Sağlık alanında gerçekleştirilen tanı ve tedavi yöntemlerinin büyük bir bölümünde ölçüm işlemleri gerçekleştirilmekte olup bu ölçümlerin doğruluğu tanı ve tedavi etkinliğini doğrudan etkilemekte, bu da hasta sağlığı açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Yanlış tanı sonrası uygulanan ya da uygulanmayan tedaviler hastalarda istemeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. Ayrıca tanı ve tedavi süreçlerindeki yanlış ve tekrar ölçümler devlet açısından önemli derecede ekonomik kayıplara da sebep olmaktadır. Sağlık alanındaki ölçümlerin yasal metroloji sistemiyle güvence altına alınması ile doğru tanı oranı artmakta, ölçümlere güvensizlikten kaynaklanan tanı için gerçekleştirilen tekrar ölçümlerin önüne geçilmekte, tedavilerdeki etkinlik artmakta, yanlış veya gereksiz tedavilerin önüne geçilmektedir.

5.12. Ticarette Azalan Anlaşmazlık ve Ek Maliyetler

Piyasadaki ölçüm işlemi, objektif bir bilgi sağlayıcısı olarak kabul edilebilir. Karşılıklı alışverişte ölçüm işleminin şeffaflığın ve güvenilirliğinin sağlanması durumunda taraflar arasında anlaşmazlıklar ve bu anlaşmazlıklardan kaynaklanan ek işlem ve maliyetler azalacaktır. Şeffaflığın ve güvenilirliğinin sağlanamaması durumunda ise ölçüm sonucuna yönelik güvensizlik, itiraz ve tekrar ölçümlerden kaynaklı ilave işlem ve maliyetler ortaya çıkacaktır.

5.13. Devletin Koyduğu Gerekliliklerin Doğrulanabilmesi

Devletin, insan sağlığı, güvenlik, çevre vb. alanlarında gerçekleştirdiği çeşitli uygullamalara yönelik mevzuat ile belirlediği alt ve üst sınırlara ilişkin gereklilikler (örn: karayollarındaki hız sınırı, havaya salınan atık gaz emisyon sınırı vb.) yasal metroloji sistemi ile güvence altına alınmış ölçümler ile doğrulanabilmekte, ölçüm sonucunda bu gerekliliklere uymayanlara yönelik mevzuat ile belirlenen idari ve adli cezalar uygulanmaktadır.

5.14. Kamuoyuna Yönelik Daha Ekonomik Politika Oluşturabilme

Yasal Metroloji düzenlemeleri ile oluşturulacak uygulamalar sayesinde diğer politika seçeneklerinden fayda/maliyet oranı daha yüksek politikalar oluşturulabilmektedir.
Yasal metroloji düzenlemeleri ile “sosyal mühendislik” gibi çok çeşitli topluluk sorunlarına uygun maliyetli çözümler sağlanabilmektedir. Örnek olarak, radar hız cihazları ve alkolmetre uygulamaları, araç sürücülerinin davranışlarını değiştirmede belirgin bir etkiye sahiptir ve kazaları önlemek için oluşturulacak yol yapımı gibi alternatif bir politikadan daha az maliyetlidir [8],[9].

5.15. Tüketicinin Bilinçlendirilmesi

Ölçüm ticari işlemlerde ve devlet uygulamalarında kullanılmaya başladığından itibaren yapılan ölçümlerde şeffaflık ve güvenilirlik önem kazanmıştır. Yasal metroloji uygulamaları ile bilinçlendirilmiş toplum, günlük hayatında karşılaştığı ölçüm ile ilgi işlemlerde şeffaflık ve güvenilirlik konularını sorgulamakta ölçüm sonuçlarında bir tutarsızlık olması durumunda ise ilgili yerlere şikayet başvurusunda bulunmaktadır. Böylelikle aleyhine olacak ölçümlere yönelik tüketici bilincinin artırılmasına katkı sağlanmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada yasal metroloji kavramı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiş, yasal metrolojinin ekonomi ile toplum açısından faydaları incelenmiştir. Yasal metrolojinin ekonomi ve toplum için toplam on beş doğrudan veya dolaylı faydası olduğu yapılan araştırmalar ve değerlendirmeler neticesinde tespit edilmiştir. Bu faydaların alt başlıklar ile daha da artırılabileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışma ile yasal metrolojinin ekonomi ve toplum açısından incelenen faydalarının ülkemizdeki somut etkilerine yönelik herhangi bir çalışma yapılmadığı da tespit edilmiştir. Bundan sonraki süreçte bu çalışmada belirtilen her bir faydanın etkisini daha somut olarak ortaya koymak için detaylı araştırma ve çalışmaların yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Yapılacak bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında yasal metroloji alanına yönelik yeni stratejiler ve uygulamalar gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca yasal metroloji uygulamalarının öneminin vurgulanması amacıyla bu çalışmada incelenen faydaların gerek kamu gerekse kamuoyuna aktarılmasının da faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] BOZKURT, N., “Ticaretin Felsefesi, Tarihçesi Ve Etikle Olan Sıkı Bağına İlişkin Bazı Saptamalar”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Dergisi, 2, 153-179, 2002.
[2] HARARİ, Y. N., “Saphiens”, 2015.
[3] UME, “Metroloji”, 2013.
[4] Elements for a Law on Metrology, Edition 2004
[5] WELMEC, “What is Legal Metrology?”, Erişim: 15.05.2019, www.welmec.org/welmec/welmec-tour/welmec-information/
[6] LANGE, J.C., “High Capacity Bulk Weighing for Iron Ore, OIML Seminar on Testing of Bulk Weighing Installations”, 1985.
[7] STIGLITZ, J. E., “Economics of the Public Sector”, 1999.
[8] AM, J. B., “Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society”, 2003.
[9] BIRCH, J. A., “Legal Metrology in Support of Economic and Social Development Presented at the First APEC Conference on Standards and Conformance held in Manila. Published in Conference Proceedings”, 1996.

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÇINAR

1985 yılı Konya doğumludur. 2008 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2013 yılında Makine Mühendisliği alanında Yüksek Lisansını tamamlamıştır. Halen Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında doktora eğitimine devam etmektedir. 2010-2011 yıllarında ARGE ve Sürekli İyileştirme Mühendisi olarak özel sektörde çalışmıştır. 2011 yılından itibaren Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğünde Sanayi ve Teknoloji Uzmanı olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Yasal Metroloji, Nano Kompozitler, Termoelektrik Malzemeler konularında çalışmaktadır.

HIZ İHLAL TESPİT DONANIMLARI

Fehmi ATASOY

ÖZET

Bu çalışmada, hız ihlal tespit donanımları hakkında genel bilgilendirme yapılmıştır. Kullanılan cihazların tarihçesine değinilmiş, cihazların günümüzdeki kullanımı ve cihazlara yönelik yapılan denetimler anlatılmıştır. Çeşitli istatistiki veriler aracılığıyla örnekler sunularak hız ihlal denetimlerinin önemi açıklanmaya çalışılmıştır. Son olarak teknolojik gelişmeler doğrultusunda yapılabilecek iyileştirmelerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hız ihlal tespit donanımı, Denetim, Trafik, Radar.

ABSTRACT

In this study, general information about speed violation detection equipment was given. The history of the devices used was mentioned, the current usage and the controls for the devices were explained. Examples were presented through various statistical data to explain the importance of speed violation controls. Finally, the improvements that can be made in line with technological developments were mentioned.

Key Words: Speed violation detection equipment, Control, Traffic, Radar.

1. GİRİŞ

Sürekli olarak sürücü ve trafiğe katılan araç sayısında artış yaşanması, özellikle şehir içi trafiği için mevcut karayolu ağının bu duruma çözüm olacak seviyede geliştirilememesi, gündelik yaşamda motorlu araç kullanım oranında yaşanan artış gibi nedenlerden ötürü trafik yoğunluğu her geçen gün daha büyük bir problem haline gelmektedir. Bu tip olumsuz etmenlerin yanında sürücüler tarafından sergilenen sorumsuz ve bilinçsiz tavırlar da üzerine eklenince durum daha da sıkıntılı bir boyuta ulaşmaktadır. Her gün binlerce insan gerek sürücü gerekse de yaya olarak trafiğe dâhil olmakta, fiziksel ve psikolojik açıdan insan bedenini kötü etkileyen birçok durum veya olaya maruz kalmaktadır.

2. MEVCUT DURUM

Tüm bu olumsuzlukları asgari seviyeye indirebilmek ve trafikte can ve mal güvenliğini sağlayabilmek adına Emniyet Genel Müdürlüğü, Jandarma Genel Komutanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü ve diğer tüm ilgili paydaşlar konu hakkındaki mevzuatı yayımlamak, gerekli hallerde çeşitli denetimleri gerçekleştirmek ve karayollarını fiziki ve teknik anlamda yeterli duruma getirebilmek için ihtiyaç duyulan iyileştirmeleri yapmak suretiyle mücadelelerini sürdürmektedirler.

Tablo 1: Yıllara Göre Motorlu Araç Sayılarındaki Değişim [1]

YIL	TOPLAM MOTORLU ARAÇ SAYISI	ARTIŞ (%)
2008	13.765.395	5,70
2009	14.316.700	4,01
2010	15.095.603	5,44
2011	16.089.528	6,58
2012	17.033.413	5,87
2013	17.939.447	5,32
2014	18.828.721	4,96
2015	19.994.472	6,19
2016	21.090.424	5,48
2017	22.218.945	5,35

Tablo 2: Yıllara Göre Sürücü Sayısı ve Cinsiyet Dağılımındaki Değişim [1]

YIL	TOPLAM SÜRÜCÜ	ERKEK (%)	KADIN (%)
2008	19.377.790	82,9	17,1
2009	20.460.739	82,5	17,5
2010	21.548.381	81,0	19,0
2011	22.798.282	80,1	19,9
2012	23.760.346	79,3	20,7
2013	24.778.712	78,2	21,8
2014	25.972.519	77,2	22,8
2015	27.489.150	76,2	23,8
2016	28.223.393	75,9	24,1
2017	28.181.830	74,9	25,1

Konuyla ilgili yetkililerin üzerinde en çok durduğu ve sürücüler tarafında da yakından takip edilen en güncel başlıklardan birisi hız ihlal denetimleridir. Türkiye'de karayollarında uygulanan hız limitleri 18/07/1997 tarihli ve 23053 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Karayolları Trafik Yönetmeliği ile belirlenmiştir [2]. Sürücü ve yayaların trafik kurallarına riayet etmelerine yönelik denetimleri yürütme ve gerekli durumlarda cezai işlemleri uygulama konusunda ise 18/10/1983 tarihli ve 18195 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu ile Emniyet Genel Müdürlüğü ve Jandarma Genel Komutanlığı görevlendirilmiştir [3].

3. CİHAZLARIN TARİHÇESİ

Yapılan hız ihlal denetimlerinde radar cihazları kullanılmaktadır. Radarlar ya da bir başka deyişle hız ihlal tespit donanımları (HİTD'ler), yaydıkları radyo dalgalarının yüzeylerden yansıması ile uzaktaki nesnelerin yerini ve hızını tespit edebilen cihazlardır [4]. Radar ifadesi RAdio Detection And Ranging (radyo ile tespit etme ve menzil tayini) kelimelerinin baş harflerinden oluşur. Radar konusundaki ilk çalışmalar 1886 yılına kadar dayanır. Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz radyo dalgalarının katı cisimlerden yansıyabileceğini göstermiştir. Kronstadt'taki Rus İmparatorluk Donanması Okulu'nda fizik eğitmeni olan Alexander Popov, 1895 yılında uzak yıldırım çarpmalarını tespit etmek için bir cihaz geliştirmiştir. Daha sonra 1897 yılında, Baltık Denizi'ndeki iki gemi arasında iletişim kurmak için bu donanımı test eden Popov, test sırasında üçüncü bir geminin geçişinin neden olduğu girişim ritmini not etmiştir. Popov raporunda, bu olgunun nesneleri tespit etmek için kullanılabileceğini yazmışsa da gözlemlerine dayalı farklı bir çalışma yürütmemiştir. Radyo dalgalarını, ilk kez Alman mucit Christian Hülsmeyer uzaktaki metal cisimlerin varlığını tespit etmek amacıyla kullanmış; 1904 yılında geliştirdiği farklı cihazlar için patentler almıştır. İkinci Dünya Savaşı döneminde ise Birleşik Krallık, Fransa, Almanya, İtalya, Japonya, Hollanda, Sovyetler Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki araştırmacılar, birbirlerinden bağımsız olarak ve büyük bir gizlilik içinde radarların modern sürümlerinin elde edilmesini sağlayan teknolojiler geliştirmişlerdir.

4. İLGİLİ MEVZUAT

Hız ihlal tespit donanımları, 3516 sayılı Ölçüler ve Ayar Kanunu kapsamında olan bir ölçü aletidir. Yakın zamana kadar bu cihazların muayene ve kalibrasyon işlemleri kullanıcısı olan kurumların kendi bünyelerinde yürütülmekte iken 07/03/2017 tarihli ve 30000 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Hız İhlal Tespit Donanımları Muayene Yönetmeliği ile birlikte radar cihazlarının mezkur kanun kapsamındaki muayene işlemlerini yürütme yetkisi Bakanlığımız tarafından Türk Standartları Enstitüsü'ne (TSE) verilmiştir [5]. Kullanımda olan her HİTD herhangi bir arıza, şikâyet vb. durum olmasa dahi yılda bir kez periyodik muayeneye tabi tutulmakta; cihaz üzerindeki damga ve işaretlemelerin doğru olup olmadığı ve ölçü aletinin doğru ayarlı çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir. Hem bir araç üzerine monte edilmiş durumda kullanılan hem de karayollarında sabit bir noktada kurulmuş olarak çalışan HİTD'ler benzer kontrollere tabi tutulurlar.

5. SAYISAL VERİLER

Ölümlü – yaralanmalı trafik kazalarında kazaya sebebiyet veren sürücü kusurları incelendiğinde, hız ihlalleri ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili olanların oranının ne denli yüksek olduğu Tablo 3'te belirtilmiştir. Benzer şekilde, müteakip iki yılda uygulanan trafik cezası sayıları karşılaştırıldığında (Tablo 4) en yüksek artış oranının % 86,8 ile aşırı hız kontrolü başlığında olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu alanda yapılacak her türlü denetim ve iyileştirmenin oldukça önem arz ettiğini gözler önüne sermektedir. Öte yandan, mevcut veriler ışığında, yapılan denetimlerin veya uygulanan cezaların yeterince caydırıcı olmadığı sonucu doğmaktadır. Ceza tutarlarını arttırma veya sürücülere aşırı hız yapmama konusunda sahip olmaları gereken bilinci kazandırma gibi alternatif önlemler üzerine çalışılarak hız ihlali yapmanın sürücüler için bir seçenek olmasının önüne geçilmesi gerekmektedir.

Tablo 3: Trafik Kazalarına Neden Olan Sürücü Kusurları [1]

Sürücü Kusuru	2018 Aralık	2018 Yılı
Araç hızını yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmamak	4.910	75.463
Arkadan çarpma	1.036	15.522
Aşırı hızla araç kullanmak	116	2.468
TOPLAM	11.504	192.081

Tablo 4: Sürücü, Yaya ve Yolculara Uygulanan Trafik Cezaları [1]

Kontrol Türleri	2016 YILI	2017 YILI	FARK %
Koruma Başlığı-Gözlük Kontrolü	52.672	60.956	15,7
Emniyet Kemeri Kontrolü	207.440	235.316	13,4
Cep Telefonu Kontrolü	83.894	78.196	-6,8
Alkol Kontrolü	110.877	124.327	12,1
Takograf Kontrolü	46.628	82.108	76,1
Aşırı Hız Kontrolü	**373.177**	**697.239**	**86,8**
Yaya Kontrolü	6.642	3.286	-50,5
Yolcu Kontrolü	5.962	9.444	58,4

SONUÇ

Teknolojideki durdurulamaz ve muazzam gelişim süreci birçok alanda olduğu gibi trafik konusunda da çeşitli çözümler sunmaktadır. Kullanılan akıllı trafik sistemleri trafiğin yoğun olduğu bölgelere, meteorolojik koşullara, acil durumlara veya toplu taşıma araçlarının ihtiyaçlarına göre trafik akışını anlık olarak yönlendirebilmekte; gerek duyulan hallerde geçiş üstünlüğü sağlayabilmektedir. Örneğin, akıllı ulaşım sistemleri kullanılan şehirlerde bir ambulans yola çıktığında güzergâhı üzerindeki tüm trafik ışıklarını kırmızıdan yeşile çevirmek günümüz şartlarında var olan bir yöntemdir. Veya kavşak yönetim sistemleri ile araç yoğunluğunun fazla olduğu istikamette kırmızı ışıkta bekleme süresini kısaltmak, nadiren kullanılan dönüş veya geçişlerde yalnızca araç/yaya varlığı halinde geçiş hakkı vermek gibi seçenekler mevcuttur. Buna benzer uyarlanabilen sistemler yardımıyla trafik akışı daha sağlıklı hale getirilebildiği takdirde sürücülerin aşırı hız yapmaları için, haksız da olsa, bir sebepleri kalmamış olacaktır.

Özel olarak hız denetimi açısından bakıldığında da yine hem trafik akışını rahatlatacak hem de aşırı hız yapmanın önüne geçebilecek çözümler bulunmaktadır. Mesela, bir yol boyunca uyulması gereken hız limitini sabit tutmak yerine yol üzerindeki trafik yoğunluğunu yolun farklı kısımlarında ayrı ayrı takip ederek, ilerideki trafik akışı durumuna göre hız sınırlarını aşağı çeken ya da yükselten yazılımlar mevcuttur. Sürücüleri rahatlatacak teknolojik çözümler araştırılıp uygulanırken diğer taraftan kolluk kuvvetlerinin denetimlerde kullandığı donanımlar da gelişimini sürdürmektedir. Tek bir kamera ile genişliği 6 şeride kadar olan yollar takip edilebilmekte; yazılımların araçları sınıflandırması sonucu farklı cinsteki araçlara kendi sınıflarına özgü hız limitleri otomatik olarak uygulanabilmekte; hız koridoru sistemleri vasıtasıyla araçlara anlık hız kontrolleri yerine uzun mesafeleri kapsayan denetimler uygulanabilmektedir.

Bunların yanı sıra plaka tanıma sistemlerinin çalıntı, aranma vb. durumlar için araçlar hakkında uyarı vermesi gibi basit ve etkili çözümler de mevcuttur. Sonraki adımlarda ise kayda giren araçların muayenelerinin olup olmadığı ya da araç ve sürücü hakkında çok daha detaylı bilgilere fiziki denetim yapmadan ulaşmanın mümkün olacağını tahmin etmek zor olmasa gerek. Yapılan her türlü uygulamanın hedefi çok daha fazla sürücüye can ve mal güvenliğinin önemini, bunun için de kurallara azami düzeyde riayet etmenin gerekliliğini kavratabilmektir. İşin içinde insan faktörü olunca yüzde yüz başarı sağlamak çok mümkün görünmese de ihlallere karşı mücadelenin her koşul ve şartta sürdürüleceği aşikârdır.

KAYNAKLAR

[1] http://www.trafik.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx
[2] T.C. Resmi Gazete. (1997). Karayolları Trafik Yönetmeliği. 18/07/1997 gün, 23053 sayılı.
[3] T.C. Resmi Gazete. (1983). Karayolları Trafik Kanunu. 18/10/1983 gün, 18195 sayılı.
[4] http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvUmFkYXI

[5] T.C. Resmi Gazete. (2017). Hız İhlal Tespit Donanımları Muayene Yönetmeliği. 07/03/2017 gün, 30000 sayılı.

ÖZGEÇMİŞ

Fehmi ATASOY

1989 Elazığ doğumludur. 2013 yılında Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2016 yılında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında uzman yardımcısı olarak göreve başlamıştır. Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğü Taksimetre ve Hız İhlal Tespit Donanımları Şubesi'nde görev yapmaktadır.

TAKSİMETRE VE RADARLARIN AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNE ENTEGRASYONU

Ali Dildehan ÖZCAN

ÖZET

Akıllı Ulaşım, trafikte seyreden araç sayısının artışı ile birlikte 1960'lı yıllardan bu yana hayatımızda yer almaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından ilki 2014 yılında yayımlanan Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eylem Planı ile ülkemizde de konu ile ilgili çalışmaların temeli atılmıştır.

Akıllı ulaşım en temel haliyle; trafikte araçlardan alınan verilerle çevre şartlarına ilişkin verilerin değerlendirilerek yolculara daha konforlu ve güvenli bir seyahat deneyimi sunmayı amaçlamaktadır.

Akıllı Ulaşım Sistemleri için gereken altyapı dönüşümünün sağlanması sürecinde sahadan mümkün olduğunca fazla veri (talep gören güzergahlar, şehirdeki insanların ulaşım ihtiyaçları ve alışkanlıkları, seyahat konforu) toplamak, bu konudaki yatırımların doğruluk oranını arttıracak bir faktör olacaktır. Bunun için mümkün mertebe trafikte seyir halinde araçların izlenmesi gerekecektir. Fakat mevcut araçların büyük bir çoğunluğunun V2I (Araç-altyapı haberleşmesi) protokolünü desteklememesi nedeniyle hali hazırda faydalanılan akıllı ulaşım hizmetleri (trafik yoğunluğu görüntüleme, kaza bilgisi…vs) araçların uzaktan görüntüleme teknolojileri aracılığıyla izlenmesi ile elde edilmektedir. Bu durum da araçların, görüş alanından çıktığı anda veri akışının kesilmesi anlamına gelmektedir.

Bu sorunun aşılması için araçlara ilave donanım entegre edilmesi ile mümkün hale gelecektir. Bu durumun hukuksal bağlamda sıkıntılar yaratabileceği öngörülmekle birlikte bu sürece gönüllü olarak dahil olan araç sürücüleri olsa bile, kısıtlı bir örneklem uzayı olacağı için sahadan toplanan verilerin sağlayacağı faydanın yeterli olmaması riskini doğuracaktır. Diğer taraftan yetkili ulusal otoritenin kendi araç filosunu oluşturarak bu süreci yürütmesi ise beraberinde ciddi bir malî külfet getirecektir. Bu nedenle hali hazırda var olan kaynakların bu amaç için değerlendirilmesi en makul çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu aşamada taksi gibi düzenleyicisi ve denetleyicisi kamu olan araçlar ön plana çıkmaktadır. Ölçü Aletleri Yönetmeliği(2014/32/AB)nin ilgili otoriteye, taksimetrelere ilave cihazlar bağlanabilmesini şart koşma serbestisi vermesinin yanı sıra taksilerin çalışma şartlarını düzenleyen otoriteler de benzer yetkilere sahiptir. Taksimetrelere entegre edilecek, gerekli verileri sağlayabilme özelliğini taşıyan cihazlar sayesinde, bu iş için tahsis edilmiş veri merkezinde işlenerek şehrin trafik düzeni ile ilgili veri elde etmek mümkün olacaktır. Benzer şekilde kolluk kuvvetlerince seyir güvenliği sağlanması amacıyla kullanılan hız ihlal tespit donanımlarının cezaî müeyyide uygulanacak araçların tespitine ek olarak; trafik yoğunluğunun tespiti, araçların hız karakterlerinin belirlenmesinde akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir parçası olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaşım, Taksimetre, Radar, Hız İhlali, Yasal Metroloji

ABSTRACT

Intelligent Transport has taken part in our lives in direct to increasing numbers of vehicles in traffic since late 1960s. Reference First reference document of national intelligent transport system released by Ministry of Transport and Infrastructure in 2014.

Basicly intelligent tranport systems' main goal is; evaluating the collected data from vehicles in traffic and environmental data simultaneously and informing drivers for better driving experience.

During transforming current infrastructure to the one suitable for intelligent transport collecting as much data (most used routes, transport habits of residences..etc) as possible will be one of the factors that increase accuracy of the investment. To achieve this goal as many vehicles as possible must be tracked. But since Vehicle to Vehicle and Vehicle to Infrastructure Technologies are not supported currently, vehicles have to be tracked remotely by traffic monitoring cameras. This means, when vehicles left the angle of vision continuity of tracking will be interrupted.

To solve this problem, additional hardwares should be mounted to the vehicles. Continuosly tracking individuals will cause violation of legal frameworks. Voluntarily tracked vehicles, since we will not be sure whether true sampling space has chosen correctly, will affect accuracy of the collected data negatively. On the other hand hiring a fleet will not be cost effective. Using taximeters is going to be most suitable way to be used data collection devices.

On this stage, authorities that responsable regulating taxi transport facilities are standing out. By forcing taxis to use essential hardware covers the needs of intelligent transport authority will make possible to better research feasibility of the intelligent transport system. Furthermore, integration of speed violation systems will contribute data collection.

Key Words: Intelligent Transport, Taximeter, Radar, Speed Violation, Legal Metrology.

1. GİRİŞ

1960'lı yılların sonunda hayatımıza giren akıllı ulaşım sistemleri (Intelligent Transport Systems - ITS) kavramı o dönem için araçların geçiş önceliğini ve yayaların güvenliğini düzenleyen sinyalizasyon ve hız ölçüm sistemlerinden ibaret bir kavram iken günümüze gelindiğinde *"Akıllı Ulaşım Sistemleri(AUS); seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin arttırılması, mevcut yol kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin arttırılması, enerji verimliliği sağlanarak ülke ekonomisine katkıda bulunmak ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen, kullanıcı-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile izleme, ölçme, analiz ve kontrol içeren sistemler"* [1] olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmaların ilk yıllarında "Ulaştırma Telematiği" adı kullanılıyorken kısa bir süre sonra "Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transport Systems)" ismi kullanılmaya başlanmıştır. [2] Günümüzün gözde çalışma alanlarından birisi olan yapay zeka (Artificial Intelligence)da olduğu gibi, ulaşım sistemlerine akıllılık (intelligence) kavramının entegre olması, bu sistemlerden ulaşım ağını öğrenip bunun sonucunda akışı düzenleyecek bir bilgiler üretmesinin beklendiğinin göstergesidir.

Hiç şüphesiz ISO tarafından belirlenmiş AUS mimarisi, içerisinde çok fazla bileşeni barındıran karmaşık bir yapıyı ifade ediyorsa da bu yazıda; ülkemizde kullanılmakta olan hız ölçüm teknolojileri ile taksimetrelerin, bu sistemin oluşturulmasına sağlayabileceği katkılar değerlendirilirken, AUS'un temelini oluşturan teknolojilerin taksimetrelerde kullanılmasının sağlayacağı faydalara değinilecektir.

2. ÜLKEMİZDE TAKSİMETRELERİN YASAL DURUMU

2.1 TAKSİMETRELERİN PİYASAYA ARZI

Ülkemizde taksimetreler, Karayolları Trafik Kanunu gereği taksilerde bulundurulma zorunluluğu açısından İçişleri Bakanlığı, Ölçüler ve Ayar Kanunu gereği doğru ayarlı şekilde çalışması açısından Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın yetki sınırı içinde yer almaktadır. Bunun yanında taksimetrelerin kullanıldığı taksicilik faaliyetlerinin düzenlemesinde, UKOMEler, esnaf ve sanatkar odaları gibi diğer paydaşlar da yer almaktadır.

Taksimetrelerin üretilmesi ve piyasa arz edilmesinde uygulanacak koşullar, Avrupa Birliği üyelik sürecinde ilk versiyonu, modüler yaklaşıma geçiş yapılan, 2004 yılında yayınlandıktan sonra 2014 yılında 2014/32/EC Direktifinden uyumlaştırılan Ölçü Aletleri Muayene Yönetmeliği ile hüküm altına alınmıştır. Taksimetrelerin bu Direktif'e uygun bir şekilde üretilmeleri ve Onaylanmış Kuruluş tarafından tip onay belgesi alması gerekmektedir. Diğer yandan 2004 yılından önce tip onay belgesi alan cihazlar için 29/10/2016 tarihine kadar üretim ve satışa devam izni verilirken, piyasada kullanımlarına ilişkin herhangi bir kısıtlayıcı hüküm getirilmemiştir.

Tip onay belgesi alan taksimetreler, Direktif kapsamındaki diğer ölçü aletlerinde olduğu gibi, Avrupa Birliği sınırları içerisinde serbest ticaret hakkı kazanmış olur. Bu da üye ülkelerin, satışı yapılacak taksimetrelerin teknik özelliklerini kendilerinin belirlemesine engel olan bir süreçtir. Öte yandan mezkur Direktif ülkelere, taksimetrelere ilave cihazlar bağlanmasını şart koşabilme serbestisini, üreticilere de bu cihazların bağlanması halinde cihazın doğru bir şekilde çalışmaya devam edecek üretim yapmaları zorunluluğunu getirmektedir.

Yürürlükteki mevzuat ülkelere, kendi ihtiyaçları doğrultusunda taksimetre üretimi şartları belirlemesi iznini vermiyor gözükmekle birlikte taşımacılık faaliyetlerini düzenleyen kurum/kuruluşların istedikleri özellikleri taşıyan cihazları kullanma hakkı olduğu gibi akıllı ulaşım kapsamında ihtiyaçlara karşılık verecek ilave bir modül bağlanması zorunluluğu taksimetrelerin dönüşümü sağlanabilir.

3. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TAKSİMETRELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Taksimetreler; araçlara ilk takıldıkları sırada, aracın 1 km gitmesi sonrasında araçtan aldıkları sinyal sayısını (k sabiti) hafızalarına kaydettikten sonra aldıkları sinyal sayısı oranında mesafe hesaplaması prensibine göre çalışırlar. Yani doğrudan bir mesafe ölçümü söz konusu değildir. Taksimetre mesafe hesabını hafızasındaki parametreler ile gerçekleştirdiğinden; haricen sinyal verisi göndermenin dışında, tekerlek çapının değiştirilmesi, farklı bir araca montajının yapılması gibi her araçta yasal olarak gerçekleştirilebilecek değişiklikler de cihazın normalden daha farklı ücret hesaplamasına neden olacaktır. Bunun yanı sıra; yasal metroloji kapsamındaki pek çok ölçü aletinin aksine, yolculuk ücretinin öngörülemeyen girdilerini kullanıcının elle girmesi ve kullanıcıya nihai ücreti göstermesi beklendiği için taksimetre ücret hesabı manipülasyona oldukça açıktır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için doğrulaması yapılmış taksimetrelerin ayarlarında yapılan değişikliklerin takip edilebilir olması gerekmetedir. Bu nedenle söz konusu bilgiler kayıt altına alınmaktadır.

Ülkemizde, iTaksi uygulamasının hayata geçtiği İstanbul haricinde, taksimetre – araç sistemleri kapalı devre çalışan sistemler olup uzaktan veri alışverişi yapılmasına imkan tanımamakta, katedilen toplam mesafe, alınan toplam ücret gibi sınırlı veriler son kullanıcı ile sadece cihaz arayüzünden paylaşılmaktadır. Ücret ile ilgili verilerin devlet kurumları tarafından takip edilememesi, basit usüle göre vergilendirilen[3] taksicilik gelirlerinin doğru tespit edilememesi problemini de ortaya çıkarmaktadır.

Özellikle ülkemizi ziyaret eden yabancı turistler dahil olmak üzere sık sık tüketicilerin şikayetlerinin konusu olan taksiler ile ilgili denetimler yapılsa da yapılan bir manipülasyonun tespiti oldukça zor olabilmektedir. Yapılan şikayetlerde eldeki tek referans kaynağı aracın kendisi olurken, yolculuğa ve yolcuya dair herhangi bir kayıt tutulmadığı için, çekilmiş görüntü olmadığı takdirde, ilgili şikayet ile aracı eşleştirmek de mümkün olmamaktadır.

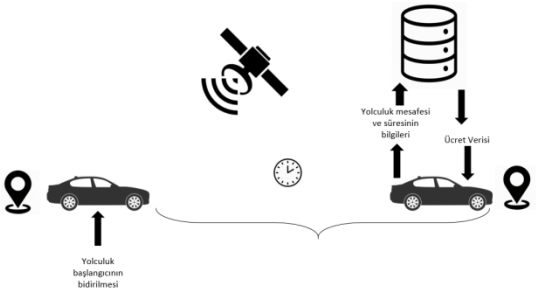
Taksimetrelerin kapalı sistemler olmasının getirdiği bir başka dezavantaj da; tarife değişikliği yada diğer ayarlamalar için cihazlara tek tek elle müdahale edilme zorunluluğu getirmesidir. Özellikle büyükşehirlerde tarife değişiklik dönemlerinde, zamlı tarifeyi bir an önce kullanmak isteyen kullanıcıların oluşturduğu talep nedeniyle 24 saate varan tarife yükleme süreçleri olmaktadır.

Bütün bu durumlar göz önüne alındığında; taksimetrelerin, uzaktan güvenli bağlantı yoluyla veri alışverişi yapabilmesi ile, günümüzde yüksek işlem gücü gerektiren uygulamaların uzaktaki güçlü bilgisayarlar ile yapıldıktan sonra işlenen verilerin çıktılarının son kullanıcının bilgisayarına gönderilmesi temeli dayanan "cloud computing" sistemine entegre edilerek taksimetrelerin, her yolculuk için bir kimlik numarası oluşturarak yolcuğun süresi ve katedilen mesafe bilgilerinin yetkili

otorite sunucularına gönderilmesi ve ücret bilgisinin alınması şeklinde bir çalışma mantığı kazanması halinde, insan müdahalesi olmaksızın ücret hesaplanacağı için sahteciliğin önüne geçilmiş olacaktır.

GPS, GLONASS gibi konum belirleme hizmetleri aynı zamanda zaman bilgisini sağlayabildiği için taksimetrelerde kullanılması en uygun sistemler olacaktır. Taksimetrelerin köprü, otoyol gibi ücretli yolların girişinde yer alan elektronik ücret toplama sistemleri ile veri alışverişi sayesinde öngörülemeyen ilave ücretler de kullanıcı müdahalesi olmaksızın yolculuk ücretine dahil edilebilir.

Konum belirleme hizmetleri ile aracın faaliyet gösterdiği yerleşim yeri tespiti ile kullanılacak tarife bilgileri yetkili otorite sunucularından alınabileceği için taksimetrelere tarife yüklemesi yapılmasına dolayısıyla ayar sonrası yapılan doğrulama işlemine (ilk muayene) gerek kalmayacaktır.

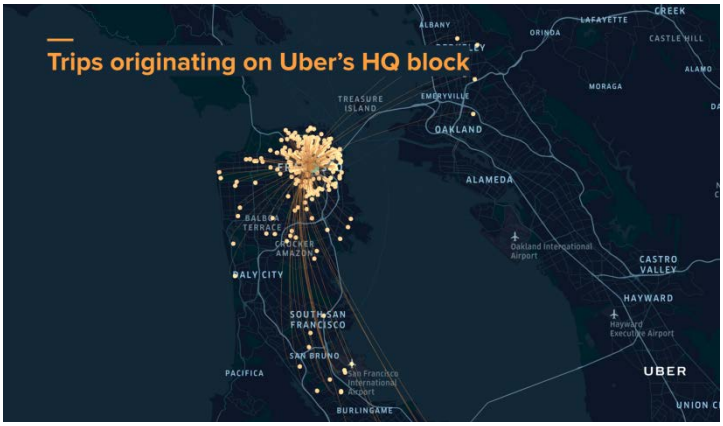


Şekil 1. Bulut Tabanlı Bilgisayarlar ile Ücret Hesabı

4. TAKSİMETRELERİN AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNE KATKISI

3. Bölümde bahsedilen, yolculuk bilgilerinin değerlendirilerek müşteriye sunulması hizmetinin çok benzeri sistemler aslında Uber, Lyft gibi sürüş paylaşım sistemleri tarafından halihazırda kullanılmaktadır. Bu sektörün önde gelen kuruluşlarından olan Uber, 2016 yılında veri güvenliği krizi yaşamış ve milyonlarca kullanıcının bilgileri başkaları tarafından ele geçirilmişti[4]. Şirket tarafından yapılan açıklamada sürücü lisans numaraları ile yolcuların, yolculuk geçmişleri de dahil olmak üzere kişisel bilgilerinin çalındığı ifade edildi[5].

Bu durum her ne kadar veri güvenliği konusu olsa da, taksilerin yerine kullanılan bu taşıma hizmeti ile ne tür verilerin elde edilebileceğinin görülmesi açısından önemlidir.



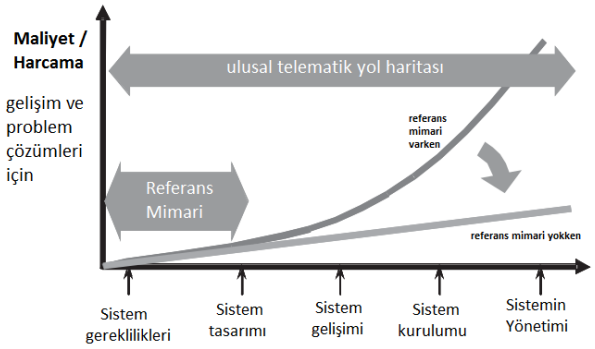
Şekil 2. UBER Harita Verileri

Şehirlerin akıllı ulaşım dönüşümlerinde yapılması düşünülen yatırımlar için gerekli fizibilite çalışmalarında, şehir halkının ulaşım alışkanlıkları ile ilgili mümkün olduğunca fazla veri elde etmek önem kazanmaktadır. Bu durum Uber şirketi tarafından "*Uber'in kullanıcı ağı genişledikçe bize fiziksel dünyayı anlamamıza yardım edecek sensörlerin sayısı da artmaktadır. Bu bilgiyi harita oluşturmakta, piyasayı optimize etmekte ve kendi kendine giden araçlarımızı eğitmek için kullanıyoruz*[6]" cümlesi ile ifade edilmektedir. Şekil 2'de Uber tarafından, merkez ofisinden yapılan yolculukların yapıldığı yerlerin istatistiki verileri hakkında ipucu verecek bir harita paylaşılmıştır.

Yeni eklenecek / düzenlenecek ulaşım güzergahlarının belirlenmesi, yapılması düşünülen yeni karayollarının belirlenmesi, hatta şehir planlamacılığında dahi kullanım alanı olabilecek bu verileri, bir firmanın kendi imkanlarıyla topladığı düşünüldüğünde, kimlik bilgileri ve yolcuya ait diğer ayırt edici bilgilerin toplanmaması kaydıyla, ilgili kamu kurumlarının ihtiyacı olan veriler, taksi yolculukları sayesinde daha kapsamlı bir şekilde elde edilebilir.

Bu verilerin gerçekliği ile trafikte izlenen araçların sayısı doğru orantılı olmakla beraber kullanıcıların rızası olmadan yapılacak bu tarz bir izleme, ülkemiz de dahil olmak üzere pek çok ülkede gizlilik yasalarına aykırı olacaktır. Diğer taraftan bu sürece gönüllü olarak dahil olacak sürücü grubuna ait örneklem uzayının doğru seçilememesi de doğru veri alınmasını engelleyecektir. Dolayısıyla şehrin genelinde kullanılabilecek ve kullanıcı gizliliğinin garanti altına alınacağı bir modele ihtiyaç ortaya çıkmaktadır.

Ulaşım altyapısında köklü değişiklikler yapılmasının getireceği riskler, sistem mimarisinin ilk tanımının doğru yapılması ve aynı zamanda uzun vadeli trafik telematiği perspektefinin net olması sayesinde ciddi oranda azaltılabilir. Bu da ancak çerçeve mimari, ideal bir referans mimari ve trafik telematiği amacının belirlenmesi ile mümkündür[7].



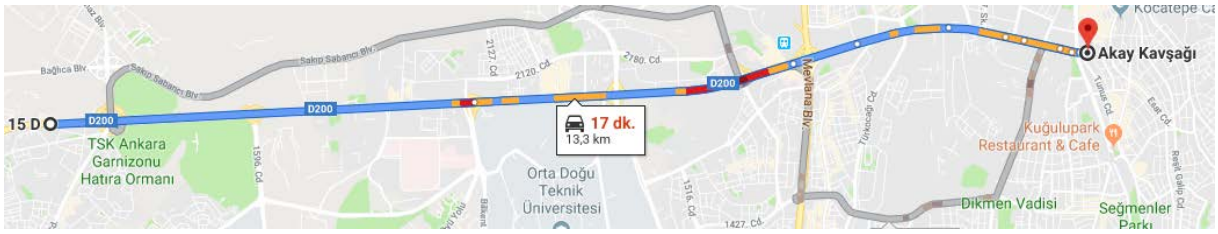
Şekil 3. Trafik Sistemi Geliştirme Aşamaları [7]

Akıllı ulaşımın iki temel bileşeni olan araç – araç (V2V) ve araç – altyapı haberleşme (V2I) protokollerini destekleyen altyapı değişikliklerin hayata geçirilmesi sırasında ortaya çıkabilecek riskleri minimum seviyeye çekebilmek için pilot uygulamalar önem kazanmaktadır. Bununla birlikte, haberleşme protokollerinin henüz daha standart bir hale gelmemesi ise araçların bu teknolojileri kullanabilen donanımlar ile üretilmesine engel olmaktadır. Bu süre zarfında, pilot uygulama yapabilmek için konsept araba üretmek/ürettirmek yerine kullanılması düşünülen haberleşme teknolojilerinin taksimetrelere entegre edilmesi, ilgili otoriteyi ciddi bir malî yükten kurtaracağı gibi farklı araçlara uygulanabilmesi yönüyle esneklik sağlayacaktır.

4. HIZ İHLAL TESPİT DONANIMLARININ AUS'A ENTEGRASYONU

Araç trafiğinin yoğun olduğu saatlerde kalabalık yollarda trafik akış hızının oldukça azalması sürücülerde genel bir memnuniyetsizlik yaratmakta ve artan stres seviyesi ile birlikte dikkat dağınıklığı ve buna bağlı olarak kaza yapma riskinde artış gözlemlenmektedir. Bu nedenle trafik yoğunluğunu düzenleme ve sürüş güvenliğini arttırmak adına değişken (dinamik) hız limitleri uygulanması, çeşitli çalışmalara konu olmuş, bazı metropollerde uygulanmaya başlamıştır.

Trafik akışının, karayolunun bütün noktalarında hemen hemen aynı hızlarda seyretmesi “homojenlik” olarak adlandırılırken hızın azalması ve homojenliğin artmasının, trafik kazası riskini ve yol açtığı hasarı azalttığı bilinmektedir[8]. Popülerlik ve yaygınlık kazanmasına rağmen dinamik hız limiti stratejileri hala iyi bilinmemektedir. Genellikle söylenen faydaları; emisyon değerlerinde ve kaza oranlarında azalma ve sıkışık trafiğin rahatlamasıdır. Bu kazanımların da kapasite artımı, bir başka deyişle kapasite düşüşünü engelleyen trafik akışının homojenize edilmesiyle edinildiği düşünülmektedir[9].



Şekil 4. 17:08'de Ankara Dumlupınar Bulvarı Trafik Haritası

Şekil 4’te görüleceği üzere Ankara’nın batısı ile merkezini bağlayan ve yaklaşık 10 km boyunca herhangi bir trafik ışığı yer almayan yol kesiminde buna rağmen sıkışıklığın oluştuğu gözlemlenmektedir. Kesintisiz bir sürüş deneyimi sağlanması için trafik akışının lambalar ile sekteye uğramasının önüne geçilmeye çalışılsa da, yoldaki araç sayısı taşıma kapasitesinin üzerine ulaştığında trafik sıkışıklığı da kaçınılmaz hale gelmektedir. Şehirlerin mevcut yapısı göz önüne alındığında trafik ışığına ihtiyaç duyulmayacak şekilde uzatılacak yol kesimleri sınırlı olacağından araç mülkiyeti kısıtlanmadığı sürece bu çözümlerin belli bir süreden sonra işe yaramayacağı tahmin edilebilir.

Bu noktada kesintisiz bir araç sürüşünü sağlayabilmek için trafiği homojenize etmek gerekliliği ortaya çıkarken, bunun sağlanması için iki yöntem ortaya konulabilir. Birinci yöntem, araçların arasındaki takip mesafesinin korunması, ikinci yöntem de azami hız sınırının trafik yoğunluğuna göre değiştirilmesidir. Her ne kadar dinamik hız limitleri ile ilgili yapılan çalışmalar dar bir ölçekte ve yapay ortamda elde edilen bulgulara dayanıyor olsa da [9], araç hareketinin, düşük hızlarda olsa bile, sürekliliği sürücülerin odağının trafik dışına kaymasını engelleyerek, trafik sıkışıklığı nedeniyle oluşacak stres faktörünün de minimal düzeyde olacağı düşünüldüğünde kaza riskini azaltacaktır.

2011 yılında Karayolları Trafik Kanunu’nda yapılan değişiklik ile belediyeler de hız ihlali tespiti ve bunların cezalandırılması konusunda ilgili paydaşlardan birisi olmuştur. Son yıllarda hem hız tespitinde kullanılabilmesi hem de trafiğin izlenebilmesi için belediyeler tarafından kent trafik yönetim sistemleri ve gözlem merkezleri hayata geçirilmeye başlanmıştır. Günümüz teknolojisine sahip cihazlar ile kurulan bu sistemler, çoklu şeritlerde hem takip mesafesi ihlallerini hem hız limiti ihlallerini tespit edilecek noktaya gelmiştir.

Araç takip mesafelerinin ve/veya dinamik hız limitlerinin ihlallerinin tespiti için yapılacak gözlem sonucu elde edilen verilerin akıllı ulaşım ağı ile paylaşılması ise sürüş ön bilgilendirme süreçlerinde kullanılabileceği gibi yoğunluğu farklı yönlere dağıtacak yönlendirmeler için de kullanılabilecektir. Bu kapsamda akıllı trafik uygulamalarında kullanılmak üzere; çevresel ölçüm sensörleri ve hız tespitini yapabilen entegre cihazlar da piyasada yer almaya başlamıştır[10].

SONUÇ

Akıllı ulaşım sistemlerine geçiş için yapılacak yatırımların öncesinde gerekli araştırma ve incelemelerin yapılması, yatırım maliyetlerini düşürmesinin yanı sıra ihtiyaçlara yönelik nokta çözümler üretilmesini de sağlayacaktır. Bu araştırma ve gözlemlerin karayollarında gerçekleştirilmesi gereken kısmı için hali hazırda kullanımda olan donanım kaynağının bu işler için kullanılması önemli ölçüde tasarruf sağlayacaktır.

Taksimetreler, hem zorunlu düzenlemelerinin kamu kurumları tarafından yapılması hem de yolculuk yapan kişilerin bilgilerinin gizli kalması nedeniyle, yolculuk verisinin toplanması ve ileride araçlara entegre edilmesi düşünülen teknolojilerin denenmesi amaçları için oldukça uygun cihazlardır.

Akıllı ulaşım teknolojilerinin taksimetrelere entegre edilmesi, ücret hesaplamasında kullanılacak bilgileri araç yerine çevreden almasına imkan tanıyacağı için bu cihazların uzun vadede insan müdahalesine ihtiyaç duymadan çalışmasını sağlaması ve dolayısıyla çok daha güvenli olmasını sağlayacaktır.

Benzer şekilde şehir içindeki trafik akışını kontrol etmek ve hız ihlallerini tespit etmek amacıyla kurulan radar ve kamera sistemleri de akıllı ulaşımın bir parçası haline getirilerek trafik akışını düzenleme ve yolculuk öncesi gerçekçi alternatifler sunma konusunda önemli rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] http://www.hgm.gov.tr/tr/sayfa/49#AUS,
[2] Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi(2014 - 2023) ve Eki Eylem Planı (2014 - 2016)
[3] https://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/beyannamerehberi/2018_basitusulrehber.pdf.
[4] https://us.norton.com/internetsecurity-emerging-threats-uber-breach-57-million.html
[5] https://www.uber.com/newsroom/2016-data-incident/
[6] https://eng.uber.com/machine-learning/
[7] BUSCH F, KELLER H, RİEGELHUTH G, SCHNİTTGER S, “Systemarchitekturen für Verkehrstelematik in Deutschland”, Deutschen Straßen- und Verkehrskongress 2006
[8] VAN NES N, BRANDENBURG S, TWISK D, “Improving homogeneity by dynamic speed limit systems”, 2009
[9] SORİGUERAA F, SALA M, Freeway Lab: Testing Dynamic Speed Limits, XI Congreso de Ingeniería del Transporte 2014
[10] https://radarsan.com/trafidar/

ÖZGEÇMİŞ

Ali Dildehan ÖZCAN

1987 yılı Bursa doğumludur. 2009 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mimarlık- Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2010 yılından beri Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nda, Taksimetre ve Hız İhlal Tespit Donanımları Şube Müdürlüğü’nde görev yapmaktadır.

ISI SAYAÇLARININ MUAYENELERİ

Erkut KIRMIZIOĞLU

ÖZET

Bu çalışma, ülkemizde merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda kullanılan ısı sayaçlarının muayeneleri ile bu muayenelerin kimler tarafından ve nasıl yapılacağına ilişkin hususları içermektedir. 06/07/2018 tarihli ve 30470 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Isı Sayaçları Muayene Yönetmeliği ile ısı sayaçlarının her beş yılda bir muayene edilme zorunluluğu getirilmiştir. Bu muayenelerin yaptırılmasından Isı Dağıtım Şirketi / Bina Yönetim Kurulu / Bina Yöneticisi / Bina Sahibi sorumludur. Isı sayaçlarının muayeneleri Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nca yetkilendirilen servislerde yapılmaktadır. Bu servislerde çalışan teknik personelin de aynı Bakanlıkça belgelendirilmiş olması gerekmektedir. Bu işlemlerin yetki belgesine sahip olmayan servislerce ve kişilerce yapılması yasaktır. Isı sayaçları, servislerde teknik personel tarafından muayeneye tabi tutulduktan sonra, maksimum izin verilebilir hata payları içinde çalışanlar damgalanmakta, hata payları içinde çalışmayanlar ise tamir ve ayarı yapılmak üzere ayrılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isı sayacı muayenesi, Isı sayaçları muayene servisi.

ABSTRACT

This study includes verification procedures of heat meters used in district heating systems in Turkey. Heat Meters Verification Regulation that was published in Official Gazette dated 06/07/2018 and numbered 30470 requires heat meters to be verified in every five years. Heat Distribution Company / Building Board / Building Manager / Owner of Building are responsible for verification of heat meters. Verifications are made by services which are authorized by Ministry of Industry and Technology. Technical staff working in these services must also be certified by the Ministry. Verification of heat meters made by unauthorized services and technical staff are prohibited. After verification, heat meters functioning in maximum permissible error limits are sealed by services, while heat meters functioning out of maximum permissible error limits are repaired and calibrated.

Key Words: Heat meter verification; Heat meters verification services.

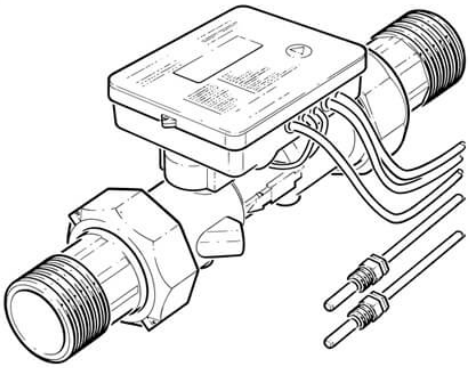
GİRİŞ

Ülkemizde merkezi ısıtma sistemine sahip yeni yapılacak binalarda ısı paylaşım sisteminin kurulması zorunluluğu 14/04/2008 tarihinde getirilirken, mevcut binalarda ise 02/05/2012 tarihine kadar bu sistemin kurulması zorunlu tutulmuştur. Isı paylaşım sistemi; merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda, ısınma maliyetlerinin ısı kullanım miktarına bağlı olarak paylaştırılmasını sağlamaktadır. Bu sistemlerde ısı sayacı veya ısı pay ölçer kullanımı ile bağımsız bölüm başına düşen ısı kullanım değeri hesaplanmaktadır. Isı paylaşım sistemi olmayan merkezi ısıtma sisteminde, radyatörün sıcaklığı ayarlanamamakta, bağımsız bölüm kullanılmasa bile diğerleri kadar ısı tüketmekte ve her bir kullanıcı aynı ısınma ücretini ödemektedir. Isı paylaşım sisteminde ise bağımsız bölümün sıcaklığı termostat vanası ile istenilen dereceye ayarlanabilmekte ve kullanıcı tükettiği enerji oranında fatura ödemektedir. Kombi sisteminde, kombinin kapatılması ile radyatörün ısısı tamamen kesilirken, alt ve üst kattaki bağımsız bölümlerde ısı kaybı yaşanmakta, bu daireler ısınma için daha çok enerji harcamak zorunda

kalmaktadır. Isı paylaşım sistemlerinde ise termostatik radyatör vanası kapatılsa bile bağımsız bölümün sıcaklığı 15 derecenin altına düşmeyecek şekilde radyatör ısı vermeye devam etmektedir. Isı paylaşım sistemindeki temel amaç, merkezi ısıtma sisteminin konforu ile kombi sisteminin tasarrufunu birleştirmektir.

1. ISI SAYAÇLARI

Isı sayaçları; akış sensörü, sıcaklık sensorleri ve hesaplayıcı olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Akış sensörü, bağımsız bölüm radyatörlerinde dolaşan suyun debisini ölçmektedir. Sıcaklık sensörleri, suyun bağımsız bölüme girmeden önceki ve radyatörlerde dolaştıktan sonra bağımsız bölünden çıktıktan sonraki sıcaklık değerlerini ölçmektedir. Hesaplayıcı, akış sensörü ve sıcaklık sensörlerinden almış olduğu değerler ile bağımsız bölümde tüketilen enerjiyi hesaplamaktadır. Isı sayacı, komple, birleşik veya karma (kompakt) olmak üzere üç farklı yapıda üretilmektedir. Komple ısı sayacı; akış sensörü, ikili sıcaklık sensörleri ve hesaplayıcı gibi alt gruplara ayrılmamaktadır. Birleşik ısı sayacı; akış sensörü, ikili sıcaklık sensörleri, hesaplayıcı veya bunların birleşiminden oluşan alt gruplara ayrılabilmektedir. Karma (kompakt) ısı sayacı, tip onayı ve ilk muayene için birleşik ısı sayacı gibi alt gruplara ayrılabilmekte, fakat ilk muayeneden sonra alt gruplara ayrılamamaktadır.



Şekil 1. Isı sayacı

Isı sayaçlarının ilgili teknik düzenlemesine uygun olarak tip onayı alınmış, muayene işlemleri, muayene işaretleri ve/veya damgalama işlemleri yapılmış ve onaylanmış kuruluş ile işlemleri tamamlanmış olarak piyasaya arz edilmesi gerekmektedir. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nca ısı sayaçlarının ilgili teknik düzenlemesine uygun olarak piyasaya arzı, kullanıma sunulması ve muayenelerine ilişkin işlemler yürütülmektedir. Her ölçü aleti gibi ısı sayacının da ölçüm hassasiyeti çeşitli nedenlerle zamanla azalabilmektedir. Bu nedenle ısı sayaçlarının belirli zaman aralıklarında muayene tabi tutularak ölçüm sonuçlarının maksimum izin verilebilir hata sınırları (MİH) içinde olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından Isı Sayaçları Muayene Yönetmeliği 06/07/2018 tarihli ve 30470 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bu yönetmelik ile ısı sayaçlarının muayenelerinin kimler tarafından ve nasıl yapılacağına ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir. Yönetmelik; ısı sayaçlarının tamiri, bakımı, ayarı, muayenesi, damgalanması ile bu hizmetleri verecek iş yerleri ve bu iş yerlerinde çalışacak personelin belgelendirilmesine ilişkin işlemleri düzenlemektedir.

2. MUAYENE TİPLERİ

Isı sayaçları, aşağıda belirtilen muayenelere tabi tutulmaktadır:

- İlk muayene,
- Periyodik muayene,
- Ani muayene,
- Şikâyet muayenesi,
- Stok muayenesi.

Isı sayaçlarının piyasaya arzından önceki ilk muayenesi; onaylanmış kuruluş veya onaylanmış kuruluştan yetki alan üreticisi tarafından yapılmaktadır. Isı sayaçlarının piyasaya arzından sonraki muayene işlemleri ise servisler tarafından yapılmaktadır. Servisler tarafından muayenesi yapılacak ısı sayacının öncelikle ilgili teknik düzenlemesine uygun olarak piyasaya arz edilip edilmediği kontrol edilmektedir. Bunun için sayacın öncelikle;

- Tip onay belgesinin olup olmadığı,
- Etiket bilgilerinin ve işaretlerinin uygun olup olmadığı,
- Üzerinde bulunan damgaların uygun olup olmadığı,
- Damgasına ve/veya sayaca müdahale edilip edilmediği

kontrol edilmektedir. Bu şartlar sağlanıyorsa, sayaç servis tarafından muayeneye tabi tutulmakta ve maksimum izin verilebilir hata sınırları (MİH) içinde çalışanlar damgalanmaktadır. MİH içinde çalışmayanlar ise tamir ve ayarı yapılmak üzere ayrılmaktadır. Servis tarafından yapılan kontrollerde teknik düzenlemenin uygunluğuyla ilgili tereddüt oluştuğunda, sayaçların muayenesi yapılmamaktadır. Bu durumda, üç nüsha uygunsuzluk tutanağı düzenlenmektedir. Uygunsuzluk tutanağında belirtilen hususlarla ilgili olarak, il müdürlüğünce yerinde yapılacak inceleme sonucunda, mevzuata aykırı bir durum varsa kanuni işlem yapılmaktadır. Mevzuata aykırı bir durum yoksa il müdürlüğünce servis tarafından muayene işleminin yapılması sağlanmaktadır.

Isı sayaçlarının her beş yılda bir periyodik muayeneye tabi tutulması gerekmektedir. Periyodik muayeneyi zamanında yaptırmayan yükümlülere damga süresi dolmuş ölçü aletini kullanma fiilinden dolayı idari para cezası kesilmektedir. Periyodik muayene sonucunda uygun bulunan ısı sayaçları, damgalanmaktadır. Damganın üzerinde servis kodu, personel kodu ve damgalandığı yılın son iki rakamı bulunmaktadır. Periyodik muayene süresinin hesaplanmasında bu değer esas alınmaktadır.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı personeli, piyasaya arz edilmiş olan ısı sayaçlarının bulundukları yerde habersizce ani muayene yapma yetkisine sahiptir. Bakanlık personeli muayenelerde, servislerin laboratuvarlarından ücretsiz olarak yararlanabilmektedir. Ani muayene sonucunda tamir, bakım, ayar, muayene ve damgalama işlemleri yapılmak üzere servise gönderilen sayaçlar ile ilgili masraflar kullanıcı tarafından karşılanmaktadır.

Kendisinin veya bir başkasına ait ısı sayacının doğru ölçüm yapmadığından şüphelenen kullanıcı servislere başvurarak, şikâyet muayenesi yapılmasını talep edebilmektedir. Servis tarafından şikâyet muayenesine tabi tutulacak sayacın öncelikle ilgili teknik düzenlemesine uygun olarak piyasaya arz edilip edilmediği kontrol edilmektedir. Bu şartlar sağlanıyorsa, sayaç muayeneye tabi tutulmaktadır. Şikâyet muayenesi müracaatının kullanıcı tarafından yapılması durumunda; sayacın doğru veya hatalı çıkmasına bakılmaksızın muayene ücreti kendisine aittir. Müracaatın kullanıcı dışında bir kimse tarafından yapılması durumunda; muayene sonucunda, sayacın doğru çalıştığının tespit edilmesi halinde muayene ücreti müracaat sahibine, hatalı çalıştığının tespit edilmesi halinde ise muayene ücreti kullanıcıya aittir.

3. DOĞRULUK MUAYENESİ

Isı sayacının doğruluk muayenesine başlamadan önce, servislerce kullanılacak etalon ve ekipmanların gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Isı sayacının tipine göre muayene süreci farklılık göstermektedir. Komple ısı sayacının muayenesine başlamadan önce, sayaç üzerinden;

- Doğruluk sınıfı,
- $\Delta\Theta_{min}$ (Isı sayacının MİH'ler dâhilinde doğru çalışması için belirlenen sıcaklık farkının alt sınırı),
- $\Delta\Theta_{mak}$ (Isı sayacının MİH'ler dâhilinde doğru çalışması için belirlenen sıcaklık farkının üst sınırı),
- q_i (Isı sayacının doğru çalışması amacıyla izin verilen debinin en düşük değeri),
- q_p (Isı sayacının doğru çalışması amacıyla izin verilen debinin en yüksek değeri)

değerleri okunur. Isı sayacı aşağıda belirtilen aralıklarda muayeneye tâbi tutulur.

- $\Delta\Theta_{min} \leq \Delta\Theta \leq 1{,}2\ \Delta\Theta_{min}$ ve $0{,}9\ q_p \leq q \leq 1{,}1\ q_p$
- $10\ K \leq \Delta\Theta \leq 20\ K$ ve $0{,}1\ q_p \leq q \leq 0{,}11\ q_p$
- $\Delta\Theta_{mak} - 5K \leq \Delta\Theta \leq \Delta\Theta_{mak}$ ve $q_i \leq q \leq 1{,}2\ q_i$

Çıkış hattı sıcaklık sensörünün daldırılacağı banyonun sıcaklığı (50±5) °C sıcaklığında olmalıdır. Giriş hattı sıcaklık sensörünün daldırılacağı banyonun sıcaklığı ise diğer banyonun sıcaklığından $\Delta\Theta$ kadar fazla olmalıdır. Her iki sıcaklık sensörü banyolara en küçük daldırma derinliğinden az olmayacak ve su içinde kalacak şekilde daldırılır. Sıcaklık banyolarına kalibre edilmiş etalon termometreler yerleştirilir. Sayaç, istasyona akış yönüne göre bağlanır ve test moduna alınır. Isı sayaçlarının diğer sayaçlar gibi belirli bir MİH değeri yoktur. MİH değerleri sayaç sınıfına, sayaç sabitlerine ve muayene koşullarına göre değişmektedir. Isı sayacının toplam MİH değeri; akış sensörünün, sıcaklık sensörlerinin ve hesaplayıcının MİH değerlerinin ayrı ayrı toplanması ile elde edilir. Her bir muayene noktası için MİH değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

- Sınıf 1: ± % 5 den fazla olmamak üzere E_f (Akış sensörü MİH) = $\pm\ (1 + 0{,}01\ q_p / q)$,
- Sınıf 2: ± % 5 den fazla olmamak üzere $E_f = \pm\ (2 + 0{,}02\ q_p / q)$,
- Sınıf 3: ± % 5 den fazla olmamak üzere $E_f = \pm\ (3 + 0{,}05\ q_p / q)$.

E_t (Sıcaklık sensörü MİH) = $\pm\ (0{,}5 + 3\ \Delta\Theta_{min} / \Delta\Theta)$
E_c (Hesaplayıcı MİH) = $\pm\ (0{,}5 + \Delta\Theta_{min} / \Delta\Theta)$
E (Isı sayacı MİH) = $E_f + E_t + E_c$

Sayaçtan geçen su miktarı ile banyolardaki etalon termometrelerden okunan sıcaklık değerleri alınarak, gerçek enerji değeri hesaplanır. Hesaplanan bu değer ile sayaçtan okunan enerji değeri karşılaştırılarak, aşağıdaki formüle göre yüzde (%) hata değeri hesaplanır.

$$E_b = (Q_s - Q_e) / Q_e \times 100$$

E_b: Sayacın enerji hatası
Q_s: Sayaçtan okunan enerji değeri
Q_e: Gerçek enerji değeri

Sayacın enerji hatasının, MİH sınırları içinde olup olmadığı kontrol edilir. Hata değerinin MİH sınırları içinde olması durumunda sayacın doğru çalıştığı kabul edilir. MİH sınırları dışında olması halinde ise muayene aynı şekilde iki defa daha tekrarlanır. Muayene sonuçlarının aşağıdaki iki koşulu sağlaması durumunda sayacın doğru çalıştığı kabul edilir.

- Üç muayene sonucunun aritmetik ortalaması ve
- Muayene sonuçlarının en az ikisinin MİH sınırları içinde bulunması.

Yukarıda belirtilen muayene adımları diğer sıcaklık farkı ve debi aralıklarında da tekrar edilir.

Birleşik ısı sayaçlarının muayenesinde; sıcaklık sensörleri, akış sensörü ve hesaplayıcı ayrı ayrı muayeneye tabi tutulmaktadır. Karma ısı sayaçlarının muayenesi, komple ısı sayacının muayenesi gibi yapılmaktadır. Ancak, sayaç tamir, bakım, ayar gibi işlemlerden sonra ilk muayeneye tabi tutulacaksa, birleşik ısı sayacı gibi muayene edilmektedir.

4. ISI SAYAÇLARI YETKİLİ MUAYENE SERVİSLERİ

Isı sayaçlarının muayeneleri Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nca yetkilendirilen servislerde yapılmaktadır. Bu servislerde çalışan personelin de Bakanlıkça belgelendirilmiş olması gerekmektedir. Bu işlemlerin yetki belgesine sahip olmayan servisler ve kişiler tarafından yapılması yasaktır.

4.1. Serviste Kullanılan Cihazlar

Hassas Terazi: Terazinin kapasitesi muayenede kullanılacak su miktarını karşılamalıdır. Sistemin iki terazili olması durumunda küçük terazi kapasitesi daha küçük olabilir. Terazi gerekli belirsizliği sağlayacak hassasiyet sınıfına sahip olmalıdır.

Sıcaklık Banyoları: Sistemde en az 2 adet sıcaklık banyosu olmalıdır. Sıcaklık banyolarına sıcaklık sensörleri ve etalon termometreler daldırılarak muayene yapılmaktadır. Banyolarda hem soğutma hem ısıtma fonksiyonu bulunmalıdır.

Debimetreler: Muayenede gerekli akışı sağlayacak debimetreler kullanılmalıdır. Debimetreler kapasitesine göre birden fazla sayıda olabilir.

Basınç Sensörleri: Sistemde girişte ve çıkışta en az 2 adet basınç sensörü olmalıdır.

Sıcaklık Sensörleri: Sistemde girişte ve çıkışta en az 2 adet sıcaklık sensörü olmalıdır.

Etalon Termometreler: Sıcaklık banyolarında kullanılacak en az 2 adet hassasiyet sınıfı yüksek termometre bulunmalıdır.

Ana Besleme Kazanı: Sistem kapalı devre üzerine çalışıyorsa gerekli hacime sahip kazan bulunmalıdır. Sistemde suyun sıcaklığını kontrol edecek bir fonksiyon bulunmalıdır.

Pompalar: Sistemde su akışını gerekli basınçla sağlayacak pompa kullanılmalıdır.

4.2. Test Masası Özellikleri

Test masası aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Sistem komple paslanmaz malzemeden yapılmış olmalı,
- Sistemde kullanılan borular ve malzemeler ısı kaybını önleyecek şekilde kaplanmalı,
- Sistem bilgisayar tarafından kontrol edilmeli,
- Bilgisayar yazılımı yönetmelik ile uyumlu olmalı,
- Tüm güvenlik önlemleri alınmalı,
- Sayaçlara su girişinden önce ana hat üzerinde borulardaki havayı dışarı atmak için bir sistem bulunmalı,
- Sayaçlara suyun düzgün verilmesi için pompa sistemi ile sayaçlar arasında en az 30 lt kapasiteli denge tankı olmalı,
- Sistemde test debilerinin standartların belirttiği debilerde kalması için buna uygun debi ayarlama sistemleri yapılmalı,
- Sistemde test başlamadan önce sayaçlardaki havayı dışarı atacak bir sistem olmalıdır.

SONUÇ

Isı sayaçları muayene yönetmeliğinin yürürlüğe girmesi ile sektör kontrol altına alınmış, ısı sayaçlarının yüksek doğrulukla ölçüm yapmasının sağlanması amaçlanmıştır. Isı sayaçlarının periyodik muayenelerini yaptırmakla yükümlü olanların süresi içinde servislere başvurarak muayeneleri yaptırmaları gerekmektedir. Periyodik muayene için belirlenen süre 5 yıldır. Bu muayenelerin Sanayi ve Teknoloji Bakanlığınca yetkilendirilen servisler dışındaki işyerleri tarafından yapılması yasaktır. Yetkili muayene servisleri ısı sayaçlarının muayenelerini yaparken yönetmelikte belirtilen idari hususlara uymalı, ısı sayaçlarının muayenelerini yönetmelikte belirtilen teknik şartlara göre yapmalıdır. Servislere ödenecek muayene ve damgalama ücreti sayaç kullanıcısına aittir. Bu ücret Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından her yıl yeniden belirlenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] T.C. Resmi Gazete. (2018). Isı Sayaçları Muayene Yönetmeliği. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. 6 Temmuz 2018 gün, 30470 sayı.
[2] T.C. Resmi Gazete. (2016). Ölçü Aletleri Yönetmeliği (2014/32/AB). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. 29 Haziran 2016 gün, 29757 sayı.
[3] Uluslararası Yasal Metroloji Organizasyonu. (2002). OIML R 75 Isı Sayaçları. https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r075-1-e02.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

Erkut KIRMIZIOĞLU

1980 yılı Ankara doğumludur. Lisans öğrenimini Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde, Yüksek lisans öğrenimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2010 yılından itibaren Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğü'nde uzman olarak görev yapmaktadır. 2015 ile 2017 yılları arasında 2 yıl süre ile merkezi Viyana'da bulunan Enerji Topluluğu (Energy Community)'nda görev almıştır. Çok iyi derecede İngilizce ve temel seviyede Almanca bilmektedir.

GIDA KONTROL LABORATUVARLARINDA ISO/IEC 17025:2017 AKREDİTASYONU VE GIDA GÜVENLİĞİNE ETKİSİ

Özlem İSTANBULLU PAKSOY

ÖZET

Laboratuvarlarda kalitenin artırılması ve sürekliliğinin sağlanması için yapılan faaliyetler Kalite Yönetim Sistemleri kapsamında yürütülmekte ve bu bağlamda yapılan akreditasyon çalışmaları önem kazanmaktadır. Deney ve kalibrasyon laboratuvarları için TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler standardı kullanılmaktadır.

Laboratuvarların yeterliliği için tanımlanan şartlar standardın önceki versiyonlarında Madde 4. Yönetim Şartları ve Madde 5. Teknik Şartlar ile belirtilmiş iken 2017 revizyonu ile birlikte Madde 4. Genel Gereklilikler, Madde 5. Yapısal Gereklilikler, Madde 6. Kaynak Gereklilikleri, Madde 7. Proses Gereklilikleri ve Madde 8. Yönetim Sistemi Gereklilikleri olmak üzere düzenlenmiştir. Bununla birlikte risk temelli düşünce uygulması getirilmekte ve laboratuvarların riskleri ve fırsatları ele alıp değerlendirmesi için sistem oluşturması beklenmektedir. Ayrıca ölçüm belirsizliği kullanılırken karar kuralının nasıl kullanılacağının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler standardına göre akreditasyon uygulamasının laboratuvar analiz sonuç ve gıda güvenliğine etkisi açısından önemi incelenip değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalite, Akreditasyon, ISO/IEC 17025:2017, Gıda Güvenliği.

ABSTRACT

In laboratories, actions to improve the quality and ensure consistency in quality are in the concept of Quality Management Systems and in this context accreditation studies become more of an issue. ISO/IEC 17025:2017 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories standard is used in testin and calibration laboratories. While in the former versions of the standard the requirements determined for the competence of the laboratories were in the Article 4. Management Requirements and Article 5. Technical Requirements within the 2017 revision these requirements were determined as the Article 4. General Requirements, 5. Structural Requirements, 6. Resource Requirements, 7. Process Requirements and 8. Management System Requirements. Together with this, risk based thinking is required and it is expected that the laboratory establish a system to determine the risks and the actions to control them. Moreover it is expectected to determine how to use the decision rule while using measurement uncertainity.

In this study, importance of the accreditation applications on the reliability of the laboratory analysis results and food safety according to ISO/IEC 17025:2017 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories standard in food control laboratories were investigated and evaluated.

Key Words: Quality, Accreditation, ISO/IEC 17025:2017, Food Safety.

1. GİRİŞ

Laboratuvarlarda kalitenin artırılması ve sürekliliğinin sağlanması için yapılan faaliyetler Kalite Yönetim Sistemleri kapsamında yürütülmekte ve bu bağlamda yapılan akreditasyon çalışmaları önem kazanmaktadır. Deney ve kalibrasyon laboratuvarları için TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler standardı kullanılmaktadır. 2017 revizyonu ile birlikte Madde 4. Genel Gereklilikler, Madde 5. Yapısal Gereklilikler, Madde 6. Kaynak Gereklilikleri, Madde 7. Proses Gereklilikleri ve Madde 8. Yönetim Sistemi Gereklilikleri olmak üzere düzenlenmiştir. Bununla birlikte risk temelli düşünce uygulması getirilmekte ve laboratuvarların riskleri ve fırsatları ele alıp değerlendirmesi için sistem oluşturması beklenmektedir. Ayrıca ölçüm belirsizliği kullanılırken karar kuralının nasıl kullanılacağının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu standarda göre akreditasyon koşullarının uygunluğunu ve kontrolünü ülkemizde Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) yapmaktadır.

Gıda güvenliğinin sağlanmasında Gıda Kontrol Laboratuvarlarının önemi giderek artmakta ve akredite laboratuvar kavramı yaygınlaşmaktadır. Bu sebeple yapılan analizlerin güvenilirliğinin bir ölçüsü olan TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler standardına uygun olarak çalışılması oldukça önemli bir husus olmaktadır.

2. ISO/IEC 17025:2017 DENEY VE KALİBRASYON LABORATUVARLARININ YETKİNLİĞİ İÇİN GENEL GEREKLİLİKLER STANDARDI

Bu standart, deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının kullandığı uluslararası bir standarttır. Yapılan deneyin ülkeler arasında geçerli olabilmesi için her ülkede geçerli olan, aynı standart, aynı deney metodu ve aynı belgenin kullanılması gerekmektedir [1]. ISO/IEC 17025 Standardı laboratuvarların teknik açıdan yeterliliğini, doğru ve güvenilir sonuçlar üretme kabiliyetini göstermektedir. Standardın 2017 revizyonunda birçok maddede yenilik ve düzenlemeler yapılmıştır [2, 3]. Madde başlıkları ve standardın 2005 revizyonunda yer alan karşılıkları Tablo 1.de verilmiştir.

Tablo 1. ISO/IEC 17025:2005 ve 2017 revizyon maddelerinin karşılaştırması

ISO/IEC 17025:2005	ISO/IEC 17025:2017
0. Giriş	0. Giriş
1. Kapsam	1. Kapsam
2. Atıf Yapılan Standartlar	2. Bağlayıcı Atıflar
3. Terimler ve Tarifler	3. Terimler ve Tanımlar
4. Yönetim Şartları	4. Genel Gereklilikler
4.1 Kuruluş	4.1. Tarafsızlık
4.2 Yönetim sistemi	4.2. Gizlilik
4.3 Doküman kontrolü	5. Yapılsal Gereklilikler
4.4 Taleplerin, tekliflerin ve sözleşmelerin gözden geçirilmesi	6. Kaynak Gereklilikleri 6.1. Genel 6.2. Personel
4.5 Deneylerin ve kalibrasyonların taşerona verilmesi	6.3. Tesisler ve çevresel koşullar 6.4. Donanım
4.6 Hizmet ve malzemelerin satın alınması	6.5. Metrolojik izlenebilirlik 6.6. Dışarıdan tedarik edilen ürün ve hizmetler 7. Proses Gereklilikleri
4.7 Müşteriye hizmet	7.1. Taleplerin, tekliflerin ve sözleşmelerin gözden geçirilmesi
4.8 Şikayetler	7.2. Yöntemlerin seçilmesi, doğrulanması ve geçerli kılınması
4.9 Uygun olmayan deney ve/veya kalibrasyon	7.2.1 Yöntemlerin seçilmesi ve doğrulanması 7.2.2 Yöntemlerin geçerli kılınması 7.3 Numune alma

işleminin kontrolü 4.10 İyileştirme 4.11 Düzeltici faaliyet 4.12 Önleyici faaliyet 4.13 Kayıtların kontrolü 4.14 İç tetkikler 4.15 Yönetimin gözden geçirmesi	7.4 Deney veya kalibrasyon ögelerinin elleçlenmesi 7.5 Teknik kayıtlar 7.6 Ölçüm belirsizliğinin değerlendirilmesi 7.7 Sonuçların geçerliliğinin güvence altına alınması 7.8 Sonuçların raporlaması 7.8.1 Genel 7.8.2 Raporlar için ortak gereklilikler (deney, kalibrasyon veya numune alma) 7.8.3 Deney raporları için özel gereklilikler 7.8.4 Kalibrasyon sertifikaları için özel gereklilikler 7.8.5 Numune almanın raporlanması – özel gereklilikler 7.8.6 Uygunluk beyanlarının raporlanması 7.8.7 Görüş ve yorumların raporlanması 7.8.8 Raporlardaki tadiller 7.9 Şikâyetler 7.10 Uygun olmayan iş 7.11 Verilerin kontrolü ve bilgi yönetimi 8. Yönetim Sistemi Gereklilikleri 8.1 Seçenekler 8.1.1 Genel 8.1.2 Seçenek A 8.1.3 Seçenek B 8.2 Yönetim sistemi dokümantasyonu (Seçenek A) 8.3 Yönetim sistemi dokümanlarının kontrolü (Seçenek A) 8.4 Kayıtların kontrolü (Seçenek A) 8.5 Risk ve fırsatların ele alınmasına yönelik faaliyetler (Seçenek A) 8.6 İyileştirme (Seçenek A) 8.7 Düzeltici faaliyetler (Seçenek A) 8.8 İç tetkikler (Seçenek A) 8.9 Yönetimin gözden geçirmeleri (Seçenek A)
5. Teknik Şartlar 5.1 Genel 5.2 Personel 5.3 Yerleşim ve çevre şartları 5.4 Deney ve kalibrasyon metotları ve metodun geçerli kılınması 5.5 Cihazlar 5.6 Ölçümlerin izlenebilirliği 5.7 Numune alma 5.8 Deney numunelerine ve kalibrasyona gelen cihazlara uygulanan işlemler 5.9 Deney ve kalibrasyon sonuçlarının kalitesinin güvencesi 5.10 Sonuçların rapor haline getirilmesi	6. Kaynak Gereklilikleri 7. Proses Gereklilikleri

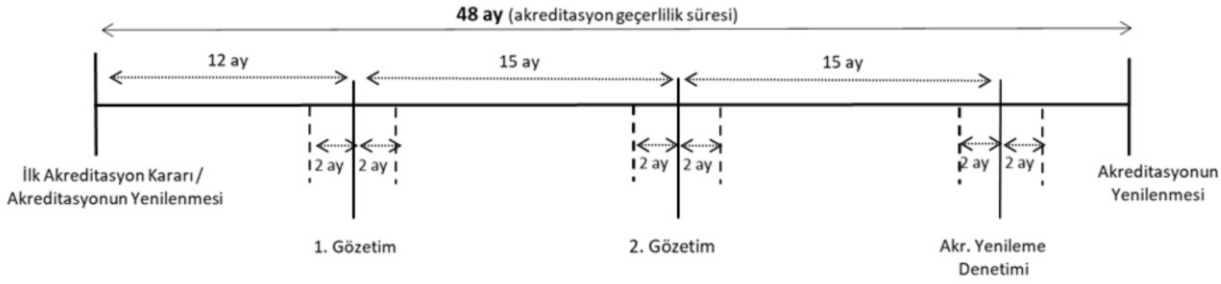
3. GIDA KONTROL LABORATUVARLARI VE GIDA GÜVENLİĞİ

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (T.O.B)'na bağlı olarak faaliyet gösteren 41 adet bakanlık Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü ve T.O.B'dan faaliyet izni alan 87 adet Özel Gıda Kontrol Laboratuvarı (ÖGKL) ile 9 Yetkili (Kamu Kurum ve Kuruluşlarına ait) Özel Gıda Kontrol Laboratuvarı olmak üzere toplam 96 adet ÖGKL bulunmaktadır. Gıda Kontrol Laboratuvarları 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanununa dayanarak hazırlanan 29 Aralık 2011 tarih ve 28157 sayılı 3. Mükerrer Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Gıda Kontrol Laboratuvarlarının Kuruluş, Görev, Yetki ve Sorumlulukları ile Çalışma Usul ve Esaslarının Belirlenmesine Dair Yönetmelik hükümlerine göre yetkilendirilmektedir [4, 5].

3. AKREDİTASYON

Akreditasyon, gıda kontrol laboratuvarlarının (uygunluk değerlendirme kuruluşlarının) gerçekleştirilen çalışmaların ve bu çalışmalar sonucunda düzenledikleri uygunluk teyit belgelerinin (deney raporları) güvenilirliğini ve geçerliliğini desteklemek için yapılan çalışmalardır. Uluslararası Laboratuvar Akreditasyonu Birliği (ILAC) ve Uluslararası Akreditasyon Forumu (IAF) gibi uluslararası bağımsız yapılarca ve bu yapılara bağlı Avrupa Akreditasyon Birliği (EA), Asya-Pasifik Laboratuvar İşbirliği Örgütü (APLAC) gibi bölgesel bağımsız kuruluşlar tarafından akreditasyon hizmetlerinin güvenirliğini sağlayan kuruluşlar bulunmaktadır [6]. Ülkemizde TÜRKAK tarafından laboratuvar akreditasyon çalışmaları onaylanmakta ve denetimler ile kontrol edilmektedir.

TÜRKAK, ulusal ve uluslararası standartların esaslarına göre, gıda kontrol laboratuvarlarının akreditasyon başvurularının TÜRKAK tarafından nasıl ele alınacağını, değerlendirileceğini, denetleneceğini ve ne şekilde sonuçlandırılacağını açıklamaktır. Ayrıca öndenetim, ilk akreditasyon ve akredite olduktan sonra gözetim ve akreditasyon yenileme süreçleri hakkında bilgilendirmek ve akredite kuruluşların yükümlülüklerini açıklamaktır. Ayrıca, akredite edilmiş uygunluk değerlendirme kuruluşunun kendi talebi üzerine veya şartların gerekli kılması halinde, verilmiş akreditasyonun askıya alınması, daraltılması, geri çekilmesi ve kapsamında değişiklik yapılmasına dair usulleri ve işlemleri açıklamaktır [7]. Şekil 1.de akreditasyon denetim süreleri ile ilgili çevrim verilmiştir.



Şekil 1. Akreditasyon çevrimi içerisindeki denetim periyotları [5].

SONUÇ

Gıda kontrol laboratuvarlarında analiz sonucu güvenilirliğinin sağlanması, kalitenin artırılması ve sürekliliğinin sağlanması gıda güvenliği açısından önem arzetmektedir. Bunun için yapılan faaliyetler Kalite Yönetim Sistemleri kapsamında yürütülmekte ve bu bağlamda yapılan akreditasyon çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu sebeple gıda kontrol laboratuvarlarının ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler standardının gerekliliklerini yerine getirmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] ÖZGÜL, Ş., “Deney Veya Kalibrasyon Laboratuvarlarının TS EN ISO/IEC 17025:2005 Standardına Göre Denetimi Ve Akreditasyonu”, VII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 2008.
[2] TS EN ISO/IEC 17025:2017 “Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler Standardı”, 2017.
[3] TÜRKAK Kılavuzu, “ISO/IEC 17025 Standart Revizyonu Bilgilendirme Temel Değişiklikler Kılavuzu”, TÜRKAK, 2018.
[4] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, “Yetkili Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlükleri”, www.tarimorman.gov.tr, 2019.
[5] Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, “Gıda Kontrol Laboratuvarlarının Kuruluş, Görev, Yetki ve Sorumlulukları ile Çalışma Usul ve Esaslarının Belirlenmesine Dair Yönetmelik” Resmi Gazete, 28157 3. Mükerrer, 29 Aralık 2011.
[6] YEŞİLÖREN, G., KARATAŞ, S., “Gıda Analiz Laboratuvarları için Akreditasyon Süreci ve Gerekliliği”, Dünya Gıda Dergisi, 2015.
[7] TÜRKAK Prosedürü, “P701 Uygunluk Değerlendirme Kuruluşlarının Akreditasyonu Prosedürü”, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Özlem İSTANBULLU PAKSOY

1982 yılı Artvin doğumludur. 2004 yılında Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2007 yılında Yüksek Mühendis ve Washington State Üniversitesinden 2012 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2004-2012 Yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2013-2014 yıllarında Yardımcı Doçent Dr. olarak görev yapmıştır. 2014 yılından beri T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Kocaeli Gıda kontrol Laboratuvar Müdürlüğü’nde Kalite Yönetim Birim Sorumlusu olarak görev yapmaktadır. Kalite yönetim sistemleri, gıda kontrol laboratuvarları ve akreditasyon konularında çalışmaktadır.

TÜRKAK AKREDİTASYON DENETİMLERİNDE TESPİT EDİLEN İZLENEBİLİRLİK SORUNLARI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Tuğçe AKKAYA

ÖZET

Bu çalışmada, gıda ve kimya alanları da dahil olmak üzere farklı disiplinlerde gerçekleştirilen ölçümlerin yüksek duyarlılık ve doğruluğa sahip olması, ortaya çıkan ürünün kaliteli, hassas, dayanıklı ve güvenilir olması amacıyla belirlenmiş ilkeler ele alınmaktadır.

Ayrıca, metrolojik izlenebilirlik, RM/SRM kullanımı hususlarında TÜRKAK akreditasyon denetimleri, anket vb. çalışmalar ile tespit edilen sorunlar incelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *TS EN ISO/ IEC 17025,* i*zlenebilirlik, kalibrasyon, sertifikalı referans malzeme*

ABSTRACT

In this study, the principles determined in order to ensure the high sensitivity and accuracy of the measurements performed in different disciplines including food and chemistry fields and to ensure the quality, precision, durability and reliability of the resulting product are discussed.

In addition, the problems identified by the studies about metrological traceability, RM / CRM usage were examined by TURKAK accreditation assessments, surveys, etc. and solutions were presented.

Keywords: *TS EN ISO / IEC 17025, traceability, calibration, certified reference material*

1. GİRİŞ

Referans malzeme (RM), bir veya daha fazla özelliğin ölçümü için amaca uygun olarak üretilmiş yeterince homojen ve kararlı olan malzemedir.

Sertifikalı referans malzeme (SRM) ise, belirtilen özellik değerini, bununla ilişkili belirsizliği, ve bir metrolojik izlenebilirliği sağlayan referans malzeme sertifikasının eşlik ettiği bir veya birden fazla belirtilen özellik için metrolojik olarak geçerli bir prosedürle karakterize edilen referans malzemedir[1].

Yapılan tanımlardan anlaşılacağı gibi, bir sertifikalı referans malzemeyi, referans malzemeden ayıran önemli hususlardan biri malzemenin metrolojik izlenebilirliği ve belirsizlik değeridir.

Ana uygulama alanları değerlendirildiğinde, SRM' ler izlenebilir olan malzemeler olduğu için kalibrasyon ve metot geçerli kılma işlemlerinde kullanılabilirken; RM' ler laboratuvar kalite kontrol ve metot geliştirme işlemlerinde kullanılabilmektedir[2].

Gıda ve kimya alanları da dahil olmak üzere ülkemizde farklı disiplinlerde faaliyet gösteren tüm laboratuvarların ölçüm sonuçlarının kalitesi ve izlenebilirliğinin sağlanmasında referans malzemelerin rolü kaçınılmazdır. Akreditasyon faaliyetleri, diğer alanlarda olduğu gibi gıda ve kimya alanlarındaki ölçüm sonuçlarının kalitesine de önemli oranda katkı sağlamaktadır. TS EN ISO/ IEC 17025

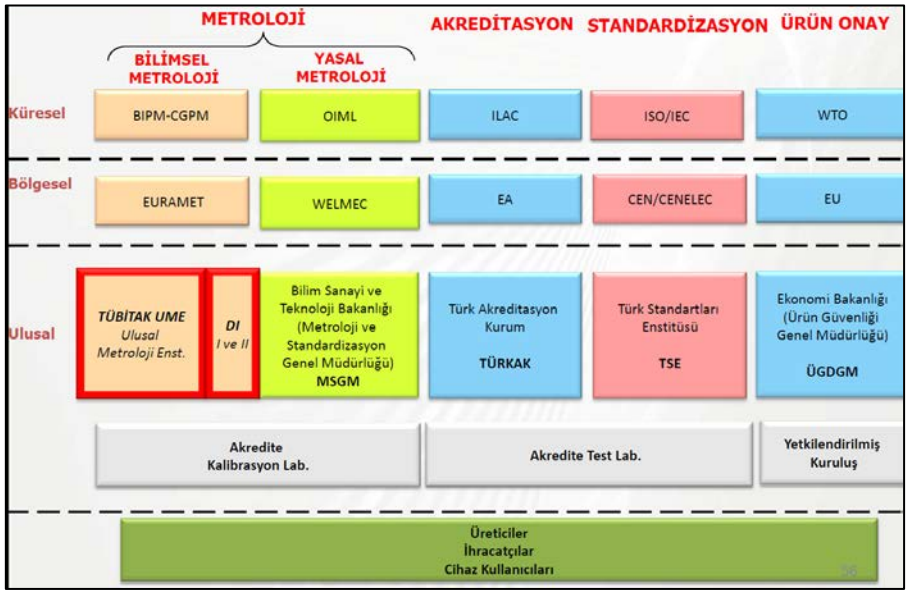
standardına göre, metrolojik izlenebilirliğin sağlanması yaygın olarak kalibrasyon hizmetleri ve sertifikalı/ referans malzemelerin kullanımı yolu ile sağlanmaktadır.

Referans malzeme ve sertifikalı referans malzemeler genellikle aşağıda verilen amaçlar için kullanılabilir:

- Ekipman ya da ölçüm prosedürünün kalibrasyonu,
- Metrolojik izlenebilirliğin kurulması,
- Diğer malzemelere değer atanması,
- Bir ölçüm ya da ölçüm prosedürünün kalite kontrolü,
- Metot geliştirmesi,
- Analitik metodun performansının ölçülmesi (İç kalite kontrol),
- Yeterlilik test çalışmaları,
- Metodun geçerli kılınması (Gerçeklik hesaplaması, belirsizlik hesaplaması),
- Laboratuvarın, analistin ve cihazın performansının ölçülmesi[3].

Metrolojik izlenebilirlik, bir ölçüm sonucunun, her biri ölçüm belirsizliğine katkıda bulunan kalibrasyonlardan oluşan belgelendirilmiş kesintisiz bir zincir aracılığı ile belirli bir referansa ilişkilendirilebilme özelliğidir [4].

Metrolojik izlenebilirlik kavramına dair hiyerarşk yapının en üstünde ve Ölçüler Bürosu (BIPM), Uluslararası Ağırlıklar Ve Ölçüler Komitesi (CIPM) ve Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı (CGPM) yer almaktadır. Bölgesel metroloji kuruluşlarının bir alt statüsünde ise Ulusal Metroloji Enstitüleri yer almaktadır. Bu enstitülerin görevi primer standartları oluşturmaktır. Ulusal Enstitülerinden sonra akredite laboratuvarlar tarafından yapılan ölçümlerle metrolojik izlenebilirlik zinciri takip edilmektedir. Akredite laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilen kalibrasyon ve ölçümler metrolojik izlenebilirlik piramidinin en alt basamağını oluşturmaktadır. Metrolojik izlenebilirlik hiyerarşisi Şekil 1' de verilmektedir.



Şekil 1. Metrolojik izlenebilirlik hiyerarşisi[5]

Laboratuvar faaliyetlerinde metrolojik izlenebilirlik zincirinin oluşturulmasına yönelik esaslar Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği' nin (ILAC) P10 dokümanı ve TÜRKAK R10.12 Metrolojik İzlenebilirlik Rehberinde açıklanmaktadır. İki rehberdeki ortak ilkelere göre metrolojik izlenebilirliğin oluşturulması için izlenebilecek rotalar aşağıdaki gibidir:

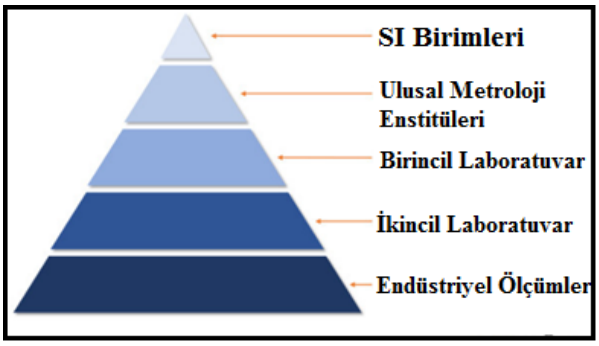
Rota-1: Talep edilen hizmetle ilgili olarak CIPM MRA düzenlemesine taraf olan ve BIPM KCDB veritabanında yayınlanmış kalibrasyon ve ölçüm yeteneği (CMC) bulunan bir ulusal metroloji enstitüsü.

Rota-2: Kalibrasyon alanında ILAC anlaşması veya ILAC tarafından tanınan bölgesel anlaşmalar kapsamında bulunan bir akreditasyon kuruluşunca TS EN ISO/IEC 17025 standardına göre akredite edilmiş ve akreditasyon kapsamında talep edilen hizmet bulunan laboratuvar.

Rota-3:
a) İhtiyaca uygun olarak hizmet veren ancak CIPM MRA düzenlemesine taraf olmayan ulusal metroloji enstitüsü.
b) İhtiyaca uygun olarak hizmet veren ancak ILAC anlaşması veya ILAC tarafından tanınan bölgesel anlaşmalar kapsamında yer almayan bir akreditasyon kuruluşunca TS EN ISO/IEC 17025 standardına göre akredite edilmiş bir kalibrasyon laboratuvarı.

Kalibrasyon hizmeti alan kuruluş, TS EN ISO/IEC 17025 standardının metrolojik izlenebilirlikle ilgili şartlarını sağlamak amacıyla, akreditasyon kapsamındaki deney, kalibrasyon, numune alma sonuçlarına önemli katkısı olan teçhizatın metrolojik izlenebilirliğini Rota-1 veya Rota-2' den sağlamalıdır. Rota-3'ten metrolojik izlenebilirliğini sağlaması durumunda gerekçelerini TÜRKAK'a sunmalıdır. Sadece ekonomik veya lojistik gerekçelere dayanarak Rota-3'ten metrolojik izlenebilirlik sağlanması yoluna gidilemez. Kalibrasyon laboratuvarlarının Rota-3'ü kullanarak akredite olmaları mümkün değildir[6].

ISO/IEC 17025:2017 standardına göre, laboratuvarlar ölçüm sonuçlarının metrolojik izlenebilirliğini her biri ölçüm belirsizliğine katkıda bulunan kalibrasyon zinciri ile sağlamalıdır. Bu zincir Şekil 2' de verilen metrolojik izlenebilirlik piramidi ile ifade edilmektedir. Şekilde belirtildiği gibi laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilen ölçümlerin SI birim sistemine izlenebilir olması esastır.



Şekil 2. Ölçümlerin İzlenebilirliği Piramidi[7]

Bazı durumlarda SI birimlerine göre metrolojik izlenebilirlik mümkün olmayabilir. Bu durumlarda laboratuvarlar yine standartta ifade edildiği gibi yetkin bir üreticiden temin edilmiş sertifikalı referans malzemelerin sertifika değerine, referans ölçüm prosedürlerine veya üzerinde çalışılan standartların sonuçlarına refere ederek ISO/IEC 17025:2017 Standardının Metrolojik İzlenebilirlik hususundaki gerekliliklerini yerine getirebilir. Bu tür malzemelerin SI birimlerine izlenebilirliği, laboratuvar referans malzemesi ve SI birimleri arasındaki kesintisiz bir karşılaştırmalar zinciri ile sağlanabilir.

Sertifikalı referans malzemeler yolu ile metrolojik izlenebilirliğin sağlanmasına ilişkin TÜRKAK politikası aşağıdaki gibidir:

a) CIPM MRA düzenlemesine taraf olan ve BIPM'nin KCDB "Anahtar Karşılaştırma Veri Tabanı'nda" yayınlanmış hizmeti bulunan ulusal metroloji enstitülerinin bu kapsamda üreterek değer atadıkları sertifikalı malzemelerin veya ISO 17034 standardı esas alınarak akredite edilmiş referans malzeme üreticilerinin akredite kapsamları dahilinde ürettikleri sertifikalı referans malzemelerin geçerli bir metrolojik izlenebilirlik sağladığı kabul edilir. (bakınız: ILAC Genel Kurul Kararı ILAC 8.12).
b) JCTLM veri tabanına girilmiş olan sertifikalı referans malzemelerin, sertifikalandırılan değerlerinin geçerli bir metrolojik izlenebilirlik sağladığı kabul edilir.
c) Diğer referans malzeme üreticilerinin sağladığı referans malzemeler kritik sarf malzemesi olarak nitelendirilebilir. Laboratuvar, kullanmakta olduğu her bir referans malzemenin, TS EN ISO/IEC 17025 ve ISO 15189 standartlarına göre kullanım amacına uygun olduğunu göstermelidir[6].

2. RM/SRM KULLANIMI VE İZLENEBİLİRLİK ALANLARINDA YAŞANAN SORUNLAR VE SORUNLARA YÖNELİK ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

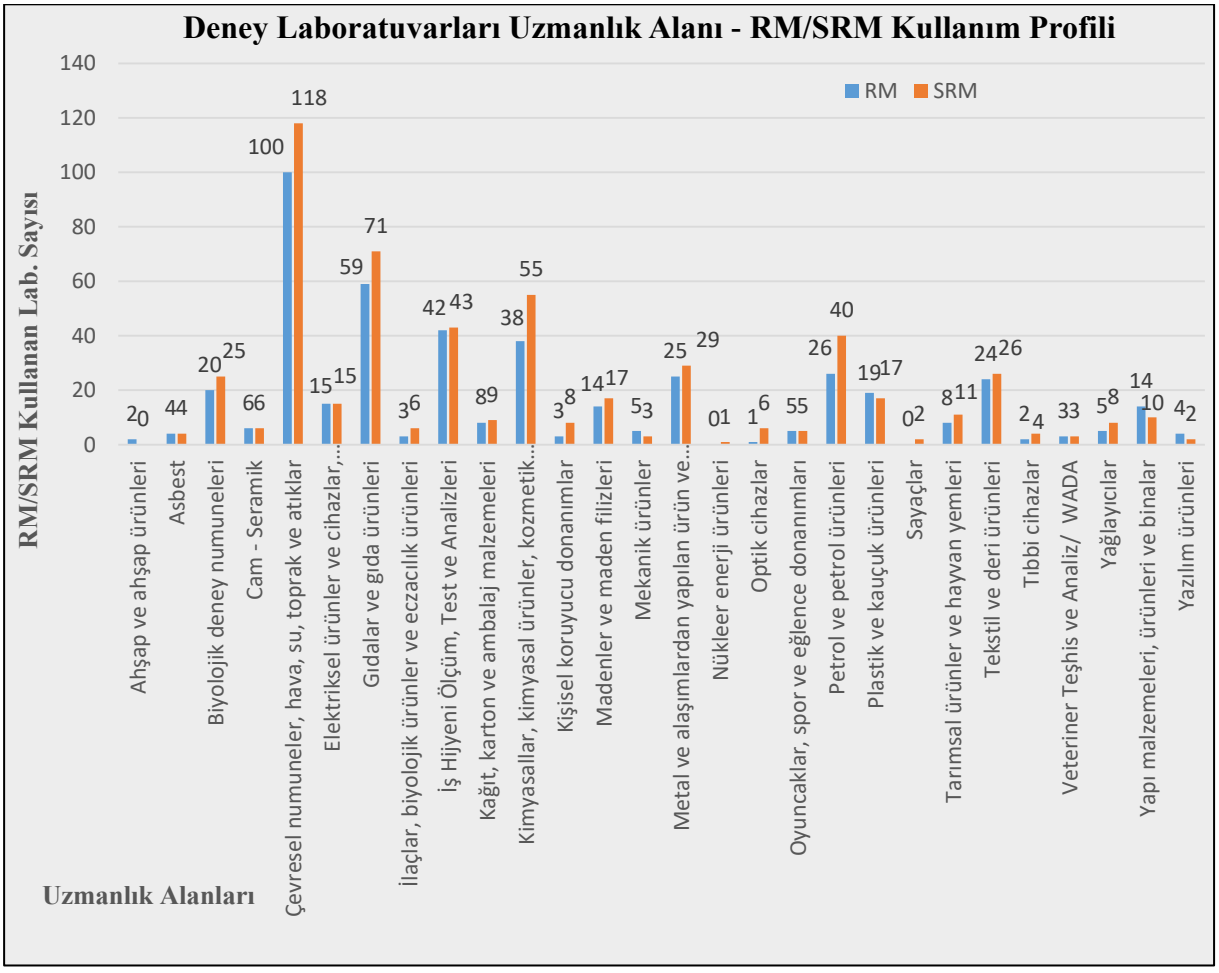
TÜRKAK, yürütülen uygunluk değerlendirme faaliyetlerinde kullanılan sertifikalı/referans malzemelerin sınıflandırılması, kullanım alanlarının tespit edilmesi, tedarikçi bilgilerine yönelik analizin gerçekleştirilmesi ve ülkemizde üretilen referans malzemeler hakkındaki farkındalık seviyesinin ölçülmesi amacı ile akredite olan tüm laboratuvarlara 24.05.2019 tarihinde bir anket çalışması iletmiştir.

Anket çalışmasına 444 adet akredite laboratuvar katılım sağlamıştır. Çalışmanın değerlendirmesi ise aşağıdaki gibidir[8]:

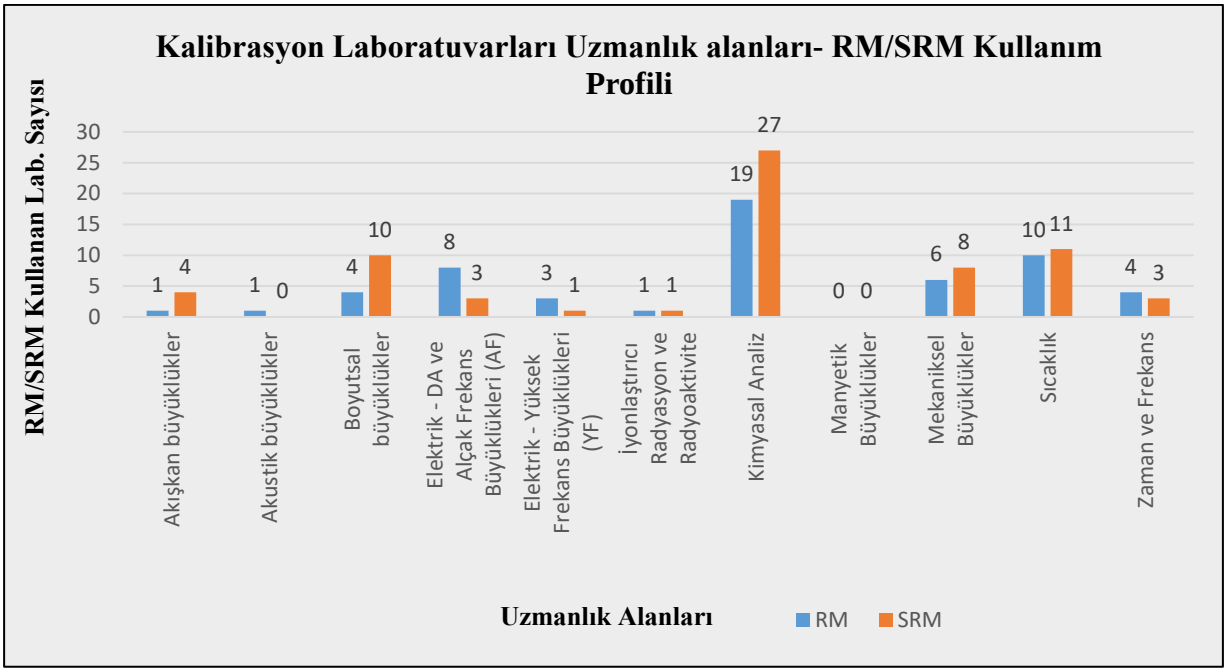
Katılım sağlayan laboratuvarların;

- %27,9 u kamu tüzel kişiliğe, %72,1' i ise özel hukuk tüzel kişiliğine sahiptir.
- %90,2 deney laboratuvarı,
- %8,2 kalibrasyon laboratuvarı,
- %3,2 tıbbi laboratuvar,
- %1,8 yeterlilik deneyi sağlayıcısı,
- %0,9 referans malzeme üreticisi olarak tanımlanmaktadır.

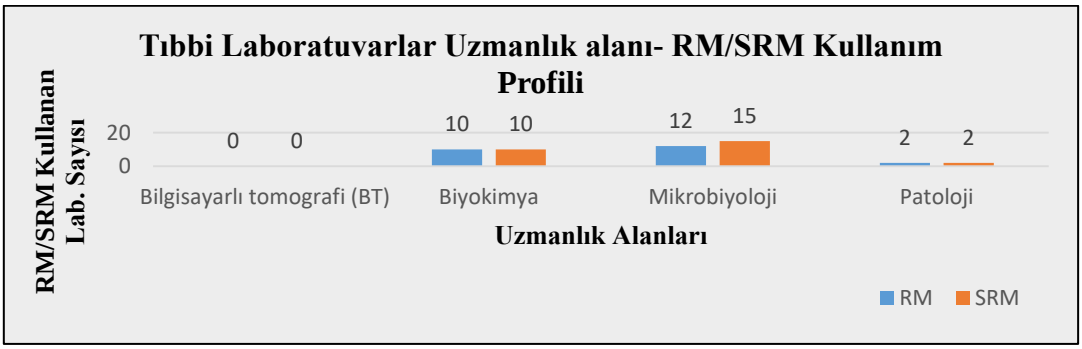
Uzmanlık alanlarına göre kullanılan RM/SRM bilgisine yönelik alınan yanıtlar akredite laboratuvar sayısı ve sektör gereklilikleri ile orantılı bir sonuç vermiştir. Deney Laboratuvarları için Şekil 4' de, kalibrasyon laboratuvarları için Şekil 5' de, tıbbi laboratuvarlar için ise Şekil 6' da verilmektedir.



Şekil 4. Uzmanlık alanlarına göre deney laboratuvarlarında RM/SRM kullanım profili[8]

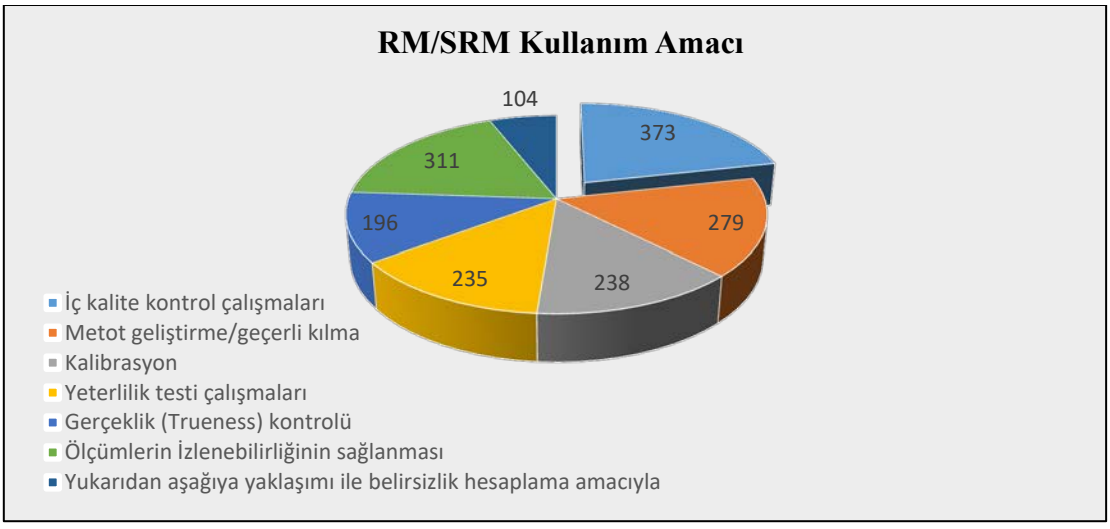


Şekil 5. Uzmanlık alanlarına göre kalibrasyon laboratuvarlarında RM/SRM kullanım profili[8]



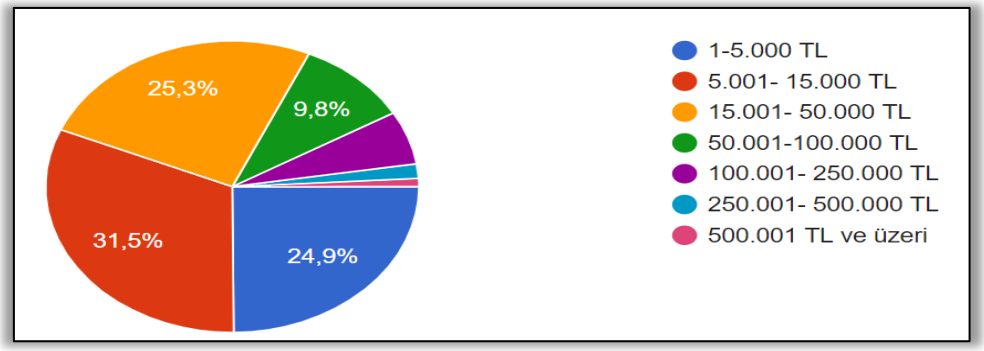
Şekil 6. Uzmanlık alanlarına göre tıbbi laboratuvarlarında RM/SRM kullanım profili[8]

Sertifikalı/Referans Malzemeler genellikle Şekil 7' de belirtilen amaçlar için kullanıldığı görülmüştür:



Şekil 7. RM/SRM kullanım amaçları[8]

Ülkemizde gerçekleştirilen ölçüm faaliyetleri için kullanılan RM/SRM için harcanan yıllık bütçeye dair sonuçlar Şekil 8' de verilmektedir.



Şekil 8 RM/SRM kullanımı için ayrılan yıllık bütçe[8]

Anket çalışmasına göre, RM/SRM tedarik sürecinde yaşanan sorunlara yönelik değerlendirme ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir:

- Euro ya da dolar kuruna bağlı olmasından kaynaklanan fiyat dalgalanmaları,
- Malzemenin gümrükten çekilememesi,
- Teslimat süresi,
- Matriks uyumlu çeşitlerin bulunamaması,
- SRM nin son kullanma tarihinin uzatılmasıyla ilgili bilgilendirme yapılmaması,
- Sertifikalar için ayrı ücret talep edilmesi

TÜRKAK TS EN ISO/IEC 17025 akreditasyon denetimlerinde laboratuvar faaliyetleri kapsamında RM/SRM kullanımı ve izlenebilirlik zincirinin oluşturulmasında yönelik karşılaşılan sorunlar aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

a) RM/SRM ayrımının yapılamaması ve kullanım amacına uygun malzemenin seçimi,
b) RM/SRM tedariğinin mümkün olmadığı alanların bulunması,
c) Ülkemizdeki referans malzeme üretimi faaliyetlerinin talebi karşılayabilecek çeşitlilik ve kapasitede olmaması,
d) RM/SRM tedariği aşamasında yaşanan sorunlar (Örneğin: maliyet, gümrük işlemleri vb.),
e) ILAC P10 ve TÜRKAK R10.12 rehberleri doğrultusunda izlenebilirliğe yönelik uygun rotaların oluşturulmaması,
f) Rota-3 doğrultusunda faaliyet gösteren (sınır ötesi akreditasyon) laboratuvarların uygun kayıtları sağlayamaması,

Yukarıda belirtilen sorunlara getirilen çözüm yaklaşımları ana hatlarıyla aşağıda belirtilmektedir:

a) RM/SRM kullanımı için farkındalığın artırılması amacıyla ülkemizde eğitim, çalıştay vb. yollarla laboratuvarların daha fazla bilinçlendirilmesi,
b) RM/SRM tedariğinin mümkün olmadığı alanların tespit edilmesi, gerekçelendirilmesi ve izlenebilirliğe yönelik alternatif ve objektif yöntemlerin desteklenmesi,
c) RM/RM alanında ülkemizin dışarıya bağımlılığını azaltmak için çalışmalar yürütülmesi, ülkemizde ihtiyaç duyulan RM/SRM lerin tespit edilmesi ve yerli üreticilerin teşvik edilmesi, üretimin artırılmasına yönelik gerekli bilgi ve teknik alt yapının güçlendirilmesi,
d) Laboratuvarların ülkemizdeki referans malzeme üreticilerinin ürettiği malzemelere erişiminin kolaylaştırılması. Bu amaçla TÜRKAK, ülkemizde üretilen sertifikalı/referans malzemelere erişimi kolaylaştırmak, laboratuvarlar ile referans malzeme üreticileri arasında bir köprü sağlamak amacı ile Sertifikalı Referans Malzeme Bilgi Sistemi (REMBİS) veri tabanını oluşturmuş ve 02.05.2019 tarihinde kamuoyunun kullanımına açmıştır.
Mevcut durumda REMBİS veri tabanına toplam 129 adet RM/SRM girişi yapılmıştır.

e) TÜRKAK akreditasyon denetimleri başta olmak üzere yetkili otoriteler aracılığı ile laboratuvar faaliyetlerinde metrolojik izlenebilirlik rotalarının gereklerinin yerine getirilmesinin sağlanması,
f) Sınır ötesi laboratuvar faaliyetlerinde Rota-3 ün izlendiği durumlarda kalibrasyon faaliyetlerinin TS EN ISO/IEC 17025 standardına uygun olarak yerine getirildiğinin objektif kayıtlarla desteklenmesi hususunda hassasiyetin artırılması.

SONUÇ

TÜRKAK, değinilen sorunlar başta olmak üzere izlenebilirlik çatısı altındaki alanların iyileştirilmesi amacı ile birçok eğitim, doküman ve farkındalık çalışması gerçekleştirmektedir.

ISO 17034 referans malzeme üreticilerinin akreditasyonu alanında 15.05.2019 tarihi itibarı ile Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ile karşılıklı tanıma anlaşması (MLA) imzalanmıştır. Bu sayede TÜRKAK' dan akredite olan referans malzeme üreticileri tarafından akreditasyon kapsamında üretilen RM/SRM ler EA/ILAC ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamış olan tüm ülkelerde de tanınır konumdadır. Bu durum, ülkemizin dışarıya bağımlılığını azaltmak başta olmak üzere ihracattaki teknik engellerin kaldırılması noktasında da büyük bir adım olarak değerlendirilmelidir.

Laboratuvarların ülkemizde üretilen referans malzemelere erişimini kolaylaştırmak amacı ile referans malzeme üreticisi ve kullanıcısı arasında bir köprü görevi üstlenecek "Referans Malzeme Bilgi Sistemi (REMBİS)" alt yapısının oluşturulması, ülkemizde RM/SRM kullanım profilini ortaya koymak ve ihtiyaç tespiti çalışması yürütmek bunlara örnek olarak gösterilebilir.

KAYNAKLAR

[1] ISO Guide 30, *Referans Malzemeler- Terimler ve tanımlar*
[2] İŞLEYEN, A. *"TÜRK AKREDİTASYON KURUMU" sunumu. ISO 17034 Referans Malzeme Üreticilerinin Yetkinliği İçin Teknik Gereklilikler,* Ankara, 2018.
[3] ISO Guide 33, *Referans malzeme kullanımında iyi uygulamalar*
[4] VIM, Uluslararası metroloji sözlüğü — Temel ve genel kavramlar, ilgili terimler, madde 2.41, 2008
[5] BİLGİÇ, Eyüp. *Ulusal ve Uluslararası Metroloji Sitemi*, 6. Kontrol ve Metroloji, Test Ekipmanları ve Endüstriyel Yazılım Fuarı Sunumu, 16 Kasım 2013
[6] TÜRKAK "R10-12 Metrolojik İzlenebilirlik Rehberi, Rev.04
[7] HOGAN, R., Measurement Traceability: Complying with ISO 17025 Requirements, 2016, (çevrimiçi) http://www.isobudgets.com , Haziran 2019
[8] https://forms.gle/2sCURiuXYsCGAz5P8 Erişim tarihi: 22.06.2019

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe AKKAYA

1990 doğumludur. Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini ve Hacettepe Üniversitesi Farmasötik Teknoloji Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğündeki 1 yıl görevinin ardından 2015 yılından beri Türk Akreditasyon Kurumunda Akreditasyon Uzmanı olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda TÜRKAK denetimlerinde TS EN ISO/IEC 17025 ve TS EN ISO 15189 alanlarında Denetçi olarak görev almaktadır.

YETERLİLİK TESTLERİ BİLGİ SİSTEMİ (YETBİS)

Ece GÜLER
Tuna ÇINKILLI ALİCAN

ÖZET

Bu çalışmada, yeterlilik testi ve laboratuvarlar arası karşılaştırma (YT/LAK) programları katılımcılarının YT/LAK sağlayıcılarına daha kolaylıkla ulaşabilmelerini ve kendi amaçlarına uygun programlardan haberdar olabilmelerini sağlamak amacıyla Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından hizmete açılmış Yeterlilik Testleri Bilgi Sistemi (YETBİS) üzerinden duyuruları yapılan programların TÜRKAK uzmanlık alanlarına göre dağılımı incelenmiş ve ihtiyaç duyulan alanlar değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler çizelgeler aracılığıyla karşılaştırmaya izin verecek şekilde gösterilmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur. TÜRKAK tarafından belirlenmiş olan toplam 42 adet uzmanlık alanından yalnızca 21'i YETBİS üzerinde temsil edilmektedir ve sisteme kayıtlı bütün programların yaklaşık %66'lık bir kısmının yalnızca 3 deney alanında düzenlendiği görülmektedir. Bu bağlamda, hem farklı alanlarda düzenlenen YT/LAK sayılarının hem de YETBİS'in tanınırlığının ve kullanımının arttırılmasına ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: YETBİS, TÜRKAK, Yeterlilik Testleri, Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma, Akreditasyon.

ABSTRACT

In this study, the distributions of proficiency test and interlaboratory comparison (PT/ILC) programs announced over Yeterlilik Testleri Bilgi Sistemi (YETBİS) were examined in terms of expertise areas determined by Turkish Accreditation Agency (TURKAK) and areas of requirement were evaluated. YETBİS is an information system put into service by TURKAK in order to enable PT/ILC program participants to reach PT/ILC providers more easily and to be aware of the programs suitable for their own purposes. The analyses carried out within the scope of the study were shown graphically to allow comparison via charts. It is seen that only 21 of the 42 expertise areas identified by TURKAK are represented on YETBİS and that approximately 66% of all programs are organized in only 3 experimental areas. In this context, it is emphasized that there is a need to increase the recognition and use of YETBİS as well as the number of PT/ILC programs arranged in different areas.

Key Words: YETBİS, TURKAK, Proficiency Testing, Interlaboratory Comparisons, Accreditation.

1. GİRİŞ

Akreditasyon, uygunluk değerlendirme kuruluşlarının uygunluk teyit belgelerinin güvenilirliğini ve geçerliliğini desteklemek amacıyla oluşturulmuş bir kalite altyapısıdır. Ülkemizde akreditasyon faaliyetleri Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından gerçekleştirilmektedir. [1] TÜRKAK, Avrupa Akreditasyon Birliği (EA), Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ve Uluslararası Akreditasyon Forumu (IAF) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamış olan ve akreditasyon hizmeti veren Türkiye'deki tek kurumdur.

Uygunluk değerlendirme kuruluşlarının akreditasyonu, ilgili uygunluk değerlendirme faaliyetine ilişkin dünya genelinde kabul görmekte olan uluslararası standardlar ve rehber dokümanlar esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda uygunluk değerlendirme kuruluşlarından "deney ve kalibrasyon laboratuvarları"nın, akreditasyonu için kullanılan temel doküman laboratuvarların yeterliliği için genel gereklilikleri tanımlayan TS EN ISO/IEC 17025 standardıdır.

TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardı maddelerinden 7.7.2'ye göre yeterlik deneylerine veya laboratuvarlar arası karşılaştırmalara katılım, deney ve kalibrasyon sonuçları geçerliliğinin güvence altına alınması için belirtilen metotlardan biridir. Laboratuvarlar, sonuçlarının geçerliliğini izlemek için bunlarla sınırlı kalmamak üzere yeterlik deneylerine veya laboratuvarlar arası karşılaştırmalara (YT/LAK) iştirak ederek mümkün ve uygun olduğu durumlarda sonuçlarını diğer laboratuvarların sonuçlarıyla karşılaştırmalı ve kendi performansını izlemelidir [2]. Aynı şekilde, TS EN ISO 15189 standardında, tıbbi laboratuvarların analiz sonuçları kalitesinin güvence altına alınmasını sağlamak için uygun laboratuvarlar arası karşılaştırma programlarına katılmalarını istenmektedir. Bu kapsamda TÜRKAK, akredite olmak isteyen ya da akredite deney/kalibrasyon ve tıbbi laboratuvarların deney ve kalibrasyon sonuçlarının kalitesinin güvencesi için yeterlilik testlerine veya laboratuvarlar arası karşılaştırmalara katılımını şart koşmaktadır [3]. Laboratuvarların, düzenli olarak YT/LAK programlarına katılımı, bir tür analiz sonuçlarının bağımsız ve tarafsız bir şekilde değerlendirilmesi yöntemi olarak ilgili laboratuvarların teknik yeterliliğinin görülmesine ve izlenmesine imkân tanımaktadır.

Bu bağlamda, TS EN ISO/IEC 17025 Standardı ve TS EN ISO 15189 Standardı gerekliliklerinden biri olan yeterlilik testine katılım, akreditasyon hizmeti sunulan her alanda yeterlilik testi programlarının düzenlemesine olan ihtiyacı doğurmaktadır.

2. YETERLİLİK TESTLERİ BİLGİ SİSTEMİ (YETBİS) NEDİR?

TÜRKAK tarafından akredite olmak isteyen ve verilmiş olan akreditasyonu sürdürmek isteyen laboratuvarlar teknik yeterliliklerini göstermek ve bu yeterliliği izlemek için gerekli çalışmaları yapmaktan sorumludur. Teknik yeterliliği göstermenin bir yolu laboratuvarların mevcut ve uygun olan yeterlilik deneylerine katılımı ve başarılı sonuçlar elde etmesidir. [4] Bu çalışmalara ilişkin şartlar TÜRKAK P704 "*Yeterlilik Deneyleri ve Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma Programları Prosedürü"*nde tanımlanmaktadır. Akreditasyon sürecinde bu gereklilikler en temel biçimiyle, başvurulan akreditasyon kapsamıyla ilgili alt alanlar belirlenmesi ve her bir belirlenen alt alan için 48 ayda en az 1 defa yeterlilik deneylerine katılım sağlanması ve başarılı sonuçlar elde edilmesi şeklinde ifade edilebilir.

Bu kapsamda, kamu ve özel sektörde faaliyet gösteren kurum ve kuruluşlar tarafından, farklı uzmanlık alanlarında deney, kalibrasyon ve tıbbi laboratuvarlara yönelik ulusal ve uluslararası düzeyde çeşitli yeterlilik testi programları organize edilmektedir. Katılımcı laboratuvarlar, organize edilen bu yeterlilik testi programlarından amaca uygun olanı seçip bir taraftan akreditasyon gerekliliklerini karşılarken diğer taraftan da teknik gelişimlerini(teknik olarak kaydettikleri gelişmeyi) izleme olanağı bulmaktadır. Bu noktada YETBİS web sayfası, yeterlilik testi sağlayıcılarının gerçekleştirdikleri YT programlarına laboratuvarların hızlı bir şekilde ulaşabilmesi ve etkin katılımı amacıyla TÜRKAK tarafından hazırlanmıştır. 2017 yılında başlatılan sistem ile laboratuvarların ihtiyaçlarına uygun programı kolaylıkla bulması ve program hakkında detaylı bilgi edinmesine yardımcı olunması hedeflenmiştir.

YETBİS' in bir diğer önemli amacı ülkemizde yeterlilik testi sağlayıcıları ile katılımcı laboratuvarlar arasında bir köprü oluşturabilmek ve tek taraflı erişim engellerini ortadan kaldırarak bu alanda bir teşvik unsuru oluşturabilmektir. Böylelikle hem farklı uzmanlık alanlarında açılacak YT programlarında artış sağlanabilecek ve böylelikle ihtiyaçlar karşılanabilecek hem de bu sektörde yetişecek nitelikli iş gücü, ülkemizde yapılan test ölçümleri sayısının ve performansının artmasına katkı sağlayacaktır. Bir diğer önemli husus da, yeterlilik testleri konusunda ciddi açık bulunan ülkemizde bu programların düzenlenmesinde süreklilik sağlanmasına katkı sunmaktır. Ancak YETBİS web sitesinde yer alan tüm içerik yalnızca bilgi amaçlı olup yeterlilik testinden doğacak bir sorunda TÜRKAK herhangi bir şekilde sorumlu değildir. Yeterlilik testi programlarına ilişkin bilgilerin doğruluğu ve gerçekleştirilen programların sorumluluğu ilgili yeterlilik testi sağlayıcısına aittir.

YETBİS web sayfası üzerinden program duyurusu yapabilmek için üyelik gerekmekte olup bu gereklilik katılımcı laboratuvarlar tarafından uygun program bulmak ve detayları öğrenmek için geçerli değildir. *"Yeterlilik Testi Veri Tabanı"* bölümüne anahtar kelimeler (örneğin çevre alanı için su, atık su, toprak vb.) yazılarak kronolojik sıralaması yapılmış programlardan uygun olanı seçilebilir.

3. YETBİS ÜZERİNDEN DUYURUSU YAPILAN YT/LAK PROGRAMLARININ İNCELENMESİ

YETBİS veri tabanına üye kaydı yaptıran 43 YT/LAK sağlayıcısı bulunmaktadır [5]. Bunlardan 9'u TÜRKAK'tan TS EN ISO/IEC 17043 "Yeterlilik Testleri için Genel Şartlar" standardına göre akreditedir. TS EN ISO/IEC 17043 "Yeterlilik Testleri için Genel Şartlar" standardı yeterlilik testlerinin gerçekleşmesi aşamasında tüm yönetimsel ve teknik faaliyetleri kapsamaktadır. Yeterlilik testleri, laboratuvarların performanslarının izlenmesi için uygulanan en önemli metotlardan biri olduğu için katılmış oldukları yeterlilik test programlarının içeriğinin sağlam ve güvenilir olması önem arz etmektedir. Bu noktada ise yeterlilik testi sağlayıcılarının akreditasyonu ön plana çıkmaktadır [3] Bu veriler ışığında, ülkemizde akredite YT Sağlayıcısı sayısının artmasına ihtiyaç olduğu söylenebilecektir.

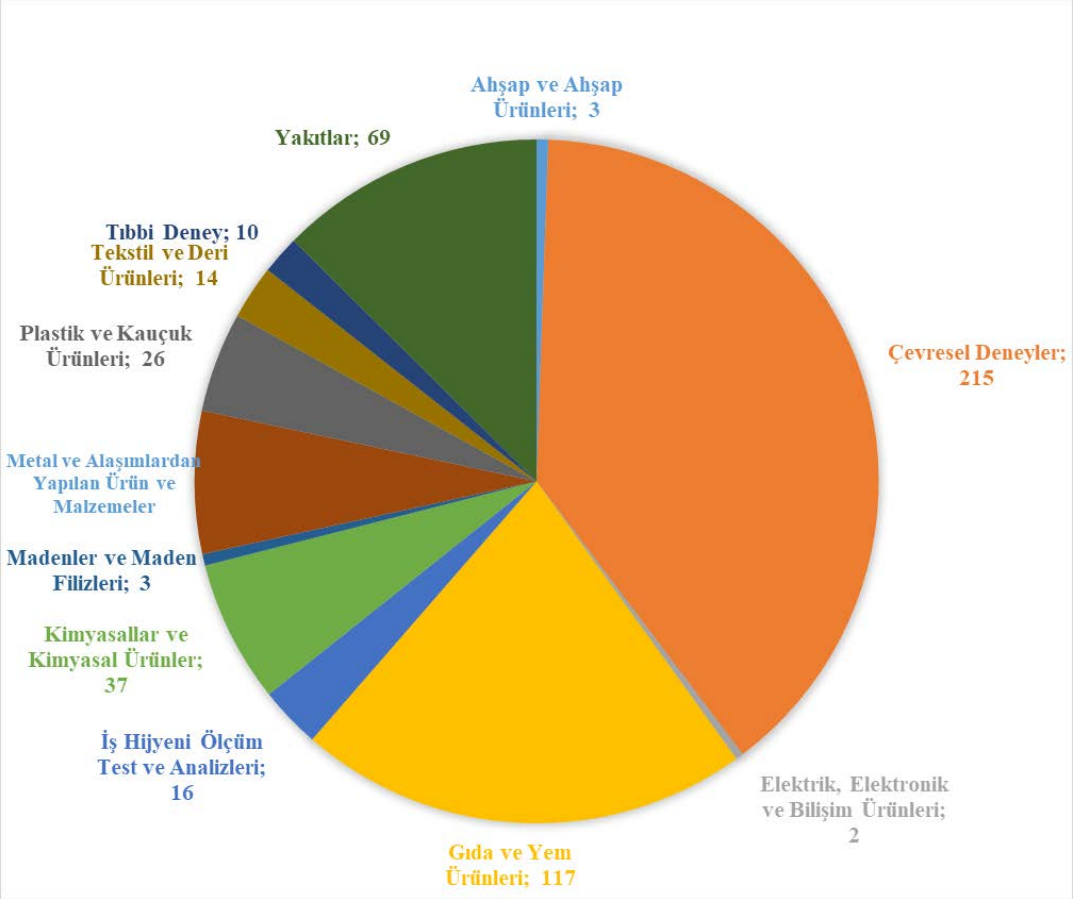
YETBİS üzerinden 645'i deney alanında ve 208'i kalibrasyon alanında olmak üzere toplam 853 YT/LAK programının duyurusu yapılmıştır [5]. Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2'de her iki alan için ayrı ayrı detaylı analizler sunulmuştur.

3.1. Deney alanında YETBİS üzerinden duyurusu yapılan YT/LAK programları

Deney laboratuvarları, TÜRKAK tarafından 31 farklı uzmanlık alanına göre değerlendirilmektedir. Tablo 3.1'de hem deney uzmanlık alanları hem de bu alanlardan 20.06.2019 tarihi itibari ile YETBİS'e kaydı yapılmış olan YT/LAK programları sayısı verilmektedir. Tablodan görüleceği üzere YETBİS'e 19 alanda hiç YT/LAK kaydı yapılmamış olup, çevresel deneyler alanının toplam sayı üzerinden bir değerlendirme yapıldığında önemli bir baskınlığının bulunduğu görülmektedir. Toplam 644 YT/LAK kaydının bulunduğu YETBİS'te çevresel deneyler alanında 215, gıda ve yem ürünleri alanında 117, yapı malzemeleri, ürünleri ve binalar alanında 95 program duyurusu yapılmış olup, Şekil 3.1'den görüleceği üzere bütün programların yaklaşık %66'lık bir kısmının yalnızca bu 3 deney alanında düzenlendiği anlaşılmaktadır. TÜRKAK'tan akredite ve ilk akreditasyon süreci devam eden 983 deney ve 38 tıbbı deney olmak üzere toplam 1021 laboratuvar arasında çevre laboratuvar sayısı 359'dur. Bu noktada YETBİS üzerinden çevre alanında duyurusu yapılan YT/LAK programlarının yoğunluğunun çevre laboratuvar sayısı ile ilişkili olabileceği ifade edilebilecektir. Ancak hiç duyuru yapılmayan alanlardan, azımsanamayacak sayıda akreditasyon süreci olan laboratuvarların (örneğin petrol ve petrol ürünlerinden 59) bulunması, YETBİS'in amacına hizmet etmesi noktasında sistemin tanınırlığının ve kullanımının artırılmasına ihtiyaç olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3.1 Deney laboratuvarları için TÜRKAK'ın uzmanlık alanlarına göre YETBİS üzerinden duyurusu yapılan YT/LAK programları sayısı

UZMANLIK ALANLARI	**Yeterlilik Testi Program Sayısı**
Adli Bilimler	0
Ahşap ve Ahşap Ürünleri	3
Balistik ve Patlayıcılar	0
Biyolojik Deney Numuneleri	0
Cam-Seramik	0
Çevresel Deneyler	215
Elektrik, Elektronik ve Bilişim Ürünleri ve Cihazları	2
Gıda ve Yem Ürünleri	117
İlaçlar, Biyolojik Ürünler ve Eczacılık Ürünleri	0
İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analizleri	16
Kağıt, Karton ve Ambalaj Malzemeleri	0
Kimyasallar ve Kimyasal Ürünler	37
Kişisel Koruyucu Donanımlar	0
Madenler ve Maden Filizleri	3
Mekanik Ürünler	0
Metal ve Alaşımlardan Yapılan Ürün ve Malzemeler	37
Nükleer Enerji Ürünleri	0
Oyuncaklar, Çocuk Bakım Ürünleri	0
Petrol ve Petrol Ürünleri	0
Plastik ve Kauçuk Ürünleri	26
Sayaçlar	0
Tarımsal ürünler	0
Taşıtlar	0
Tekstil ve Deri Ürünleri	14
Tıbbi Deney	10
Veteriner Teşhis ve Analiz	0
WADA	0
Yağlayıcılar	0
Yakıtlar	69
Yapı Malzemeleri, Ürünleri ve Binalar	95
Onaylanma Amaçlı Akreditasyon	0
Toplam	644



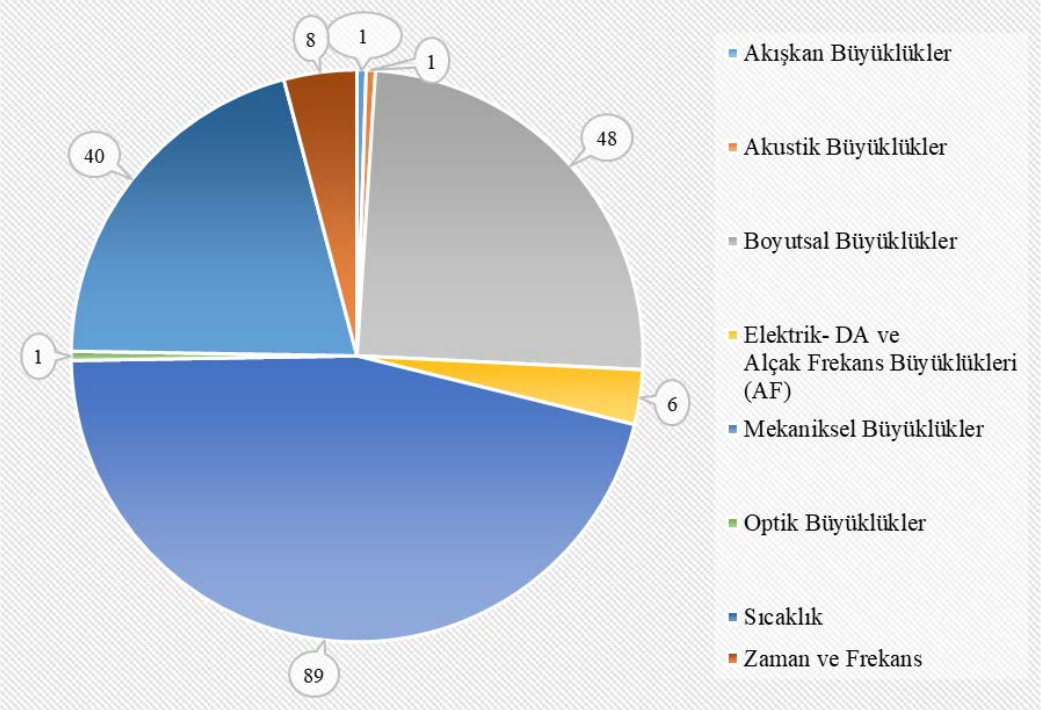
Şekil 3.1 Deney alanında YETBİS üzerinden duyurusu yapılan YT/LAK programlarının alt uzmanlık alanları ve sayıları

3.2. Kalibrasyon alanında YETBİS üzerinden duyurusu yapılan YT/LAK programları

TÜRKAK tarafından kalibrasyon laboratuvarlarının tasnifinde kullanılan 12 farklı uzmanlık alanı bulunmaktadır. Tablo 3.2'den detaylı olarak görüleceği üzere, YETBİS'e bu on iki alandan dördünde hiç YT/LAK kaydı yapılmamış olup "Akışkan Büyüklükler", "Akustik Büyüklükler" ve "Optik Büyüklükler" olmak üzere üç alanda ise yalnızca bir kayıt görülmektedir. Şekil 3.2'den anlaşıldığı üzere, kalibrasyon alanında mekaniksel büyüklükler 94 program duyurusu ile birinci sırayı alırken, boyutsal büyüklükler 51 ve sıcaklık 46 program duyurusuyla onu takip etmiştir. Oysa TÜRKAK'tan akredite ve ilk akreditasyon süreci devam eden toplam 151 kalibrasyon laboratuvarı bulunmaktadır. TÜRKAK akreditasyon süreci içinde olan kalibrasyon laboratuvarları mekaniksel büyüklükler alanında 127, boyutsal büyüklükler alanında 89 ve sıcaklık alanında 109'dur. Antrparantez 35 laboratuvarın bulunduğu akışkan büyüklükler alanında yalnızca 1 duyuru yapılmıştır. Deney alanına benzer şekilde bu veriler de, kalibrasyon alanında düzenlenen YT/LAK programlarının YETBİS üzerinden duyurusunun yapılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.2. Kalibrasyon laboratuvarları için TÜRKAK'ın uzmanlık alanlarına göre YETBİS üzerinden duyurusu yapılan YT/LAK programları sayısı

UZMANLIK ALANLARI	Yeterlilik Testi Program Sayısı
Akışkan Büyüklükler	1
Akustik Büyüklükler	1
Boyutsal Büyüklükler	51
Elektrik - DA ve Alçak Frekans Büyüklükleri (AF)	6
Elektrik - Yüksek Frekans Büyüklükleri (YF)	0
İyonlaştırıcı Radyasyon ve Radyoaktivite	0
Kimyasal Analiz, Referans Malzemeler	0
Manyetik Büyüklükler	0
Mekaniksel Büyüklükler	94
Optik Büyüklükler	1
Sıcaklık	46
Zaman ve Frekans	8
Toplam	208



Şekil 3.2 Kalibrasyon alanında YETBİS üzerinden duyurusu yapılan YT/LAK programlarının alt uzmanlık alanları ve sayıları

SONUÇ

Günümüzde yeterlilik testleri, hem laboratuvarlar tarafından teknik yeterliliklerini izlemek için hem de akreditasyon kuruluşları tarafından akredite laboratuvarların veya akredite olmak isteyen laboratuvarların performansını değerlendirmek için kullanılan önemli bir kalite güvence aracıdır. Bu bağlamda, laboratuvarların performanslarını doğru ve güvenilir olarak değerlendirecek yeterlilik testi programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca laboratuvarlar yeterlilik deneyleri ya da laboratuvarlar arası karşılaştırmaları eğitim ve risk yönetimi aracı olarak da kullanabilirler [4].

YETBİS, düzenleyiciler tarafından yeterlilik testi programlarının hızlı ve etkin bir şekilde duyurulmasını mümkün kılarak katılımcı laboratuvarlar için kolaylıkla kendi alanlarına uygun programı bulabilme olanağı tanımaktadır. Her iki taraflı erişim engellerini ortadan kaldırması bakımından faydalı bir hizmet sunan YETBİS veri tabanına bu nedenle yeterlilik testi programı kayıtlarının yapılması önem arz etmektedir. Böylelikle bu duyurular ile ülkemizde düzenlenen yeterlilik testi programlarına ait hem güvenilir istatistikler elde edilebilecek hem de sayı ve alan bakımından ihtiyaçlar doğru bir şekilde ortaya konabilecektir.

YETBİS web sayfasının kullanıcı dostu yararları dikkate alındığında, üçüncü bölümde gerçekleştirilen detaylı analize göre YT Sağlayıcıları ve katılımcı laboratuvarlar için YETBİS veri tabanı kullanımının ve tanınırlığının artırılmasına yönelik çalışmalara ihtiyaç olduğu söylenebilir. Buna karşın henüz yeni olarak nitelendirilebilecek bu sistemden farklı alanda çok sayıda uygunluk değerlendirme kuruluşu yararlanmış ve sorunların çözümüne dair önemli bir adım atılmıştır. Son olarak YETBİS kullanımına ve tanınırlığının artırılmasına yönelik çalışmalar, teknik alt yapının güçlendirilmesine ve talepler ve geri dönüşler doğrultusunda sistemin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] ÜNÜVAR, A., “Örnek Bir Tahıl Deney Metodunun ISO/IEC 17025 Standardı Gerekliliklerine göre İncelenmesi ve Güncellenmesi”, Türk Akreditasyon Kurumu Uzmanlık Tezi, Ankara, 2016.
[2] TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yetkinliği için Genel Gereklilikler, 2017.
[3] SÜMER, S.S., “ Yeterlilik Testi Sağlayıcılarının Akreditasyon Süreçleri ve İstatiksel Metotların Kullanımı”, Türk Akreditasyon Kurumu Uzmanlık Tezi, Ankara, 2016.
[4] TÜRKAK, P704 “Yeterlilik Deneyleri ve Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma Programları Prosedürü”, (rev. no:09), 2018.
[5] İnternet: Yeterlilik Testi Veritabanı. (2019). “ https://yetbis.turkak.org.tr/” adresinden 21 Haziran 2019’da alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Ece GÜLER

1990 yılı İstanbul doğumludur. 2013 yılında Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim dalında yüksek lisansını 2019 yılında tamamlamıştır. 2015 yılından beri Türk Akreditasyon Kurumu Laboratuvar Akreditasyon Başkanlığında Akreditasyon Uzmanı ve Denetçi olarak görev yapmaktadır.

Tuna ÇINKILLI ALİCAN

1989 yılı Ankara doğumludur. 2012 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümünden mezun olmuştur. 2014 yılında aynı Üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümünde yüksek lisansını tamamlamıştır. Ocak 2018’den beri Türk Akreditasyon Kurumu Laboratuvar Akreditasyon Başkanlığında Akreditasyon Uzman Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.

780 nm LAZER DALGABOYU STANDARDI MUTLAK FREKANS VE KARARLIĞI ÖLÇÜMLERİ

Ersoy ŞAHİN

ÖZET

Bu çalışmada; uzunluk ve boyutsal ölçümleri için TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde geliştirilmiş, frekansları ^{87}Rb atomlarının geçişlerine kilitlenerek kararlı hale getirilmiş, λ = 780 nm dalga boylu taşınabilir ulusal dalga boyu standartları oluşumundan bahsedilmiştir. Yapılan frekans kararlığı ölçümleri ile ulusal dalga boyu standartları frekans kararlığı 1s ile 16 saat zaman aralığında $5.5 \times 10^{-12}\tau^{-1/2}$ olarak belirlenmiştir. Dalga Boyu Standartları mutlak frekansına etki eden parametreleri; ^{87}Rb küvet sıcaklığı 4.528 ± 0.781 kHz / ^{o}C, lazer ışınım yoğunluğu 0.956 ± 0.061 kHz cm^2 / mW ve frekans modülasyon genişliği 5 ± 0.977 kHz / MHz olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dalga boyu standardı, frekans kararlığı, ^{87}Rb küvet sıcaklığı, lazer ışınım yoğunluğu, frekans modülasyon genişliği.

ABSTRACT

In this study, for length and dimensional measurements, the realization of λ = 780 nm transportable national wavelength standards, developed at TÜBITAK National Metrology Institute, were mentioned. The frequency stabilization of the national wavelength standards were done by locking the energy transition of ^{87}Rb atoms. With freguency stabilization measurments the frequency stabilization value of national wavelength standards was defined $5.5 \times 10^{-12}\tau^{-1/2}$ integration times 1s to 16 hours. The paremeters which are affecting the absolute frequency of national wavelength standards; the temperature of ^{87}Rb cell 4.528 ± 0.781 kHz / ^{o}C, laser intensity 0.956 ± 0.061 kHz cm^2 / mW and frequency modulation width 5 ± 0.977 kHz / MHz were measured.

Key Words: Wavelength standard**,** frequency. stabilization, temperature of ^{87}Rb cell, laser intensity, frequency modulation width

1. GİRİŞ

Uzunluk ve boyutsal ölçümlerinde Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun (Bureau International des Poids et Mesures ,BIPM) tanımı gereğince [1] gerçeklenmiş dalga boyu standartları kullanımı zorunluluğu vardır. Bu tanım gereğince kullanıla bilinecek uzunluk dalga boyu standartlarından biride 780 nm dalga boyunda çalışan frekansı ^{87}Rb atomlarının d/f enerji geçişine kilitlenerek frekansı kararlı hale getirilmiş dış kaviteli diyot lazer sistemidir. BIPM'in tanımı gereğince uzunluk ve boyutsal ölçümlerinde kullanılacak dalga boyu standardının (lazerin) frekansındaki değişim ($\Delta\vartheta$ / ϑ) değerinin $5\text{x}10^{-10}$ olması gerekmektedir. Tanım gereğince mutlak frekansın ϑ = 384 227 981.9 MHz olduğunda mutlak frekanstaki değişimin $\Delta\vartheta \approx$ 192 kHz olması anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle mutlak frekans bu değişim değerine sahip bir lazer ile interferometrik yöntem ile L = 1m uzunluğuna sahip mastar (gauge) bloğun uzunluğunu ölçtüğümüzde $\Delta L \approx$ 0.5 nm bir hata getireceğini ifade etmektedir. Bu düşük hata değerine sahip uzunluk ölçümünü gerçekleye bilmek için, uzunluk ölçümünde kullanılacak lazerin hem mutlak frekans kararlılık değeri hem de mutlak frekansına etki eden

parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Lazerin mutlak frekansındaki değişim uzunluk ölçümünün doğruluğunu (accuracy) belirlerken, mutlak frekans kararlığı ise ölçümün tekrarlana bilirliğini (repeatability) belirlemektedir.

2. 780 nm LAZER DALGABOYU STANDARDI

TUBİTAK UME'de 780 nm lazer dalga boyu standardı oluşumunu gerçeklemek için; 780 nm dalga boyunda ışınım veren, lazer çizgi genişliği 200 kHz'den küçük, lazer gücü 50 mW olan dış kaviteli diyot lazer kullanılmıştır. Lazerin frekansı kararlılığı üçüncü harmonik frekans kilitleme yöntemi ile kullanılarak sağlanmıştır [2]. Lazerin frekansını kararlı hale getirmekte kullanılan hata sinyali Doppler – altı doyum soğurum spektroskopi [2] yöntemi ile elde edilmiştir. Hata sinyalini elde etmek için; lazer ışınımı sıcaklık kontrollü cam küvet içerisinde yer alan ^{87}Rb atomları ile etkileşime sokulmuş ve hata sinyali fotodedektör ile algılanmıştır. Hata sinyalinin üçüncü türevini almak için lazerin akımı lock in yükselticiden elde edilmiş 33.8 kHz'lik sinüs sinyali ile modüle edilmiş ve oluşan hata sinyalinin üçüncü türevi lazerin akım ve piezo - elektrik transdüser'ına ayrı ayrı geri besleme sinyali olarak uygulanmıştır. Lazer akımına verilen hata sinyali lazerin frekansındaki hızlı değişimleri (örneğin akustik gürültüden kaynaklanan lazer frekans değişimi) kompanze ederken, piezo - elektrik transdüser'ına verilen hata sinyali lazerin frekansındaki yavaş değişimleri (örneğin sıcaklık değişimden dolayı lazer frekans değişimi) kontrol altında tutmak amaçlı verilmiştir. ^{87}Rb atomlarının enerji geçişlerinin dış manyetik alandan etkilenmesini önlemek için, cam küvet içerisinde yer alan ^{87}Rb atomları dış manyetik alan etkisini zayıflatan manyetik izolasyon malzemesi (MuMetal material) ile iki katlı katman olacak biçimde sarılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda dış manyetik alanın yirmi beş kat azatlığı ölçülmüştür. Ulusal uzunluk standardının kurulduğu optik masada manyetik alan ≈ 50 μT ölçülmüştür. Bu ölçüm ^{87}Rb atomlarının ≈ 2 μT'lık yerin manyetik alanından kaynaklanan bir alana maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Bu alan ulusal uzunluk standardının mutlak frekansında ≤ 500 Hz'lik değişime, frekans karalığında ise 10^4 s'lik ortalama süresince ≤ 50 Hz'lik kaymaya neden olduğu saptanmıştır [3].

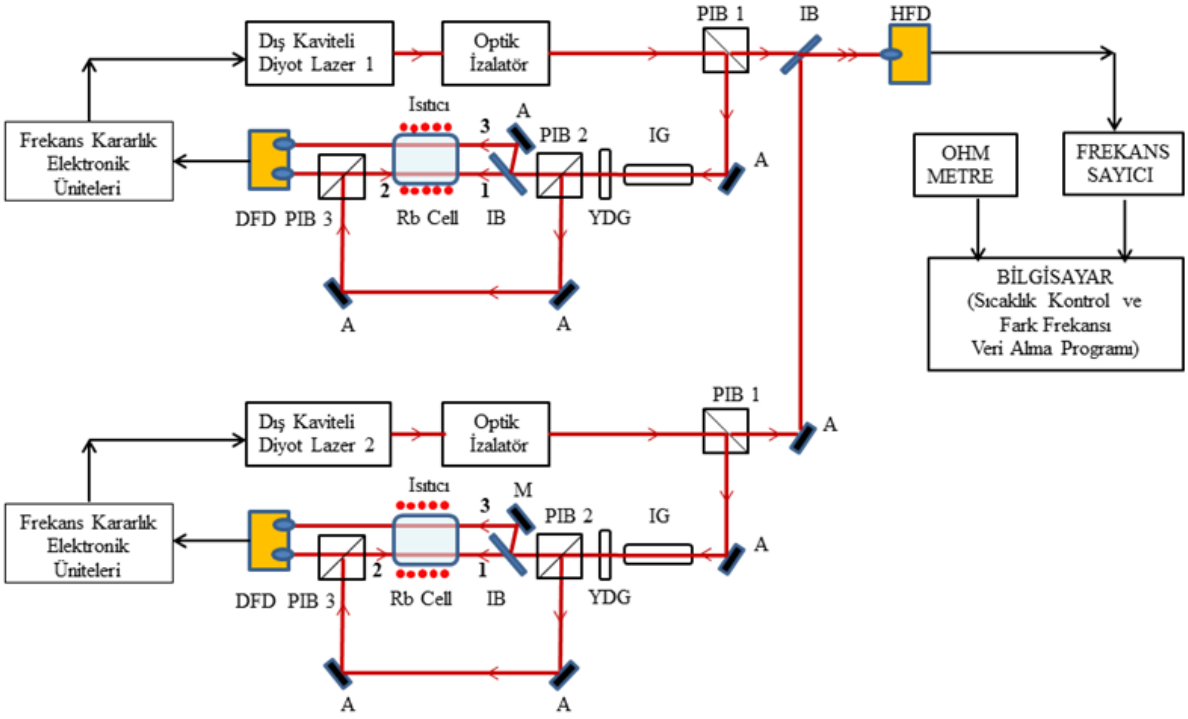
Dalga boyu standardının oluşumu gerçeklenirken mutlak frekansını belirleyen fiziksel parametreler ^{87}Rb küvet sıcaklığı, lazer ışınım yoğunluğu ve frekans modülasyon genişliği BIPM'in [1] tanımı doğrultusunda belirlenmiştir. Tanım doğrultusunda ^{87}Rb küvet sıcaklığı: 23.3 ^{o}C, lazer ışınım yoğunluğu: 100 mW/cm^2 ve frekans modülasyon genişliği: 5 MHz olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerden dalga boyu standardının frekans kararlığını etkileyen ^{87}Rb küvet sıcaklık kararlığı oluşumu ve kararlığı üzerinde önemle durulmuş, çalışma sonuçları [4]'te yer almaktadır.

Lazer dalga boyu standardının frekans kararlığı ve mutlak frekans parametrelerinin değişimini ölçmek ve belirlemek için söz konusu standardının bir benzerinin ikincisi BIPM'in tanımı doğrultusunda TUBİTAK UME'de kurulmuş ve bu iki dalga boyu standardı kullanılarak ölçümler gerçeklenmiştir.

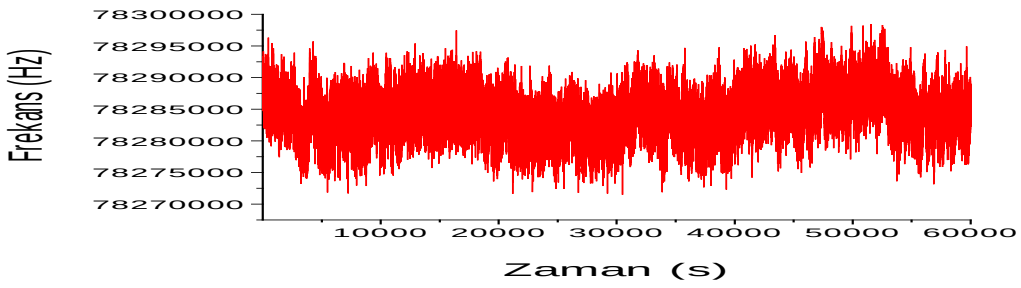
3. MUTLAK FREKANS VE KARARLIĞI ÖLÇÜMLERİ

Lazer dalga boyu standartlarının frekans kararlığı ve mutlak frekans parametrelerinin değişimini ölçmek için şekil 1'deki ölçüm düzeneği kurulmuştur. Olası lazer ışınım geri yansımaları lazerlerin çalışma rejimini bozucu yönde etkilediğinden, dış kaviteli diyot lazerlerin önüne optik elemanlardan (aynalardan, polarize ışın bölücülerden) olası geri yansımaları engellemek için 40 dB izolasyon değerine sahip optik izolatör yerleştirilmiştir. Optik izolatörlerden çıkan lazer ışınım demetleri polarize ışın bölücü (PIB 1), aynalar (A 1) üzerinden yansıtılarak ışınım genişleticiler (IG) ve yarım dalga geciktiriciler geçirilerek polorize ışın bölücüler'den (PIB 2) kullanılarak lazer ışınımları iki kola ayrılmıştır (şekil 1'de 1 ve 2 olarak isimlendirilmiştir). Bu lazer ışınım demetlerinden 1 ile isimlendirilen Doppler – altı doyum soğrum rezonasını diferansiyel fotodektörler (DFD) üzerinden algılamak için kullanılmıştır. Lazer ışınım demetleri 2 ise ^{87}Rb atomlarının taban enerji seviyesinin süper enerji geçişi olan F=2 enerji seviyesinde bulunan atomları F$^{/}$=3 enerji üst enerji seviyesine optik pompalama için kullanılmıştır. PIB 2'den sonra konumlandırılmış ışın bölücü (IG) kullanılarak üçüncü bir lazer ışınımı

(şekil 1'de 3 olarak isimlendirilmiştir) elde edilmiş ve A4 aynası kullanılarak DFD'ye üzerine gönderilmiştir. Diferansiyel fotodektörlere yönlendirilmiş lazer 1 ile lazer 3 ışınımı sinyal farkı alınarak, rezonans sinyali üzerinde oluşan DC offset kaldırılmıştır. Optik pompalama için kullanılan lazer ışınım demetleri 2, A2, A3 aynalarından ve polarize ışın bölücüler'den (PIB 3) yansıtılarak içerisinde ^{87}Rb atomları bulunan sıcaklıklı kontrollü cam hücreye doğru yönlendirilmiştir. Ters yönde cam hücreye gelen lazer ışınım demetleri 1 ve 2 uzaysal olarak üst üste bindirilererek oluşan Doppler – altı doyum soğurum rezonansı diferansiyel fotodektörler (DFD) ile algılanmıştır. Lazer ışınımları (1,2 ve 3), ışınım genişleticiler kullanılarak büyütülmüş ve demet çapı 3 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Standartların frekans kararlığı ölçümlerinde; lazer 2 ışınım yoğunlukları ≈ 0.56 mW/cm^2, lazer 1 ve 3 ışınım yoğunlukları ≈ 0.14 mW/cm^2 olarak ayarlanmıştır. Işınım yoğunluklarının bu denli düşük ayarlanması nedeni; lazerleri kararlı hale getirmekte kullanılan rezonans sinyallerinin çizgi genişliklerini artırmamak içindir çünkü frekans kararlığı rezonansın çizgi genişliği artıkça bozulmaktadır [2].

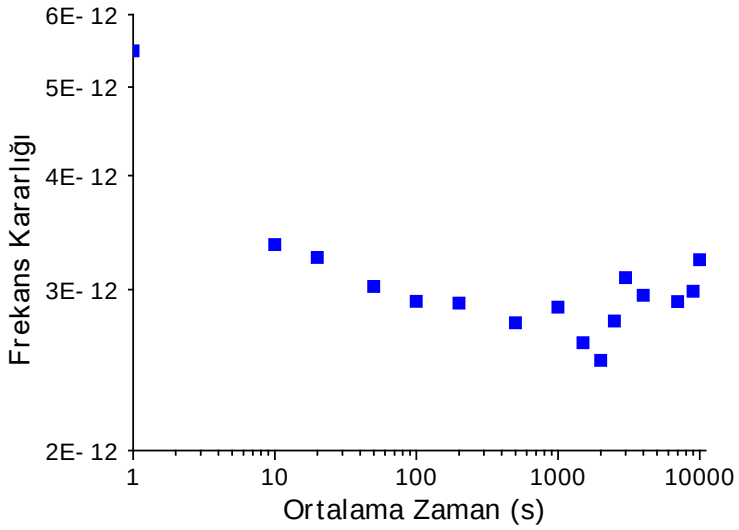


Şekil 1. Ulusal Uzunluk Dalga Boyu Standartlarının Mutlak Frekans ve Kararlığı Ölçüm Düzeneği



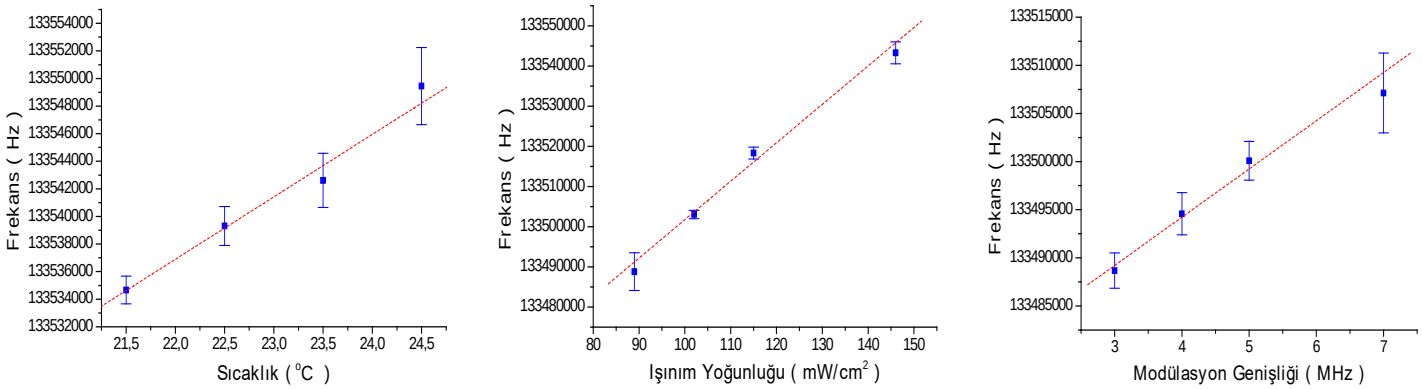
Şekil 2. Ulusal Uzunluk Dalga Boyu Standartlarının Frekansının Zaman ile Değişimi

Algılanan rezonans sinyalleri kullanılarak; lazer dalga boyu standardı 1 ^{87}Rb atomlarının d/f enerji geçişine, lazer dalga boyu standardı 2 ise f enerji geçine kilitlenerek karalı hale getirilmiştir. Frekansları kararlı hale getirilmiş lazer dalga boyu standartları ışınım demetleri hızlı fotodetektör (HFD) üzerinde üst üste bindirilerek lazerler arasındaki fark frekansı, bilgisayar kontrollü frekans sayıcı ile kayıt edilmiştir. Deney düzeneğindeki bilgisayar kontrollü voltmetre, frekans kararlığı ölçümü süresince ^{87}Rb atomlarının sıcaklık değişimini gözlemlemek ve kayıt etmek için kullanılmıştır. Şekil 2'de 60 ks (16 saat) süresince Ulasal dalga boyu standartlarının frekansının zaman ile değişimi görülmektedir.



Şekil 3. Ulusal Dalga Boyu Standartlarının Frekans Kararlılığı

Şekil 3'te 16 saat süresince kayıt edilen veri ile Allan variance [5] istatistiği kullanılarak hesaplanmış değerlerden oluşturulan, ulusal dalga boyu standartlarının frekans kararlılığını ifade eden grafik görülmektedir. Ölçümler sonucunda ulusal dalga boyu standartları frekans kararlığı değeri 1s ile 16 saat zaman aralığında 5.5 x $10^{-12}\tau^{-1/2}$ölçülmüş iken, ulusal uzunluk dalga boyu standarttı 1'in mutlak frekansına etki eden parametreleri ^{87}Rb küvet sıcaklığı 4.528 ± 0.781 kHz / ^{o}C, lazer ışınım yoğunluğu 0.956 ± 0.061 kHz cm^2/ mW ve frekans modülasyon genişliği 5 ± 0.977 kHz / MHz olarak ölçülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. ^{87}Rb Küvet Sıcaklığı, Lazer Işınım Yoğunluğu, Frekans Modülasyon Genişliği Parametreleri Ölçüm Değerleri Grafikleri

SONUÇ

Bu çalışmada; TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde BIPM'in tanımı doğrultusunda gerçeklenmiş taşınabilir ulusal dalga boyu standartlarının oluşumu, frekans kararlığı ve mutlak frekansına etki eden ^{87}Rb küvet sıcaklığı, lazer ışınım yoğunluğu ve frekans modülasyon genişliği parametreleri ölçüm sonuçları sunulmuştur. Ulusal dalga boyu standartların frekans kararlığı ve mutlak frekansına etki eden parametrelerinin değerleri; standartlarının uzunluk ve boyutsal ölçümlerinde kullanıla bilmesi için BIPM'in tanımı gereğince gereksinimleri karşıladığı gibi literatürde yer alan ölçüm sonuçları ile uyum göstermektedir [3,6,7,8,].

KAYNAKLAR

[1] CIPM Recommendation 2 (CI-2015): Updates to the list of standard frequencies http://www.bipm.org/jsp/en/CIPMRecommendations.jsp.
[2] Demtröder, W., Laser Spectroscopy (Second Enlarged Edition). Berlin, Springer (1996)
[3] Affolderbach,C., Mileti,G. "Tunable, stabilised diode lasers for compact atomic frequency standards and precision wavelength references," Optics and Lasers in Engin., vol. 43, pp. 291–302, July 2004.
[4] DENİZ, Y.,GEDİK, A.,ŞAHİN, E., ERKEN, N., BABA, A.F. "Lazer Dalgaboyu Standardı Atomik Gaz Sıcaklık Elektronik Kontrol Ünitesi Tasarımı ve Ölçüm Sonuçları", Ölçümbilim Sempozyumu ve Sergisi / 20-22 Kasım 2019 (Bildiri olarak kabul edildi)
[5] RILEY,W.J., " Handbook of Frequency Stability Analysis", NIST Special Publication 1065 http://www.crya.unam.mx/radiolab/recursos/Allan/NIST-1065.pdf
[6] Affolderbach,C., Mileti,G, "A compact laser head with high-frequency stability for Rb atomic clocks and optical instrumentation" Review of Scientific Instruments 76, 073108 (2005)
[7] Ye, J., Swartz, S., Jungner, P., and Hall, J. L., "Hyperfine structure and absolute frequency of the 87Rb 5P3/2 state", Opt. Lett. 21, 1280 (1996).
[8] Bitou, Y., Sasaki, K., Inaba, H., Hong, F.-L., Onae, A., "Rubidium-stabilized diode laser for high-precision interferometer", Opt. Eng. 43, 900 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Ersoy ŞAHİN

1975 yılında Ankara'da doğdu. Ankara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1998, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nde sırası ile 2005 ve 2014 yıllarında tamamlamıştır.1999 yılından beri TÜBİTAK UME Zaman - Frekans & Dalga boyu Laboratuarı'nda Başuzman Araştırmacı ünvanıyla ile çalışmaktadır. Birincil ve ikincil seviye dalga boyu standartlarının kurulması, uluslararası izlenebilinirliğin sağlanması, ikinci seviye dalga boyu standartlarının kalibrasyon ve test hizmetlerini verilmesi, atomik saatler ve optik saatlerin kurulması çalışmalarında görev almaktadır. Uzmanlık alanı lazer atom etkileşimi, lazerlerin metrolojik uygulamaları, atomik ve optik saatlerdir.

KARDİYOGRAFİ ÖLÇÜMLERİ İÇİN ATOMİK MANYETOMETRE GELİŞTİRİLMESİ

Birgül KAÇAR
İsa ARAZ
İsmail YORULMAZ
Adil MERAKİ
Bakmurat KUBANALİEV

ÖZET

Bu çalışmada, kalbin ürettiği manyetik alanı hassas olarak ölçebilmek amacıyla Mx tipi sezyum tabanlı bir atomik manyetometre geliştirilmiştir. Atomik manyetometrenin hassasiyetini geliştirmek için rf bobin voltajının ve lazer kaynağının gücü optimize edilmiş ve minimum manyetik rezonans çizgi genişliğine (linewidth) ulaşılmıştır. Shot gürültü sınırlı rezonans sinyalinin yarı genişliği (half width at half maximum, HWHM) 18 Hz ve sinyal gürültü oranı ise 22800 olarak elde edilmiştir. Buna göre, geliştirilen manyetometre hassasiyeti 228 fT/√Hz civarında olup, kardiyomanyetometre uygulamaları için uygundur.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hassasiyetli manyetometre, Optik algılamalı manyetik rezonans, Kardiyomanyetometre.

ABSTRACT

We investigated a diode-pumped Cs-based Mx type atomic magnetometer developed aiming the detection of low magnetic fields of the human heartbeat. In this study, we characterized and optimized the rf coil voltage and the laser power to achieve the minimum magnetic resonance linewidth for the best sensitivity. The shot-noise-limited limited measurements of resonance resulted 18 Hz half-width of at half maximum and a signal-to-noise ratio of 22800. The sensitivity of the magnetometer was shown to be around 228 fT/√Hz which is under the required limit for the cardiomagnetometer applications.

Key Words: High precision magnetometry, Optically detected magnetic resonance, Cardio magnetometer.

1. GİRİŞ

Yüksek hassasiyetli manyetometreler, biyomanyetizma [1], uzay araştırmaları [2], jeomanyetik haritalama [3] ve temel simetriler [4] gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hassas manyetometrelerin kullanıldığı temel ve en popüler alanlardan bir diğeri insan kalbi [5] ve beyninden [6] yayılan manyetik alanların ölçüldüğü biyolojik uygulamalardır. İnsan kalbinden yayılan manyetik alan, ilk kez 1963' te hassas toplama bobinleri (pick up coil) kullanılarak tespit edilmiştir [7]. Takip eden yıllarda kardiyomanyetometrenin (Magnetocardiography, MCG) yanı sıra, beyinden yayılan 20 fT mertebesinde manyetik alanın tespit edildiği manyetoensefalografide (MEG) süper iletken kuantum girişim cihazları (Superconducting quantum interference device, SQUID) kullanılmıştır [8,9]. SQUID' ler uygulama sırasında radyasyon yaymaması ve cerrahi bir işlem olmaması gibi üstünlüklere sahiptir [10], ancak çok düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi pahalı soğutma sistemleri gerektirmektedir ve bu

durum işletim maliyetini artırmaktadır [11]. Atomik manyetometrelerdeki gelişmelerle SQUID teknolojisi ile rekabet edebilecek yeni sensörler üretilmiştir. Bu sensörler ise, kompakt olmaları, bakım gerektirmemeleri ve işletim maliyetlerinin daha düşük olmaları ile ön plana çıkmışlardır [12]. Optik yöntemle uyarılan atomik manyetometrelerin (Optically pumped atomic magnetometer, OPAM) biyomedikal uygulamalar için üstün nitelikli cihazlar olduğu zaman içerisinde daha belirgin hale gelmiştir. OPAM' ların çalışması üç temel prensibe dayanır: Dairesel polarize ışık ile uyarılarak atomlar hizalanır [13], ışığın polarizasyonu ortamdan geçerken manyetik alan etkisi ile değişir. Bu değişim fotodetektöre iletilen ışık gücü üzerinden ya da polarizasyon açısının kontrol edilmesi ile saptanır [3]. Atomik manyetometrelerin MCG alanında ilk olarak kullanılması ise 1981'de olmuştur[14].

Bu deneysel çalışmada, MCG' de yaygın olarak kullanılan, Cs tabanlı Mx tipi atomik manyetometrelerin performansı geliştirilmiştir. Dünyanın manyetik alanı gibi yüksek manyetik alanlardan izole bir alan yaratmak için 3 (üç) katlı μ-metallerden oluşan manyetik kalkan geliştirilmiştir. Rezonans durumu için deneysel olarak elde edilen reel (in-phase) ve imajiner (quadrature) sinyal formları gösterilmiştir. Rf bobinlerinin voltajı ve lazer gücü optimize edilmiş, rezonans yarı genişliklerindeki değişim rf bobin voltajı ve lazer gücünün fonksiyonu olarak elde edilmiştir.

2. Mx TİPİ MANYETOMETRE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Dairesel hareket yapan cisimler, açısal momentum ve manyetik moment oluşturur. Alkali atomlar da benzer olarak açısal momentum ve buna bağlı olarak manyetik dipol momente sahiptirler. Dipol moment manyetik alana maruz bırakıldığında, manyetik alan dipol moment üzerinde bir tork uygular. Manyetik dipol momentin, manyetik alan etrafında bu tork sebebiyle devinim hareketine "Larmor presesyonu" denir. (ω_L Larmor frekansı, γ jiromanyetik oran, B_O statik manyetik alan)

$$\omega_L = \gamma B_O \tag{1}$$

Bir parçacık üzerinde etkili olan net tork, aynı zamanda açısal momentumun zamana bağlı türevine de eşittir. Bloch denklemi olarak bilinen aşağıda gösterilen bu eşitlik, mıknatıslanmanın ($\boldsymbol{M}$) manyetik alan içindeki değişimini tanımlar.

$$\frac{d\boldsymbol{M}(t)}{dt} = \boldsymbol{M}(t) \times \gamma \boldsymbol{B}(t) \tag{2}$$

Felix Bloch, statik bir manyetik alan içerisinde, manyetik momentin rf manyetik alan etkisinde davranışını tanımlamak için bazı denklemler türetmiştir [17] (Bkz. (3) ve (4)) . Toplam mıknatıslanmanın rf etkisinden sonra kararlı değerlere ulaşana kadar olan durumunu açıkça göstermek için bu denklem uyarlanmıştır. Mıknatıslanma bileşenlerinin z ekseni ve x-y eksenleri için farklı olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple sönümlenme zamanları T_1 ve T_2 olarak farklı sabitlerle ifade edilir. ($\boldsymbol{M}$: toplam manyetizasyon, $\boldsymbol{R}$: sönümlenme matrisi)

$$\frac{d\boldsymbol{M}(t)}{dt} = \boldsymbol{M}(t) \times \gamma \boldsymbol{B}(t) - \boldsymbol{R}(\boldsymbol{M}(t) - M_O) \tag{3}$$

Mx tipi manyetometre tekniği statik manyetik alan (B_0) ve rf manyetik alanlarını (B_1) kullanarak manyetik rezonans durumunda Larmor frekansının saptanmasına dayanmaktadır. Statik manyetik alan B_0, rf manyetik alan B_1 ile diktir ($B_1 \perp B_0$). Lazer ışını ise z ekseni üzerinde ve B_0 ile θ açısı yapacak şekildedir. Bu tanımlar dikkate alındığında Bloch denklemi, toplam manyetik momentin B_0 ve B_1 varlığında değişimini durgun koordinat sisteminde ifade eder [15].

$$\begin{pmatrix} \dot{M}_x \\ \dot{M}_y \\ \dot{M}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_F B_{rf} 2\cos\omega_{rf}\, t \\ 0 \\ \gamma_F B_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \gamma_2 M_x \\ \gamma_2 M_y \\ \gamma_1 M_z \end{pmatrix} + \Gamma_P \begin{pmatrix} -M_x \\ M_0 \sin\theta - M_y \\ -M_0 \cos\theta - M_z \end{pmatrix} \tag{4}$$

Eşitlik içerisindeki terimler $\boldsymbol{M}$' nin presesyonuna ait değişkenleri içermektedir. Optik pompalama ile manyetikleştirilmiş bu sistem için γ_1 ve γ_2 ise sönümlenme hızlarını ifade eder. γ_1 ve γ_2 birbirine diktir. Γ_P pompalama hızı, denge oryantasyonun sağlanması açısından önem taşır. Etkin sönümlenme hızı pompalama hızı, sönümlenme hızlarının toplamı olarak ifade edilir $\Gamma_{1,2} = \gamma_{1,2} + \Gamma_P$.

Statik manyetik alan içerisinde ω_{rf} etkisiyle Larmor presesyonu başlatılmış ve manyetizasyonun davranışı durgun koordinat sisteminde (4) değerlendirilmiştir. Fakat enine düzlemde de ω_L frekansı ile bir hareket söz konusu olduğu için durgun koordinat sisteminde değerlendirmek yerine, dönen dalga yaklaşımından faydalanarak durgun durum çözümü türetilmiştir. Dönen dalga yaklaşımı kullanılarak manyetizasyon vektörüne ait değişiklikler daha kolay incelenebilir ve denge durumu durgun olarak gözlemlenebilir [16].

Numuneden geçen ışığın gücü, Mx manyetometresine ait optik soğurma katsayısı bilgisini verir. İletilen güç, manyetizasyonun dairesel polarize ışık üzerindeki izdüşümüne karşılık gelir. Toplam manyetik dipol momentin yani manyetizasyonun presesyondan kaynaklanan soğurma katsayısındaki değişim, lazer gücünün değişimi üzerinden takip edilebilir. Reel ve imajiner sinyallerin genişlikleri aşağıdaki eşitliklerle ilişkilendirilmiştir [10]:

$$P_{ip}\,(\delta) = -P_0 \sin(2\theta)\,\frac{\Omega_{rf}\delta}{\Omega_{rf}^2\Gamma_2/\Gamma_1+\Gamma_2{}^2+\delta^2} \tag{5}$$

$$P_{qu}\,(\delta) = -P_0 \sin(2\theta)\,\frac{\Omega_{rf}\Gamma_2}{\Omega_{rf}^2\Gamma_2/\Gamma_1+\Gamma_2{}^2+\delta^2} \tag{6}$$

$\Omega_{rf} = \gamma_F B_{rf}$ çok ince yarılma durumunda enerji seviyeleri arasındaki atomik geçişlerin salınım frekansına karşılık gelen Rabi frekansıdır. $\delta = \omega_{rf} - \omega_L$ ise B_1' in rezonans frekansından ne kadar uzaklaştırılacağı bilgisini verir. Optimum sinyal elde etmek için deneylerde yaygın olarak faz duyarlı algılama yöntemi kullanılır. P_{ip} ve P_{qu}, $\delta = 0$ yakınındaki rezonans davranışını temsil eder. Lorentzian soğurma eğrisi P_{qu} ve aynı yarı genişliğe sahip ışıma (emission) Lorentzian eğrisi P_{ip} gözlemlenir ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\omega_{HW} = \sqrt{\Omega_{rf}{}^2\Gamma_2/\Gamma_1 + \Gamma_2{}^2} = \Gamma_2\sqrt{S+1} \tag{7}$$

Burada, $S = \Omega_{rf}{}^2/(\Gamma_2\Gamma_1)$, saturasyon parametresidir. P_{ip} sinyalinin formu, ışıma eğrisi şeklindedir ve $\delta = 0$' da sıfırdan geçen lineer şekle sahiptir. P_{ip} 'den faydalanarak ω_{rf}' e karşılık gelen manyetik alan hesaplanabilir. Faz farkı φ ise, P_{ip} ve P_{qu} oranı ile elde edilebilir:

$$\tan\varphi = \frac{P_{qu}}{P_{ip}} = \frac{\Gamma_2}{\delta} \tag{8}$$

Faz sinyalindeki değişiklik düşük frekans ve yüksek frekanslarda $\varphi = 0$ ve $\varphi = -\pi$ arasında değişir. Pratik olarak kilitlemeli yükselticinin (lock-in amplifier) referans sinyali $\pi/2$ kadar kaydırılır ve bu P_{qu}'nın $-P_{ip}$ ile ; P_{ip} ile P_{qu}'nın yer değiştirmesi anlamına gelir. Faz farkı formülünün yeni formu bu durumda aşağıdaki gibi olur.

$$\tan\varphi' = -\frac{\delta}{\Gamma_2} \tag{9}$$

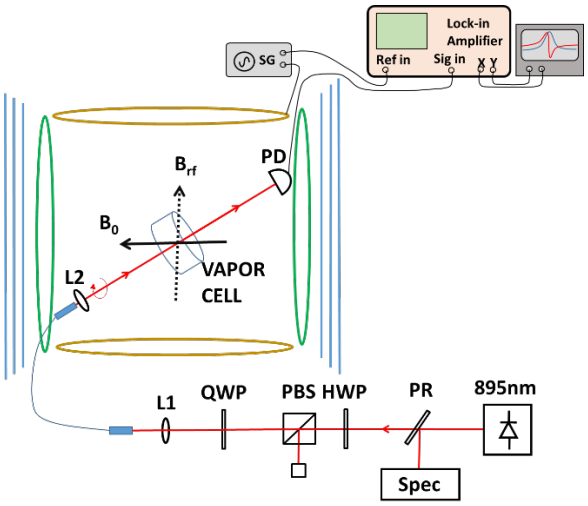
Faz sinyalinin genişliği $\Delta\omega_{HW}^{\varphi}$, Rabi frekansına $\Delta\omega_{HW}^{\varphi}$ bağlı değildir ve $\Delta\omega_{HW}$ değerinden küçüktür. İkisi arasındaki ilişki [10]:

$$\Delta\omega_{HW}^{\varphi} = \Gamma_2 < \Delta\omega_{HW} \tag{10}$$

olarak gösterilir.

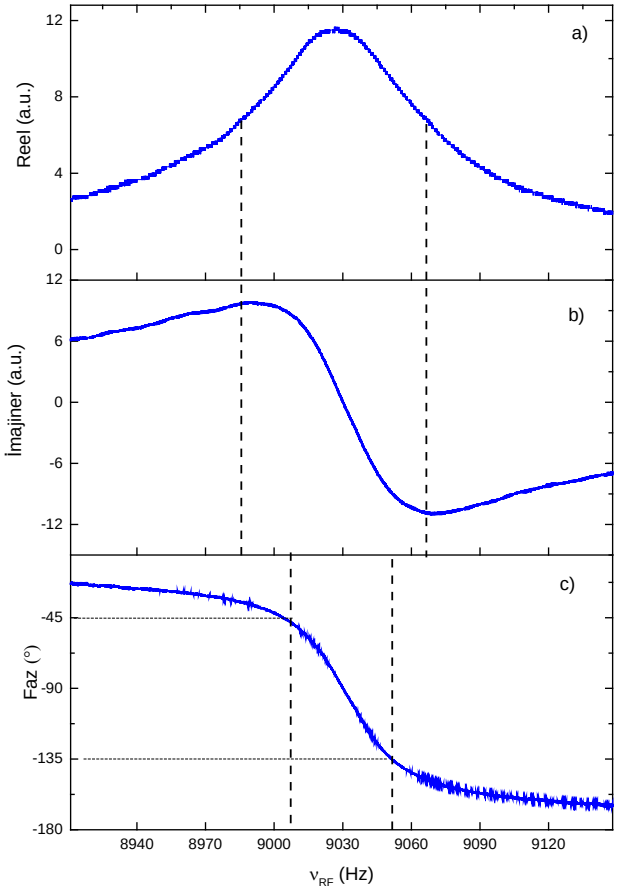
3. DENEYSEL METOTLAR

Bu çalışmada geliştirilen Cs tabanlı Mx tipi manyetometrenin deney düzeneği Şekil 1' de gösterilmektedir. Işık kaynağı DBR (Distributed Bragg Reflector) diyot lazer, Cs D_1 geçişi civarında çalıştırılmış ve ticari bir kilitleme sistemi (Spectroscopy Module D2-210, Vescent Photonics) ile F=4→F=3 geçişine kilitlenmiştir. Lazer gücü yarım dalga plakası (half-wave plate, HWP) ve polarize ışın bölücü (polarizing beam splitter, PBS) kullanılarak ayarlanmıştır. Lazerin çeyrek dalga plakası (quarter-wave plate, QWP) kullanılarak elde edilen σ^+ polarizasyonu, polarizasyon korunumlu fiber (NA=0.12, Uzunluk=2 m) kullanılarak düzeneğe iletilmiştir. Işık kaynağı test edilen DC manyetik alanına 45° açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Rf manyetik alan (B_1) Helmholtz bobin kullanılarak DC manyetik alana (B_0) dik olarak üretilmiş ve bu sayede atomik gaz hücresi manyetik rezonansa hazırlanmıştır. Atomik gaz hücresi 97 kPa neon (Ne) yardımcı gazı (buffer gas) ve Cs buharı içermektedir. Hücre içerisinden geçen ışık, aktif çapı 5 mm olan yükselticili bir Si fotodiyot ile ölçülmüştür. 2 cm uzunluğundaki silindirik atomik gaz hücresi üç eksenli Helmholtz bobin sisteminin merkezine yerleştirilmiş ve 3-katlı silindirik μ metal kalkan ile çevrelenmiştir. Bu kalkan sayesinde dünyanın manyetik alanı düşürülmekte ve ayrıca "Helmholtz Bobinleri" ile aktif kompanzasyon yapılmaktadır.



Şekil 1. Mx tipi manyetometre düzeneğinin genel şematik görünümü. Işın gücünün bir kısmı, kısmi bir yansıtıcı (partial reflector, PR) kullanarak ticari olan doyurulmuş soğurma spektroskopisi düzeneğine gönderilmiştir. Lazer gücü, yarım dalga plakası (half-wave plate, HWP) ve polarize ışın bölücü (polarizing beam splitter, PBS) kullanılarak kontrol edilmiştir. Doğrusal polarizasyona sahip lazer ışını çeyrek dalga plakası (quarter-wave plate, QWP) kullanılarak dairesel polarize hale getirilmiş ve 10 cm odak uzaklığına sahip ince kenarlı bir mercek (lens, L1) yardımıyla polarizasyon durumunu koruyan fiber içine odaklanmıştır. Fiber çıkışında dağılan ışınlar, odak uzaklığı 4.6 mm olan mercek (lens, L2) yardımıyla paralel hale getirilmiştir.

Atomik ortam, karanlık durum (dark state, F=4, M_F=4) seviyesine uyarıldıktan ve spin yönelimi sağlandıktan sonra nT mertebelerinde düşük bir rf manyetik alan uygulanmıştır. Sinyal üretecinin frekansı 500 Hz aralığında rezonans frekansı etrafında 20 saniyelik periyotlarla taranmıştır. Ayrıca sinyal üreteci kilitlemeli yükselticiye (Stanford Research, SR850) referans sinyali sağlamıştır. Fotodetektör sinyali yine kilitlemeli yükselticiye iletilmiştir. B_{rf} modülasyon frekansı "Larmor frekansı" yakınlarındayken X çıkışı imajiner (quadrature), Y çıkışı ise reel (in-phase) sinyalleri vermektedir. Şekil 2, bu sinyaller ve oranlarından elde edilen salınım fazını göstermektedir. Faz sinyalinin yarım bant genişliği rf bobin voltajından bağımsızdır ve Γ_2 sönümlenme zamanına karşılık gelmektedir. Şekil 2' deki grafikte de görüldüğü gibi faz sinyalinin yarı genişliği 18 Hz olarak hesaplanmıştır.



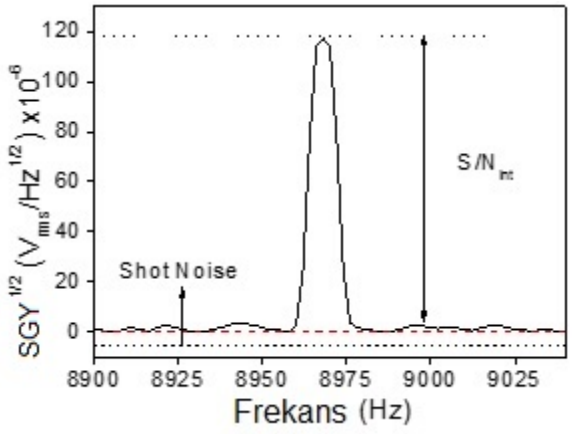
Şekil 2. Ölçülen manyetik rezonans sinyalleri; a) imajiner sinyal b) reel sinyal c) faz sinyali. Faz sinyalinin yarı genişliği 18 Hz.

3.1. Manyetometre Performansının Optimizasyonu

Optimum manyetometre performansı, rezonans sinyalinin çizgi genişliği ve sinyal/gürültü oranı ile belirlenmiştir. Gürültü ve ölçülen manyetik alan hassasiyeti δB arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle gösterilmektedir:

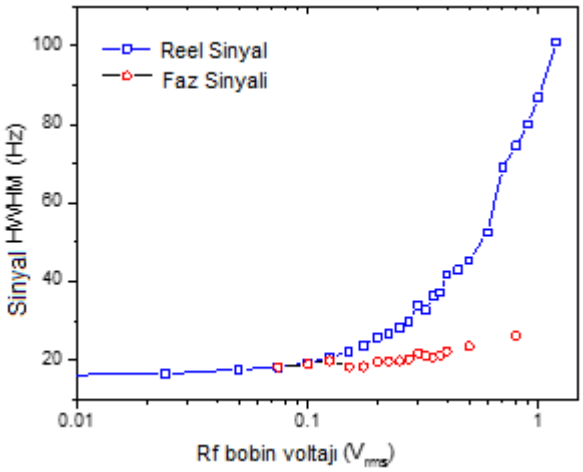
$$\delta B = \frac{1}{\gamma}\frac{\Delta\vartheta_{HWHM}}{S/N_{int}} \qquad (11).$$

Burada, γ jiromanyetik oran olup ^{133}Cs için 3.5 Hz/nT' dır. Faz-kilitlemeli modda çalışırken, $\Delta\nu_{\mathrm{HWHM}}$ rezonans faz sinyalinin yarı maksimum yarı genişliği, S/N_{int} ise fotodetektör tarafından üretilen fotoakıma ait sinyal/gürültü oranıdır. Sinyalin yarı maksimum yarı genişliği (10) ile uyumludur ve tarama modunda elde edilir. Şekil 3.' te gösterilen temel gürültü seviyesi (intrinsic noise, N_{int}) shot gürültü seviyesinden %50 daha fazladır. Shot gürültü (ΔI), $\Delta\mathrm{I} = \sqrt{2e\mathrm{I}\mathrm{f}_{\mathrm{bw}}}$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Burada I DC fotoakım olup, bantgenişliği $\mathrm{f}_{\mathrm{bw}} = 1$ Hz' dir [17]. İlk olarak kapalı döngü modundayken rf manyetik alanın frekansı Larmor frekansında sabitlenmiştir. Ardından fotodetektör çıkışındaki sinyal, 1 Hz çözünürlüğünde spektrum sinyal çözümleyici (Keysight 35670A) ile ölçülmüştür. Rezonansın hızlı fourier dönüşümü (Fast Fourier transform, FFT) faz-kilitlemeli modda sinyal çözümleyicisi kullanılarak yapılmıştır. 0.4 μW lazer gücü ve 0.4 Vrms rf bobin voltajı için S/N_{int} değeri 22800 olarak hesaplanmıştır. Buna göre temel hassasiyet ise 228 fT/√ Hz' dir.



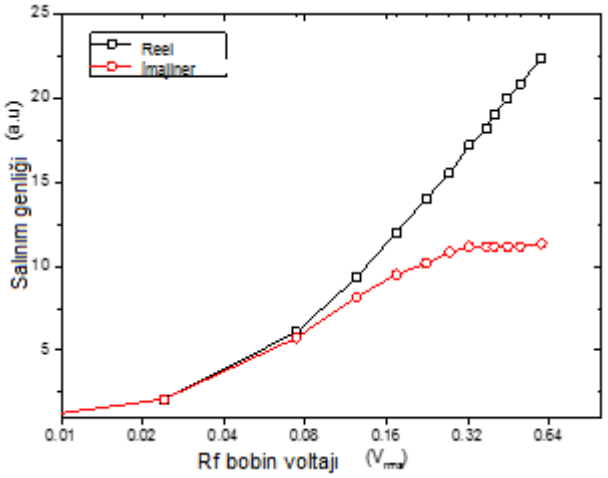
Şekil 3. Spektral güç yoğunluğu (SGY). Spektrum, 1 Hz çözünürlükteki spektrum çözümleyici kullanılarak elde edilmiştir. S/N oranı buradan 22800 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4. reel (in-phase) ve faz sinyallerine ait manyetik rezonans çizgi genişliklerinin, Brf bobin genliğine bağlı olarak değişimini göstermektedir. Brf sinyalinin genliği artırıldığında, reel sinyalin çizgi genişliği üstel olarak artmaktadır. Faz sinyalinin bu değişimden etkilenmediği, sabit kaldığı görülmektedir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen bu ölçümlerde, reel (in-phase) ve faz sinyalleri (9) ve (10) eşitliklerine uyumlu hale getirilmiştir.



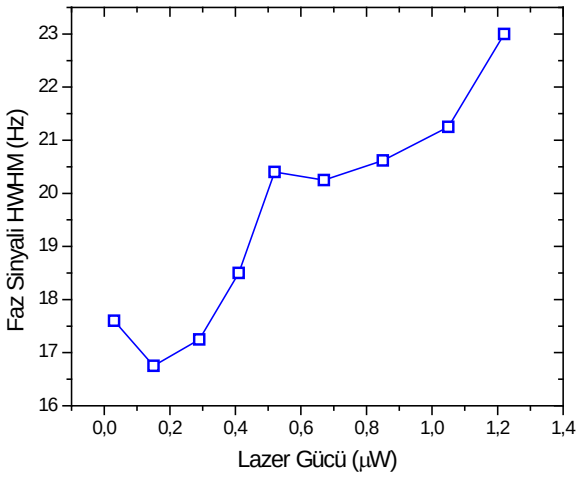
Şekil 4. Rf voltaj genliğinin bir fonksiyonu olarak reel sinyal (in-phase) ve faz sinyalinin manyetik rezonans genişliği. Faz genişliği artan Brf voltajı ile sabit kalmaktadır. Reel sinyalin genişliği Brf voltajının artmasıyla üstel olarak artmaktadır.

Şekil 5' te gerçek sinyal ve imajiner sinyallerin genliklerindeki değişim Brf voltaj genliğinin bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Rezonans frekansındaki fotodetektörün sinyal genliğine eşit olan değerler, kilitlemeli yükselticiden elde edilmiştir. Fotodetektör Bo' ın yanı sıra Brf' den indüklenen manyetik alanı da toplar ve bu durum fazda bir kaymaya sebep olur. Brf sinyalinin genliğini optimize etmek için rezonans sinyalinin büyüklüğü maksimum olmalıdır. Brf sinyalinin genliği 0.32 Vrms değerinde en yüksektir ve Şekil 5' te görüldüğü gibi rezonans sinyalinin genliği bu değerde maksimuma ulaşmaktadır.



Şekil 5. Rf genliğinin (Brf) bir fonksiyonu olarak reel ve imajiner sinyallerinin deneysel değişimleri.

Şekil 6' da pompa lazer gücünün bir fonksiyonu olarak faz sinyalinin yarım çizgi genişliğindeki değişimleri görülmektedir. Artan lazer gücü, faz sinyalinin çizgi genişliğinin artmasına sebep olur. Ancak belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra rezonans sinyali bozulur. Ayrıca, artan lazer gücü S/N oranını da artırmaktadır. Bu sebeple femtotesla seviyesinde hassasiyete ulaşmak için pompa lazerinin gücü 0.15 µW olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Lazer gücünün bir fonksiyonu olarak değişen manyetik rezonans sinyalinin yarı doruk yarı genişliği. Lazer gücü atomik gaz hücresine girmeden ölçülmüştür.

SONUÇ

Bu çalışmada biyomanyetik bir sinyalin tespiti için Mx tipi atomik bir manyetometrenin karakterizasyon parametreleri incelenmiştir. Shot-gürültü-sınırlı çalışma için 18 Hz manyetik rezonans genişliğine karşılık gelen yaklaşık 228 fT/√Hz hassasiyet değeri deneysel olarak belirlenmiştir. Daha yüksek hassasiyet elde etmek için pompa lazer gücü 0.15 µW ve Brf voltajı 0.32 Vrms değerine ayarlanmıştır. Lazer gücünün optimum değeri için 16 Hz yarı genişlikte 210 fT/√Hz hassasiyet elde edilmiştir. Bu sonuçlar Mx manyetometresinin kardiyomanyetik sinyallerin ölçülmesi için yararlı bir araç olabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] S. J. Williamson and L. Kaufman, "Biomagnetism," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials,* vol. 22, pp. 129-201, 1981.

[2] M. Acuña, "Fluxgate magnetometers for outer planets exploration," *IEEE Transactions on Magnetics,* vol. 10, pp. 519-523, 1974.

[3] D. Budker and D. F. J. Kimball, “Optical Magnetometry”, Cambridge University Press, 2013.

[4] W. Griffith, M. Swallows, T. Loftus, M. Romalis, B. Heckel, and E. Fortson, "Improved limit on the permanent electric dipole moment of Hg ^{199}," Physical review letters, vol. 102, p. 101601, 2009.

[5] G. Hart, "Biomagnetometry: imaging the heart's magnetic field," *British heart journal,* vol. 65, p. 61, 1991.

[6] E. Boto, N. Holmes, J. Leggett, G. Roberts, V. Shah, S. S. Meyer*, et al.*, "Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system," *Nature,* vol. 555, p. 657, 2018.

[7] G. M. Baule, "Detection of the magnetic field of the heart," *American Heart Journal,* vol. 66, pp. 95- 96, 1963.

[8] D. Cohen, E. A. Edelsack, and J. E. Zimmerman, "Magnetocardiograms taken inside a shielded room with a superconducting point-contact magnetometer," *Applied Physics Letters,* vol. 16, pp. 278-280, 1970.

[9] D. Cohen, "Magnetoencephalography: evidence of magnetic fields produced by alpha-rhythm currents," *Science,* vol. 161, pp. 784-786, 1968.

[10] I. Tavarozzi, S. Comani, C. Del Gratta, G. L. Romani, S. Di Luzio, D. Brisinda*, et al.*, "Magnetocardiography: current status and perspectives. Part I: Physical principles and instrumentation," *Italian Heart Journal,* vol. 3, pp. 75-85, 2002.

[11] G. Bison, R. Wynands, and A. Weis, "Optimization and performance of an optical cardiomagnetometer," *JOSA B*, vol. 22, pp. 77-87, 2005.

[12] H. Dang, A. Maloof, and M. Romalis, "Ultrahigh sensitivity magnetic field and magnetization measurements with an atomic magnetometer," *Applied Physics Letters,* vol. 97, p. 151110, 2010.

[13] W. Happer, "Optical pumping," *Reviews of Modern Physics,* vol. 44, p. 169, 1972.

[14] M. Livanov, A. Kozlov, S. Sinelnikova, J. A. Kholodov, V. Markin, A. Gorbach*, et al.*, "Record of the human magnetocardiogram by the quantum gradiometer with optical pumping," *Adv. Cardiol,* vol. 28, pp. 78-80, 1981.

[15] F. Bloch, "Nuclear induction," *Physical Review,* vol. 70, p. 460, 1946.

[16] S. Kanorsky, S. Lang, S. Lücke, S. Ross, T. Hänsch, and A. Weis, "Millihertz magnetic resonance spectroscopy of Cs atoms in body-centered-cubic He ^{4}," *Physical Review A*, vol. 54, p. R1010, 1996.

[17] S. Groeger, G. Bison, J.-L. Schenker, R. Wynands, and A. Weis, "A high-sensitivity laser-pumped Mx magnetometer," *The European Physical Journal D-Atomic, Molecular, Optical and Plasma Physics,* vol. 38, pp. 239-247, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Birgül KAÇAR

2012 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 2015 yılında Malzeme Bilimi ve Mühendisliği programında yüksek lisansını tamamlamıştır. 2012-2017 yıllarında özel sektörde test teknolojileri, yapay görme ve veri toplama alanlarında ar-ge mühendisi olarak çalışmıştır. 2017 yılından beri TÜBİTAK UME Atomik Sensörler Laboratuvarı’nda araştırmacı olarak çalışmaktadır.

İsa ARAZ

1969 yılı Kırıkkale doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Elektronik ve Haberleşme Bölümünde Yüksek Lisans, 2002 yılında ise doktora programlarını tamamlamıştır. Araştırma hayatına 1994 yılında TÜBITAK UME' de He-Ne lazer üzerine çalışarak başlamıştır. 1997 yılında TÜBITAK BİLGEM' e geçerek çalışmalarına EMC alanında devam etmiştir. 2001 yılında EMC Laboratuvarı'nın kurulumunda öncü rol almıştır ve 2008 yılında Katot ve Mikrodalga Vakum Tüp Araştırma Laboratuvarı'nı kurarak yüksek güçlü mikro dalga kaynaklar üzerine çalışmıştır. Ayrıca "Radar ve Vakum Tüp Teknolojileri Program Direktörü" olarak 2014' e kadar TUBITAK BİLGEM'de görev almıştır. 2014 yılında tekrar TÜBİTAK UME' ye geçerek Atomik Sensörler Laboratuvarı'nı kurmuştur. Ar-Ge faaliyetlerini laboratuvar sorumlusu olarak, atomik manyetometre ve atomik sensörler üzerine sürdürmektedir.

İsmail YORULMAZ

2010 yılında Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümünü ve 2017'de Koç Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendislik Doktora Programını tamamlamıştır. TÜBİTAK-UME'de Atomik Sensörler Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Kızılötesi lazerler, diyot pompalı katıhal lazerler, atımlı katıhal lazerler ve sezyum tabanlı atomik manyetometreler alanlarında çalışmaktadır. SPIE ve OSA'ya üyedir.

Adil MERAKİ

1984 yılı Ankara doğumludur. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 2016 Yılında ABD Texas A&M Üniversitesi Fizik Bölümünden doktorasını almıştır. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi MYO Optisyenlik Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak devam etmektedir ve yarı zamanlı olarak Atomik Sensörler Laboratuvarı'nda çalışmaktadır.

Bakmurat KUBANALİEV

1995 yılı Kırgızistan, Talas doğumludur. 2017 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2017-2018 Yılları arasında ERARGE' de yazılım ve donanım mühendisi olarak görev yapmıştır. 2018 yılından beri TUBİTAK UME, Atomik Sensörler Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaktadır ve İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

LAZER DALGABOYU STANDARDI ATOMİK GAZ SICAKLIK ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Yücel DENİZ
Adem GEDİK
Ersoy ŞAHİN
Nazmi EKREN
Ahmet Fevzi BABA

ÖZET

Bu çalışmada; TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde gerçeklenmiş, uzunluk ve boyutsal ölçümlerinde kullanılan λ = 780 nm dalga boylu taşınabilir ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb küvet sıcaklık kontrol devre tasarımının nasıl gerçeklendiği sunulmuştur. ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb küvet sıcaklık kararlık değeri 16 saat süresince ölçülmüş ve tepeden tepeye 1 mK değiştiği gözlemlenmiştir. Yapılan frekans kararlığı ölçümleri ile ulusal dalga boyu standartları frekans kararlığı 1s ile 16 saat zaman aralığında $5.5 \times 10^{-12}\tau^{-1/2}$ olarak belirlenmiştir [1].

Anahtar Kelimeler: Dalga boyu standardı, frekans kararlığı, ^{87}Rb küvet sıcaklığı.

ABSTRACT

In this study, how to ^{87}Rb cell temperature control circuit design of the λ = 780 nm portable national wavelength standards used in length and dimensional measurements was realized at TUBITAK National Metrology Institute, is presented. The temparature stability of ^{87}Rb cell temperature control of national wavelength standards were measured during to 16 hours and it were observed 1 mK peak to peak. With frequency stabilization measurments the frequency stabilization value of national wavelength standards was defined $5.5 \times 10^{-12}\tau^{-1/2}$ integration times 1s to 16 hours.

Key Words: Wavelength standard**,** frequency. stabilization, temperature of ^{87}Rb cell

1. GİRİŞ

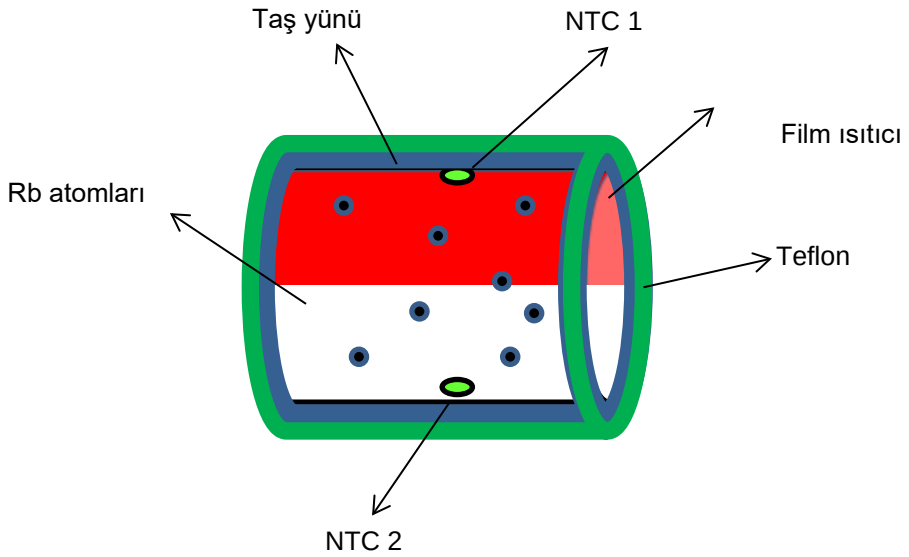
Uzunluk ve boyutsal ölçümleri frekansı kararlı hale getirilmiş, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun (Bureau International des Poids et Mesures ,BIPM) tanımı doğrultusunda gerçeklenmiş dalga boyu standartları ile interferometrik yöntem kullanılarak gerçeklenmektedir [2]. Serbest halde çalışan bir lazer ile hassas uzunluk ve boyutsal ölçümlerini gerçeklemek mümkün değildir. Lazerlerin frekansı çeşitli yöntemler kullanılarak kararlı hale getirilmelidir [3]. TÜBİTAK UME'de kurulmuş 780 nm dalga boyunda çalışan taşınabilir ulusal dalga boyu standardı; ^{87}Rb atomlarının d/f enerji geçişine kilitlenerek frekansı kararlı hale getirilmiştir. Lazer frekans kararlığı oluşumunu gerçeklemek için, lazer ışınımı sıcaklık kontrollü cam küvet içerisinde yer alan ^{87}Rb atomları ile etkileşime sokulmuş ve etkileşim sonucunda absorpsiyon sinyali Doppler – altı doyum soğurum spektroskopi [4] yöntemi kullanılarak fotodetektör üzerinden algılanmıştır. Algılanan sinyal (hata sinyali) dalga boyu standardının frekansını kararlı hale getirmekte kullanılmıştır.

Lazerin frekansını kararlı hale getirmekte kullanılan hata sinyalinin dış ortamdaki sıcaklık değişiminden etkilenmesi, lazer frekans kararlığını bozucu yönde etki gösterir. Örneğin dış ortamdaki sürekli artan veya azalan sıcaklık değişimi, hata sinyalinde de değişimine sebep olur ve bu durum lazer frekansında aynı yönde sürüklenmesine (temperature drift) neden olmaktadır. Yine dış ortamdaki sıcaklık dalgalanmaları, hata sinyalinin de dalgalanmasına dolayısıyla da lazer frekansında dalgalanmalara (temperature fluctation) neden olmaktadır. Bu her iki etkiden kurtulmak ancak ^{87}Rb atomlarının sıcaklık kontrolünün yapılması ile mümkün olur.

TÜBİTAK UME'de kurulmuş olan iki adet ulusal dalga boyu standardının sıcaklık kontrolü Oransal-integral - türev (Proportional Integral Derivative, PID) kontrol döngü yöntemi kullanılarak gerçeklenmiştir. Bu yöntem ile BIPM'in tanımı doğrultusunda dalga boyu standartlarının gerçeklemek için ^{87}Rb küvet sıcaklıkları: 23.3 °C'de kararlı hale getirilmiştir.

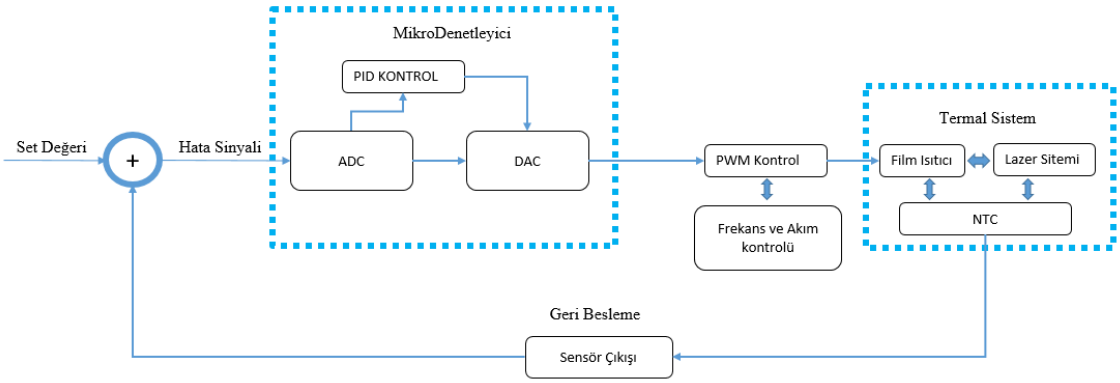
2. ATOMİK GAZ SICAKLIK ELEKTRONİK KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

Silindirik geometriye sahip cam hücre içerisinde yer alan ^{87}Rb atomlarının sıcaklık kontrolünü gerçeklemek için, cam hücrenin yüzeyinin yarısını kaplayacak biçimde ısıtıcı film ile kaplanmıştır. Cam hücrenin boyunun tam ortasına gelecek şekilde film ısıtıcının üzerine bir adet, bir diğeri de cam hücrenin boş kalan kısmına gelecek ikinci bir termistör (Negative Temperature Coefficient, NTC) yapıştırılmıştır. Film ısıtıcının üzerinde olan NTC 1 ile istenilen sıcaklık ayar değeri belirlenirken, cam hücrenin boş yüzeyinde yerleştirilmiş NTC 2 ile ise PID ayar değerleri ayarlanarak sıcaklık kararlığını sağlamak ve ölçmek için kullanılmıştır. Cam hücrenin film ısıtıcı ile kaplanmış yüzeyi 1 cm kalınlığında sıcaklık izolasyon malzemesi (taş yünü) ile kaplanmıştır. Bu yapıya sahip cam hücre et kalınlığı 1 cm olan, silindirik geometriye sahip teflon içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 1).



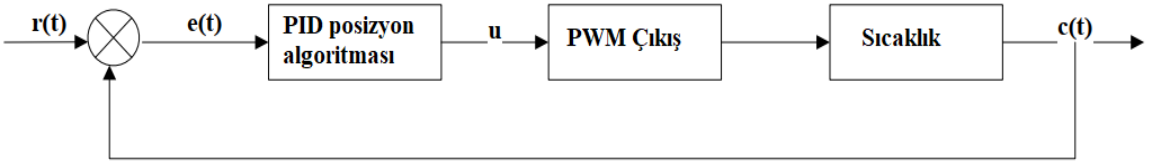
Şekil 1. ^{87}Rb Cam Hücre Sıcaklık İzolasyon Fiziksel Yapısı

Ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb Cam Hücre sıcak kontrol devre blok şeması şekil 2'de yer almaktadır. Sıcaklık kontrol çalışma prensibi; sıcaklık verisinin gerçek zamanlı olarak NTC 2'den ölçülmesi, mikrodenetleyici ile ADC (Analog to Digital Converter) örneklemesi, sonrasında PID algoritması ve Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM) kontrol devresi katlarından geçerek, film ısıtıcıya iletilecek akımın gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi olarak ifade edilebilir.



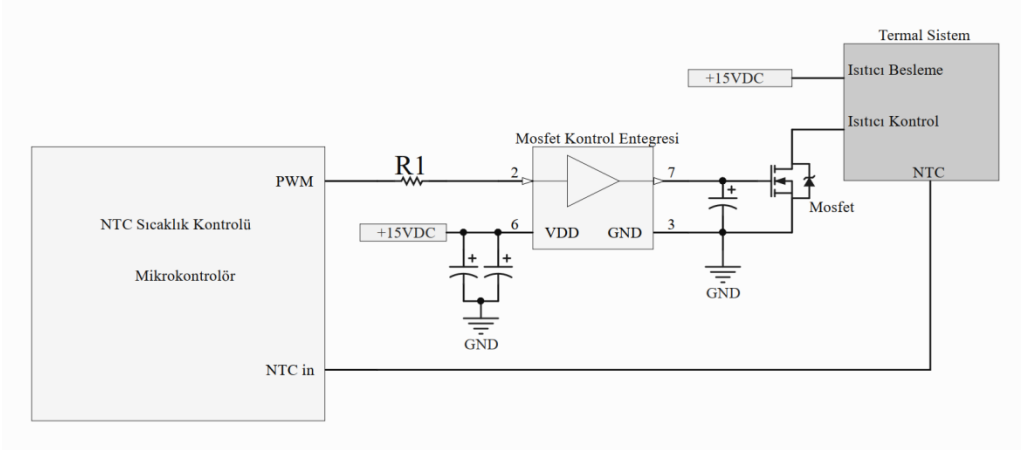
Şekil 2. Termal Sistem Genel Blok Diyagramı

Blok diyagramda yer alan mikro denetleyici geliştirme kartı ile sistem üzerinden sıcaklık sensörü (NTC 2) ile sistemin mevcut sıcaklık değeri okunmaktadır. Bu okunan değer mikrodenetleyici üzerinde sayısal olarak gerçeklenmiş PID denetleyicisi algoritması ile gerekli hesaplamalar yapılarak sistemin ihtiyacı olan Darbe Genişlik Modülasyonu hassas bir şekilde üretilmektedir. Üretilen bu kare dalga ile sistemin ısıtıcısının sürekli olarak kontrolünü sağlamaktadır. Bu işlemler sonucunda sistemin sıcaklığının istenilen değerde ve kararlı kalması sağlamaktadır (Şekil 3). Sıcaklık kontrol PID örnekleme hızı 5 Hz çalışma frekansına sahiptir, katsayıları K_p = 25.0 ve K_i = 2.0 olarak belirlenmiştir. Sistemimizde K_d kullanılmamıştır.



Şekil 3. PID Kontrol Ünitesi

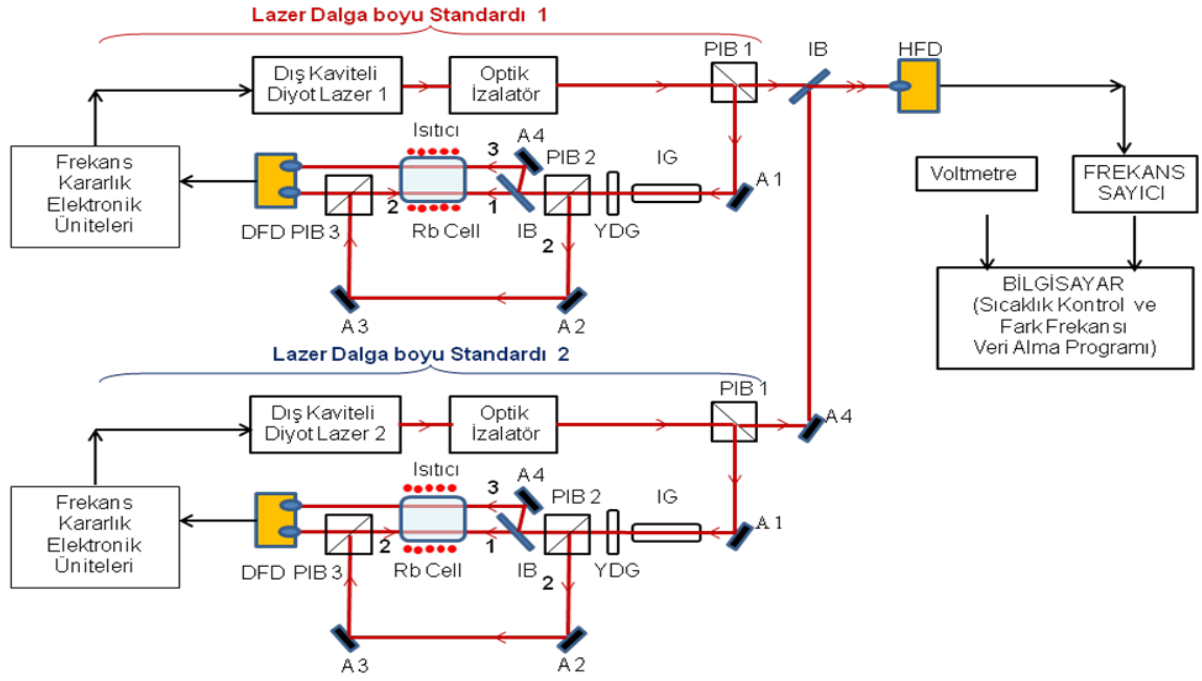
Blok şemada yer alan PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) kontrol devresinin amacı microdenetleyici DAC çıkışından gelen sinyali devre üzerindeki mosfet sürücü entegresi üzerinden mosfetin gate ayağına ileterek mosfetin bu kontrol sinyali ile ısıtıcı sisteminin güç beslemesinin sürekli bir şekilde kontrol edilmesinin sağlanmasıdır (Şekil 4).



Şekil 4. PWM Kontrol Devresi Genel Şematiği

3. ^{87}Rb ATOMİK GAZ SICAKLIK KONTROL ÖLÇÜM SONUÇLARI

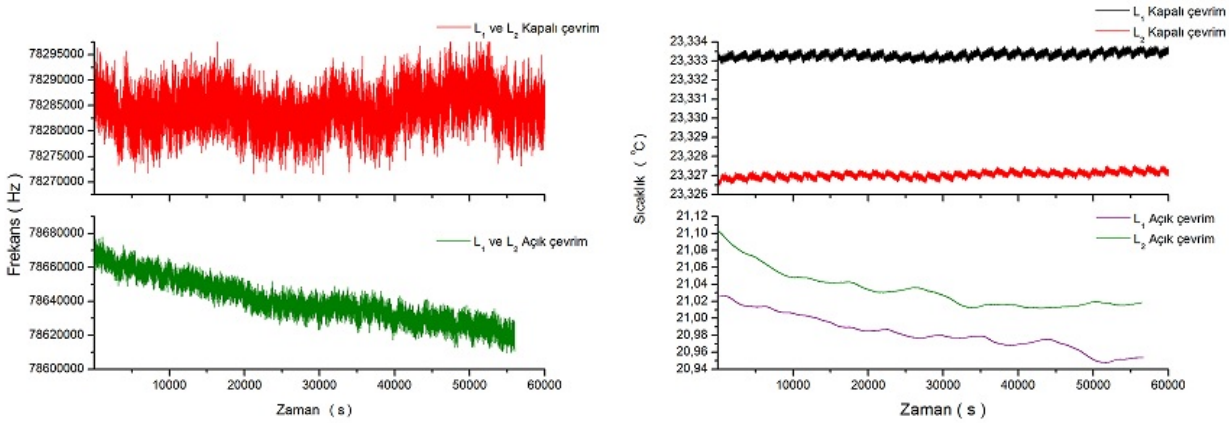
Lazer dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrol ünitelerinin sıcak kontrol kararlığı ve dalga boyu standartlarının frekans kararlığı üzerindeki etkilerinin ölçülmesi ve belirlenmesi amacı ile şekil 5'de yer alan ölçüm düzeneği kurulmuştur. Lazer dalga boyu standardı 1 sıcaklık kontrollü cam hücre içerisinde yer alan ^{87}Rb atomlarının d/f enerji geçişine kilitlenerek karalı hale getirilmiş iken, lazer dalga boyu standardı 2 f enerji geçine kararlı hale getirilmiştir. Frekansları kararlı hale getirilmiş lazer ışınım demetleri hızlı fotodetektör (HFD) üzerinde üst üste bindirilerek lazerler arasındaki fark frekansı, bilgisayar kontrollü sayıcı ile kayıt edilmiştir. Frekansı kararlı hale getirilmiş dalga boyu standartlarının frekans değişiminin; ^{87}Rb atomlarının sıcaklık değişimi ile etkisinin belirlenmesi amacıyla standartların ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık değişimleri de eş zamanlı olarak bilgisayar kontrollü voltmetre ile kayıt edilmiştir.



PIB: Polorize Işın Bölücü, IG:Işın Genişletici, YDG:Yarım Dalga Geciktirici, DFD: Diferansiyel Fotodedektör, IB: Işın bölücü, HFD: Hızlı Fotodedektör, A:Ayna

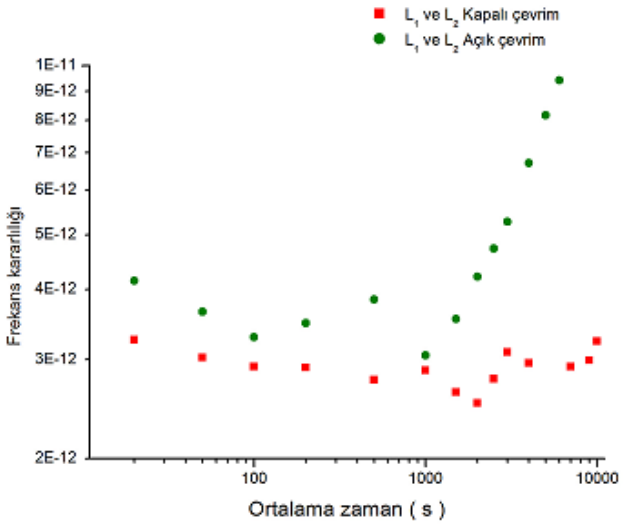
Şekil 5. Sıcak ve Frekans Kararlığı Ölçüm Düzeneği

Şekil 6'da dalga boyu standartlarının fark frekansı değişiminin, ^{87}Rb atomlarının sıcaklık kontrollerinin var olduğu (kapalı çevrim) ve var olmadığı (açık çevrim) durumdaki zaman ile değişimini gösterilmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere sıcaklık kontrollerinin var olduğu durumda dalga boyu standartları arasındaki fark frekansında her hangi bir kayma gözlenmez iken, var olmadığı durumda ise ^{87}Rb atomik gazının ≈ 100 mK sıcaklık değişiminin fark frekansında ≈ 60 kHz'lik bir frekans kaymasına neden olduğu görülmektedir. Grafikten ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrolcülerinin kapalı çevrim durumunda tepeden tepeye sıcak değişimi ≈1 mK değerindedir.



Şekil 6. Frekans - Sıcak Kararlığı Değişimi

Ulusal dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrolcülerinin frekans kararlığı üzerindeki etkisini gösteren grafik şekil 7'de görülmektedir. Şekil 7' deki grafik 60 ks (16 saat) süresince standartlar arasındaki fark frekansı kayıt edilmiş verinin Allan varyans istatistiği [5] kullanılarak hesaplanmış, standartların frekans kararlığı değerlerini ifade eden grafiktir. Dalga boyu standartlarının ^{87}Rb atomik gaz sıcaklık kontrolcülerinin var olduğu durumda frekans kararlığı uzun süre değişmezken, var olmadığı durumda 1000 s ortalama zaman sonra değişmeye (bozulmaya) başlamaktadır. Sıcaklık kontrolcülerinin çalıştığı durumda frekans kararlığı ölçümleri ile ulusal dalga boyu standartları frekans kararlığı 1s ile 16 saat zaman aralığında 5.5 x $10^{-12}\tau^{-1/2}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Dalga Boyu Standartlarının Frekans Kararlılığı

SONUÇ

Bu çalışmada; TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde BIPM'in tanımı doğrultusunda gerçeklenmiş ulusal dalga boyu standartlarının, ^{87}Rb küvet sıcaklık kontrol devre tasarımının nasıl gerçeklendiği, elde edilmiş sıcaklık kararlığı ölçüm sonuçları ve sıcaklık kararlığının standartlarının frekansına nasıl etki ettiği anlatılmıştır. Ölçümler sonucunda sıcaklık kontrolcülerinin tepeden tepeye sıcak değişimi ≈1 mK olduğu gözlemlenmiştir. Bu denli iyi sıcaklık kontrolcüler ile ulusal dalga boyu standartlarının ulaştığı frekans karalık değeri 5.5 x $10^{-12}\tau^{-1/2}$ olarak ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] ŞAHİN E, " 780 nm Lazer Dalgaboyu Standardının Mutlak Frekans Parametleri ve Frekans Kararlılığı Ölçümleri", Ölçümbilim Sempozyumu ve Sergisi / 20-22 Kasım 2019 (Bildiri olarak kabul edildi)
[2] CIPM Recommendation 2 (CI-2015): Updates to the list of standard frequencies http://www.bipm.org/jsp/en/CIPMRecommendations.jsp
[3] Laser frequency Stabilization Techniques, http://budker.berkeley.edu/Physics250/Physics250_Las_Stab.PDF
[4] Demtröder, W.,. Laser Spectroscopy (Second Enlarged Edition). Berlin, Springer (1996)
[5] RILEY,W.J., " Handbook of Frequency Stability Analysis", NIST Special Publication 1065 http://www.crya.unam.mx/radiolab/recursos/Allan/NIST-1065.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Yücel DENİZ

1988 yılı Kocaeli doğumludur. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'nde tamamladı. 2006 yılında İzmit Mimar Sinan Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nü 2011 yılında bitirdi. 2016 yılında Marmara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2017 yılları arasında M&T Displays firmasında ARGE Mühendisi olarak çalıştı. 2017 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Elektronik devre tasarımı üzerine çalışmaktadır.

Adem GEDİK

1971 yılında Suadiye'de doğdu. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden lisans, 1998 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1995 – 2000 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi, 2000 yılından beri ise TÜBİTAK UME Zaman Frekans Laboratuvarında Araştırmacı olarak çalışmaktadır. Zaman dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi, faz gürültüsü ölçümleri ile dopler tabanlı araç hız radar sistemleri konularında çalışmaktadır.

Ersoy ŞAHİN

1975 yılında Ankara'da doğdu. Ankara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1998, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nde sırası ile 2005 ve 2014 yıllarında tamamlamıştır.1999 yılından beri TÜBİTAK UME Zaman - Frekans & Dalga boyu Laboratuarı'nda Başuzman Araştırmacı ünvanıyla ile çalışmaktadır. Birincil ve ikincil seviye dalga boyu standartlarının kurulması, uluslararası izlenebilinirliğin sağlanması, ikinci seviye dalga boyu standartlarının kalibrasyon ve test hizmetlerini verilmesi, atomik saatler ve optik saatlerin kurulması çalışmalarında görev almaktadır. Uzmanlık alanı lazer atom etkileşimi, lazerlerin metrolojik uygulamaları, atomik saatler ve optik saatlerdir.

Nazmi EKREN

1966 yılında İstanbul da doğdu. 1987 yılında Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik mühendisliği bölümünü bitirdi. Marmara üniversitesinde Y.lisans, İstanbul Üniversitesin de doktorasını yaptı. Kısa bir süre özel sektör de çalıştıktan sonra, M.Ü Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi bölümünde Arş. Görevlisi oldu. 2011 yılında beri, M.Ü. Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümünde Devreler ve Sistemler A.B.D'da Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaktadır.

Ahmet Fevzi BABA

1986 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar bölümünden mezun oldu. Marmara Üniversitesinde Y.lisans ve Doktora yaptı. M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesinde, Profesör oldu. 2011 yılından itibaren M.Ü. teknoloji Fakültesinde, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölüm başkanlığı yapmaktadır.

DÜNYADA İLERİ SEVİYE AÇI METROLOJİSİ VE NANORADYAN AÇI ÖLÇÜM TALEPLERİ İÇİN MEVCUT SINIRLARIN ZORLANMASI

Tanfer YANDAYAN

ÖZET

İleri seviye açı metrolojisi, otomotiv, savunma, uzay, havacılık, endüstriyel robot ve otomasyon sektörlerindeki uygulamalarının yanında, bilimsel çalışmalarda kullanılan hassas optik yüzeylerin ölçümü ve imalatı sırasında geniş bir kullanım alanına sahip metroloji alanıdır. Açı enkoderleri, açı interferometreleri, küçük açı üreteçleri ve otokolimatör gibi hassas açı ölçüm cihazları, hassas imalat ve hassas açı metrolojisi uygulamalarının olduğu birçok bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır. Nanoradyan altı hassasiyetlerde izlenebilir açı ölçümlerinde bu cihazların kullanımı son derece zor olup, şimdiye kadar ihtiyaçlara cevap verebilecek düzeyde araştırılmamıştır. Tüm bunlara ilave olarak, serbest elektron lazer ve sinkrotron ışınımı kullanan hızlandırıcı merkezlerinde, yüksek enerji seviyesindeki X ışınlarının görüntüleme amaçlı yönlendirilmesinde kullanılan hassas optik yüzeylerin ölçüm uygulamaları için en iyi sonuçları veren, ileri seviye açı ölçüm metrolojisine ihtiyaç vardır. Avrupa Ulusal Metroloji Enstitüleri tüm bu ulaşılması zor talepleri dikkate alarak, 16 farklı ülkenin yer aldığı Açı Metrolojisi (SIB58 Angles, Angle Metrology) Avrupa Birliği (AB) projesini başlatmıştır. TÜBİTAK UME tarafından yürütücülüğü yapılan bu proje ile, Eylül 2013-2016 tarihleri arasında SI açı birimi 'radyan' nın en zor uygulamalarda dahi izlenebilir bir şekilde dağıtımını sağlamaya yönelik üst düzey bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, hassas açı ölçümleri için izlenebilirlik önemli derecede iyileştirilmiştir ve ileri seviye bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda ihtiyaç duyulan 0.01 arc saniye (50 nrad) altı genişletilmiş belirsizliklerde açı ölçümlerine ulaşılmıştır. Proje ile, şimdiye kadar talep edilen fakat ulaşılamayan açısal ölçüm hassasiyetindeki çalışmaları yapabilecek bir altyapı oluşturulmuş, yeni açı ölçüm metotları ve cihazları geliştirilerek açı metrolojisinde kilometre taşı olarak kabul edilen uygulamalara ulaşılmıştır. Proje sırasında geliştirilen cihazların bir kısmı ticari olarak piyasaya sürülmüş ve kritik çalışmalarda kullanıma alınmıştır. Makalede, proje çıktılarının özeti verilerek ileri seviye hassas açı metrolojisi konularındaki son çalışmalar hakkında bilgilendirme yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Açı metrolojisi, otokolimatörler, enkoderler, açı interferometreleri, açı üreteçleri, nanoradyan, X ışını optikleri, profil ölçümleri.

ABSTRACT

Advanced angle metrology is used in industrial applications such as the manufacture of cars and aeroplanes, industrial robots, space missions, and complex scientific applications including the precise measurement of optical surfaces. Precise angle measuring devices – such as angle encoders, angle interferometers, small angle generators and autocollimators – are extensively used in various applications where high precision is demanded. Meeting the demands to use these devices for accurate traceable angle measurement generation at sub-nrad sensitivity is very challenging and has previously not been addressed. In addition, there is a need for advanced angle metrology for highly curved optical surfaces. These are used in synchrotrons (SR) and Free Electron Laser (FEL) metrology laboratories worldwide. European National Metrology Institutes (NMIs) have taken into account these challenging demands and conducted an angle metrology project called SIB58 Angles with participation of 16 worldwide partners. The project, coordinated by TUBITAK UME, run between Sept. 2013-2016 to improve the dissemination of the SI angle unit ‘radian’ for the most challenging

applications. It has improved traceability for precise angle measurements and achieved the low less than 50 nrad uncertainty demanded for advanced scientific and industrial applications. The project developed novel methods, instruments, and guides, and has provided the foundations for greater accuracy in angle metrology to meet end user requirements for greater precision (never done before) and finally achieved milestones in angle metrology. Some of the new devices are already commercially available and have been started to be used for critical needs. This paper gives highlights of the project's outputs and inform the community about recent developments in high precision advanced angle metrology.

Key Words: Angle metrology, autocollimators, encoders, angle interferometers, angle generators, nanoradian, X-ray optics, profilometry.

1. GİRİŞ

Otomotiv, savunma, uzay, havacılık, endüstriyel robot ve otomasyon sektörlerindeki uygulamalarının yanında, bilimsel çalışmalarda geniş bir kullanım alanına sahip olan ileri seviye açı metrolojisinde aşağıda belirtilen hassas temel açı ölçüm cihazlarından faydalanılmaktadır [1].

- Otokolimatörler
- Hassas açı enkoderleri
- Küçük açı üreteçleri

Otokolimatörler, yansıyan yüzeylerin açısal değişimlerini temassız olarak ölçen optik ekipmanlardır [1]. Bu özelikleri kullanılarak, bilimsel çalışmalarda atomik boyutta görüntülemede kullanılan optik yüzeylerin istenilen form verilerine sahip olup olmadıklarının kontrollünde kullanılmaktadır.

Hassas açı enkoderleri dönme hareketi yapan mil, tabla vb. elemanların dönme açılarının hassas bir şekilde tespiti ve kontrolü için kullanılmaktadır. Dönme işlemi yapan mil vb. ekipmanların açısal pozisyon hareketini elektriksel sinyale çevirerek hassas açı ölçüm ve kontrolü için veri sağlayan bu açı ölçüm ekipmanları geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir.

Küçük açı üreteçleri, SI açı birimi radyanın, tanımına göre hassas bir şekilde elde edilip açı ölçüm cihazları için izlenebilirliğin sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin otokolimatörlerin kalibrasyonları, küçük açı üreteçleri kullanılarak yapılmaktadır. Hassas açı ölçüm ekipmanları ve kullanımı ile ilgili detaylı bilgi kaynak [1] de verilmektedir.

Bu cihazları kullanarak, nanoradyan (nrad) seviyede üst düzey açı ölçüm taleplerinin karşılanabilmesi son derece zor olup şimdiye kadar olumlu sonuçlar alınamamıştır. Ayrıca, eğri optik yüzeylerin ölçümü için ileri seviye açı metrolojisine ihtiyaç vardır. Bu uygulamalar serbest elektron lazer ve sinkrotron ışınımı kullanan hızlandırıcı merkezlerinde, özellikle X ışınlarının yönlendirilmesi, odaklanması amacı ile kullanılan hassas optik aksanların düzlemsellik ölçümü (ölçüm bilgilerini kullanarak ile 2 nm ve altı düzlemsellikte imalatı) için gereklidir. Otokolimatörlerin küçük apertürler (2-3 mm çapında) ile hassas bir şekilde optik yüzeylerin düzlemsellik haritalarının çıkarılmasında daha üst düzey performansta kullanımı için araştırma çalışmalarına ihtiyaç vardır. Nanoradyan açı ölçümü uygulama alanları için bazı örnekler aşağıda verilmiş olup, **Şekil 1**'de önemli bilimsel araştırma ve uzay çalışma alanlarındaki uygulamaları için örnekler gösterilmiştir.

- Nesnelerin hareket sırasında hassas eğilme miktarı (pitch ve yaw) ölçümleri (nano teknoloji)
- Teleskop aynaların dönme sırasındaki açısal kontrolü (1 nrad) - Yıldız izleme (star tracking)
- Uzay çalışmalarında uydularda kullanılan ivme ölçerlerin kalibrasyonları
- Jeodezi ve jeofizik uygulamalarında bölgesel eğilmelerin ölçümü (deprem tahminleri)
- Nanonewton kuvvet ölçümleri (1 nrad → 40 pN) - istenilen açısal eğilme çözünürlüğü 0.1 nrad.
- Gama ışınları spekrometrelerinde silikon kristalleri arasındaki açının ayarlanması
- *G* evrensel çekim sabiti değerinin çok daha hassas bir şekilde tespit edilmesi
- Ultra hassas X ışınları optik ve aynalarının incelenmesi ve profil ölçümleri

Avrupa ulusal metroloji enstitüleri yukarıda anlatılan bu ihtiyaçları dikkate alarak 'SIB58 Angles, Angle Metrology' adı altında açı metrolojisi projesi başlatmıştır [2, 3, 4]. Proje 2013-2016 yıllarında TÜBİTAK UME koordinatörlüğünde yürütülerek çalışmalarını tamamlamıştır. Proje konsorsiyumu dünyada açı metrolojisi alanında ileri seviye çalışmaları olan 16 uluslararası kuruluştan oluşmaktadır: TÜBİTAK UME (Türkiye), PTB (Almanya), iNRIM (İtalya), LNE (Fransa), MWO (Almanya), HZB Bessy II (Almanya) CEM (İspanya) CMI (Çekya), IPQ (Portekiz), GUM (Polonya), SMD (Belçika), VTT (Finlandiya), FAGOR (İspanya), IK4-Tekniker (İspanya), KRISS (Kore) ve AIST NMIJ (Japonya).

Açı metrolojisi (SIB58 Angles) projesinde, SI açı birimi 'radyan'ın, sınırları zorlayan açı ölçümlerinde kullanılabilmesi, birimin dağıtım kabiliyetinin iyileştirilmesi ve izlenebilir hassas açı ölçümleri için deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. İleri seviye bilimsel çalışmalar ve katma değeri yüksek endüstriyel uygulamalarda talep edilen hassas ölçümler için 50 nrad (0.01") altında belirsizliklerde izlenebilirlik sağlanmıştır. Yeni açı ölçüm metotları ve cihazları, referans rehber dokümanlar (EURAMET kalibrasyon rehber dokümanları) proje sırasında üretilmiş ve ileri seviye açı metrolojisi uygulamaları için önemli temeller oluşturulmuştur. Dünyada ilk defa 2 boyutta otokolimatör kalibrasyonları gerçekleştirilmiş, hata ayırma teknikleri kullanılarak tek eksende 5 nrad (0.001") belirsizlikte otokolimatör kalibrasyonları yapılmıştır.

Bu makalede 'SIB58 Angles' açı metrolojisi projesinde yapılan bilimsel çalışmaların bir özeti anlatılmaktadır. Çalışmalar, otokolimatörlerin hassas optik yüzeylerin ölçümü ve üst düzey bilimsel çalışmalarda kullanımı için metrolojik karekterizasyonu, yeni nesil otokolimatörler için iyileştirme çalışmalarını, açı enkoderi hata araştırmaları ve yeni nesil açı enkoder (çok okuma kafalı) uygulamaları, nrad ve nrad altı seviyede açı üretimi ve ölçümü için geliştirilen hassas açı üreteçlerini ve ölçüm metodlarını kapsamaktadır.

2. OTOKOLİMATÖRLERİN METROLOJİK KAREKTERİZASYONU VE OPTİK YÜZEYLERİN ÖLÇÜMÜNDEKİ UYGULAMALARI

Nanoradyan (nrad) belirsizlik seviyesinde açı ölçümlerinin uygulama alanları gittikçe artmaktadır. 1 metre yarıçapı olan çemberde, 1 nm lik yay uzunluğunun oluşturduğu açı olarak tanımlanan 1 nrad, kısa kenarı 1 nm olan, uzun kenarı 1 metre olan bir dik üçgendeki açıya denk gelmektedir. Daha büyük skalada, uzunluğu 1000 km olan bir çubuğu, yani istanbul'dan Erzurum'a kadar uzanan bir çubuğu 1 mm kaldırarak elde edebileceğimiz açı değeri olarak düşünebileceğimiz 1 nrad aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

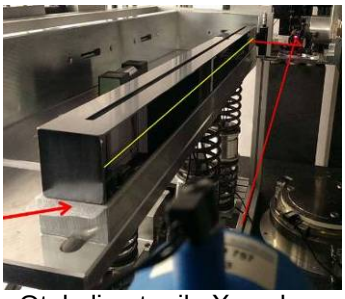
1 nrad = (1 nm / 1 m) = (1 mm / 1 000 000 000 mm) = 10^{-9} radyan

Şekil 1. Nanoradyan (nrad) açı metrolojisi uygulama alanları için örnekler

Nanoradyan (nrad) açı skalasında temassız açı ölçüm ihtiyaçlarına talep artmaktadır. Temassız olarak yapılacak bu açı ölçümleri için, 0.001" (arc saniye veya 5 nrad) çözünürlüğe sahip otokolimatörlerden faydalanılmaktadır. Örneğin, Newton'un evrensel kütle çekim yasasındaki, *G* evrensel çekim sabiti değerinin çok daha hassas bir şekilde tespit edilmesi için BIPM tarafından kullanılan torsiyon balans yönteminde (torsion balance) otokolimatör kullanılır ve bir aynanın nrad belirsizlikle açısal rotasyon hareketlerinin tespit edilmesi talep edilmektedir (**Şekil 1**) [5].

Otokolimatörler, X ışınlarının yönlendirilmesinde faydalanılan ultra hassas optik aynaların imalatı ve kurulumu sırasında, yüzey profillerinin çıkarılması ve arzu edilen profile göre ayarlanması için kullanılır [6]. Özelikle Avrupa'daki CERN, ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), Amerika'daki ARGONE APS (Advanced Photon Source), BNL (Brookhaven National Laboratory), ALS (Advanced Light Source) Berkeley Lab, gibi hızlandırıcı merkezlerinde ve Almanya'da yeni kurulan European XFEL serbest elektron lazer merkezinde bu tip optikler kullanılır ve maliyeti çok yüksektir. Örneğin European XFEL'de 25 adet kullanılan bu özel optik aynaların her birinin maliyeti 500 000 Euro civarındadır (**Şekil 2**).

X ışınlarının yönlendirilmesinde kullanılan ultra hassas optik ayna (500 000 Euro)



Otokolimator ile X ışınları aynasının profil ölçümü

Otokolimatörle profili ölçülebilen dev aynalar

Şekil 2. Açı ölçüm cihazı otokolimatör kullanarak ölçülen hassas optik aynalar

Benzer üst düzey ihtiyaçların istenilen açı ölçüm belirsizlik (0.01" veya 50 nrad dan daha düşük) değerlerinde karşılanabilmesi için, otokolimatörlerin optik yüzey profil ölçümlerindeki kullanımı dikkate alınıp, geniş çaplı uygulamalı araştırmalarla, otokolimatörlerin metrolojik karekterizasyonun yapılması gerekmektedir. Ancak bu sayade, otokolimator kullanılarak yapılan optik yüzey ölçümlerinde ve talep edilen diğer nrad açı ölçümlerinde otokolimatörler ile ulaşılabilecek metrolojik sınırlar belirlenebilir. **Şekil 3'** te otokolimatörün hassas optik yüzeylerin profilinin çıkarılması sırasındaki ölçüm şartları gösterilmektedir.

2.1. Otokolimatörlerin metrolojik karekterizasyonu

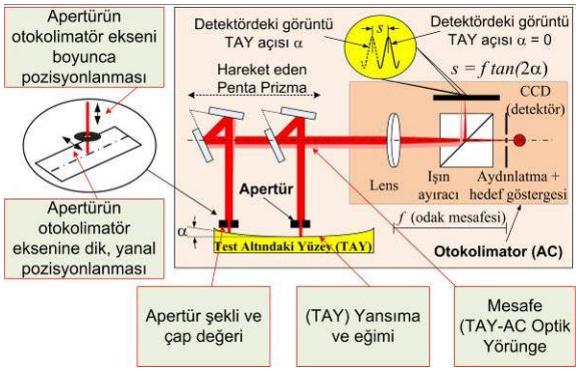
SIB58 Angles projesi başladığında ilk olarak, otokolimatörlerin uygulamalarını, performansları ve kalibrasyon durumlarını içeren bir araştırma yapılarak dünyada son gelinen nokta araştırıldı ve bir rapor hazırlandı. Rapora proje web sayfasından ulaşılabilir [2]. **Şekil 3**' te gösterilen otokolimatörün ölçüm şartlarından biri olan, otokolimatör ile hedef yüzey arasındaki mesafe değişiminin, otokolimatörün açı ölçüm kabiliyeti üzerindeki etkilerini incelemek için, proje ortakları tarafından 27 deneysel kalibrasyon veri seti almıştır. Ayrıca otokolimatörün optik yörüngesinin ZEMAX yazılımı ile simülasyonları (ray tracing) yapılmış, otokolimatörün açı ölçümünün, hedef mesafesi değişince nasıl ve ne kadar etkileneceği için elde edilen teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların mükemmel bir uyumda olduğu bulunmuştur [2]. Bu amaçla proje ortağımız otokolimatör üreticisi MWO (MÖLLER-WEDEL OPTICAL) [10] ile ortak çalışmalar firma için gizlilik haklarını koruyarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları otokolimatör kullanıcıları için son derece önemli olup, özelikle CERN, ESRF gibi hızlandırıcı merkezlerinde X ışınlarını yönlendiren optikler üzerine çalışan kullanıcıların, optikleri incelemesi, ayarlaması sırasında otokolimatörlerdeki kullanım mesafesindeki değişimlerden kaynaklanan hataları azaltmasına (teorik bulunan denklemler kullanarak düzeltme yapılarak) yardımcı olacaktır. **Şekil 4'** te TÜBİTAK UME tarafından iki farklı optik hedef mesafesinde (300 mm ve 600 mm) alınan otokolimatör kalibrasyon sonuçları gösterilmektedir. Mesafe değişiminin otokolimatörün açısal hatalarındaki etkisinin 0.1 arc saniye (") den daha az olduğu görülmektedir. Bazı farklı üretici firma

otokolimatörlerinin, hedef mesafe değişimlerinin çok daha az olduğu durumlarda dahi (örn. 10-100 mm) birkaç arc saniye mertebesinde açısal hata ürettikleri görülmüştür. Bu tip hataların kullanıcı tarafından ayırt edilmesi çok zor olup, çoğu otokolimatör üretici firmasının ürettikleri otokolimatörlerin, mesafe değişiminde, ne kadar hata yaptıkları hakkında bilgisi yoktur.

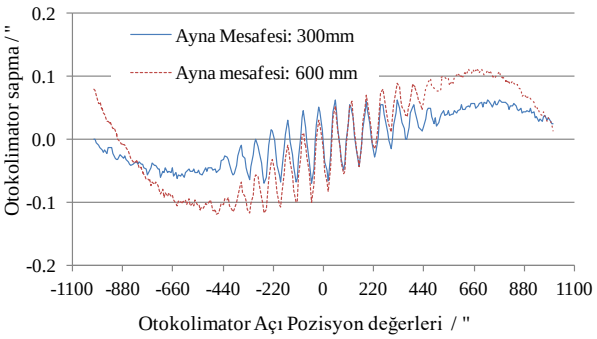
Bazı optik yüzeyler düz olmayıp, hafif iç bükey veya dış bükey olabilmektedir. Bu durumda, otokolimatörün her iki ekseninde (X ve Y) açısal değişim meydana gelir ve bazen bu değerler birbirini etkiler. Bu tip optik yüzeylerin profilleri çıkartılırken kullanılan otokolimatörlerin 2 eksende (katı açı) kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Proje çalışmalarında, 2 eksende otokolimatör kalibrasyonu yapabilen cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlardan biri Almanya Ulusal Metroloji Enst. PTB'deki katı açı otokolimatör kalibratörü (SAAC) [7] ve Finlandiya ulusal metroloji Ents. deki 2 eksende açı interferometresi prensibini kullanan kalibrasyon düzeneğidir [8]. Bu cihazlar, izlenebilir hassas katı açı elde eden ve dağıtan dünyadaki ilk cihazlar olup, açı metrolojisi alanında yeni bir ufuk açarak devrim yaratmıştır. Proje kapsamında, ilk defa dünyada 2 eksende otokolimatör kalibrasyonları gerçekleştirmiş, karşılaştırması düzenlenmiş ve açı metrolojisi alanında kilometre taşı olarak yer almıştır.

Otokolimatörler imalatçı firmalar tarafından tam apertür yani ön kısımları açık (apertürsüz) kullanıma göre tasarlanıp kalibre edilirler. İhtiyaçlara göre yaklaşık 30-50 mm çapında değişen açık apertür kullanımı (apertürsüz), optik yüzeylerin ölçümünde, yüzeyden daha fazla veri toplamak için 3 mm çaplı apertürlere düşürülür. Veya bazen, çok küçük yüzeylerden veri toplanmak istenebilir. Bu uygulamalar otokolimatörlerin açısal ölçüm performansında değişikliğe neden olur ve kalibrasyon değerleri değişir. Küçük çaplı apertürler kullanılarak tekrar kalibrasyonlarının yapılması gerekir. 3 mm altındaki apertürlerde ise açı ölçme kabiliyetlerinde sorunlar ortaya çıkar.

Optik yüzeylerden daha çok veri toplayıp, daha hassas yüzey haritası çıkarmak için, 3 mm altındaki apertürler ile ölçümler almak gerekmektedir. Bu amaçla otokolimatörlerin iç yapılarının, özelikle algılama yapan detektörün iyileştirilmesi gerekir. Proje kapsamında, küçük apertürler ile çalışabilecek yeni tip bir detektör geliştirilmiş ve testleri yapılmıştır. Patenti alınan bu detektörün, yeni nesil otokolimatörlerde uygulanması ile 2.5 mm çap altında apertürler ile geleceğin X ışınları ve ultra mor ötesi ışınlar için kullanılan optik yüzeylerinin daha hassas kontrolü ve imalatı yapılabilecektir.



Şekil 3. Otokolimatörün optik yüzey profil ölçümlerinde kullanımı sırasındaki ölçüm şartları



Şekil 4. Otokolimatör (Elcomat 3000) sapma değerlerinin ayna mesafesine göre değişimi (UME)

2.2. Otokolimatörlerin optik yüzey ölçümündeki uygulamaları

SIB58 Angles projesi kapsamında, otokolimatör esaslı optik yüzey ölçen profilometreler için detaylı bir araştırma yapılıp, mevcut durum tespit edilmiştir [2]. Daha sonra, optik yüzeylerin yansıtma miktarlarının ve yüzey eğimlerinin, otokolimatörlerin performansını nasıl etkilediğinin deneysel araştırmaları yapılmıştır. Bu araştırmalar, şu an serbest elektron lazer (FEL) ve sinkrotron ışınımı (SR) optikleri için kullanılan otokolimatör esaslı profilometrelerin (deflektometrelerin) kabiliyetlerinin ve limitlerinin belirlenmesi için son derece önemlidir [2].

Proje kapsamında apertürlerin, profilometrelerde kullanılan otokolimatör eksenine istenilen toleransta (< 0.1 mm) yerleştirilmesi için yeni bir apertür merkezleme cihazı (ACenD) geliştirilmiş ve patenti alınmıştır. Bu cihaz ile ilk defa otokolimatörlerin profilometrelerde verimli bir şekilde kullanımı sağlanmıştır. ACenD cihazı otokolimatörlerin kalibrasyonu sırasında ve daha sonra profilometredeki kurulumu sırasında kullanılmaktadır.

AcenD yardımıyla, apertürler merkeze 0.1 mm den daha tekrarlanabilir şekilde yerleştirilebildiği için, otokolimatörün kalibrasyon değerleri güvenli bir şekilde gerçek uygulamasında kullanabilmektedir. ACenD proje ortakları tarafından bir otokolimatör kalibrasyonu karşılaştırması düzenlenerek test edilmiş ve 0.1 mm altında tekrarlanabilir apertür ayarı yapabildiği doğrulanmıştır. Daha önce kullanılan görsel lazer ayar aparatlarına göre, geliştirilen ACenD cihazının otokolimatör kalibrasyon sonuçlarına göre 3 kat daha iyi tekrarlanabilir sonuç verdiği TÜBİTAK UME ve PTB tarafından alınan hassas ölçüm sonuçları ile ispatlanmıştır [9]. ACenD, profilometreler için, ölçülebilir, dokümante edilebilir, otokolimatörün kalibrasyonu ve kullanımında transfer edilebilir apertür pozisyonlama kabiliyeti sağlamıştır. Daha önce bu tip özellikleri taşıyan bir apertür pozisyonla sistemi mevcut değildi. ACenD cihazı şu an MWO (Möller-Wedel Optical) firması tarafından ticari bir cihaz olarak satılmakta olup, FEL ve SR optiklerinin yüzey profili ölçümleri ve imalatı sırasında karşılaşılan sorunları ortadan kaldıracak çözümler sunmaktadır [9,10]. ALS Berkeley Lab., Argonne APS, Diamond Light Source (DLS), HZB Bessy II gibi hızlandırıcı merkezleri bu cihazı satın alıp kullanıma başlamıştır. **Şekil 5**'te ACenD cihazının TÜBİTAK UME'de testi sırasında çekilen fotoğraf ve konu ile ilgili Avrupa Metroloji Organizasyonu EURAMET web sayfasında çıkan haber bulunmaktadır.

Optical component available as commercial product

Aperture centring device tested as part of EMRP project (SIB58 Angles) now available as a commercial product.

Precise angle measuring devices such as autocollimators, optical instruments for non-contact measurement of angles, are extensively used in applications where high precision is demanded, including the aerospace, optical, machine tool, semiconductor and automotive industries.

EMRP project Angle Metrology (SIB58 Angles) has made significant contributions to improve their performance by investigating the influence of reflectivity and curvature of optical surfaces on the angle response and developing an aperture centring device for use with the autocollimators.

The aperture centring device was created by unfunded industrial partner Möller-Wedel Optical GmbH, which concentrates on the research, development, production and sales of high-precision optical test equipment and precision optical components. The device has been tested by partners within the project and as a result has been made available as a commercial product by Möller.

Calibration of an autocollimator and testing of Aperture Centring Device – a useful alignment tool to center an aperture up to 0.1 mm to the optical axis of the autocollimator (e.g. ELCOMAT 3000). – Courtesy of TUBITAK

Şekil 5. Otokolimatör imalatçısı MWO tarafından imal edilen apertür merkezleme cihazı (ACenD)'nin UME'de testi ve EURAMET web sayfasında konu ile ilgili çıkan haber

3. HASSAS AÇI ENKODERLERİ

Hassas açı enkoderlerinin uygulamalarını, performansları ve kalibrasyon durumlarını içeren bir araştırma yapılarak dünyadaki son gelinen nokta araştırılıp, bir rapor hazırlanmıştır [2]. İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü INRIM tarafından, açı enkoderlerindeki interpolasyon hatalarını azaltan yeni bir açı referans cihazın imalatı yapılmıştır [11]. Çoklu okuma kafasına sahip açı enkoderlerinin (yeni nesil enkoderler) işlem sırasında hassas kalibrasyonu için 'kendinden kalibrasyon' yöntemi PTB tarafından geliştirilmiştir. Burada, yeni nesil açı enkoderlerin maliyeti düşürülerek endüstriyel uygulamalarda kullanımı için işlem sırasında kalibrasyonunun optimize edilmesi amaçlanmıştır [12]. Açı enkoder tipleri hakkında açıklamalar **Şekil 6**'da verilmiştir.

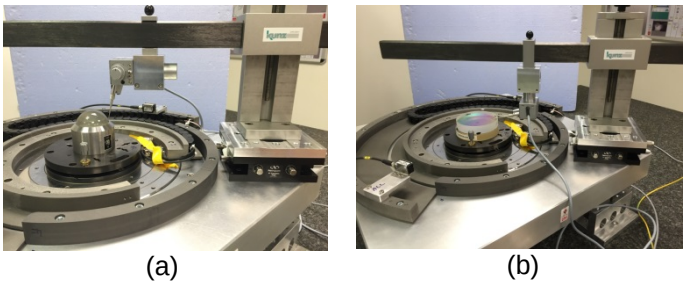
Açı enkoderlerin çalışma sırasında bağlı oldukları döner tablalar ile aralarındaki ayar kaçıklıkları ve tabla form hatalarının enkoder çalışma performansı üzerindeki etkileri TÜBİTAK UME tarafından detaylı bir şekilde deneysel olarak incelenmiştir (**Şekil 7**) [2]. İspanya Ulusal Metroloji Enstitüsü CEM, enkoder kalibrasyonları için yeni aparatlar geliştirmiştir. Tüm bu çalışmalar, açı enkoderlerinin çalışma performansını etkileyen parametrelerin anlaşılması ve yeni nesil enkoderlerin geliştirilmesi için değerli bilgiler içermektedir [2].

Otokolimatörlerin açı enkoderine bağlı referans tablalar ile çok hassas kalibrasyonu için ilk defa hata ayırma tekniği kullanılmış ('Shearing' tekniği) ve her iki referans standart (Açı enkoderi ve otokolimatör) aynı anda kalibre edilerek, hataları 0.001" (5 nrad) belirsizlikle tespit edilmiştir. Otokolimatör kalibrasyonu için en iyi ölçüm belirsizlikleri (CMC verileri) 0.1"- 0.01" belirsizliklerde iken, elde edilen değer, şimdiye kadar yapılan değerlerden en az 10 kat daha iyidir [13].

Hata ayırma (Shearing) tekniği kullanılarak açı enkoderlerinin ve enkoderden gelen sinyalleri işleyen 'interpolator' ların performansı hata ayırma tekniği kullanılarak incelenmiştir. Çalışma, TÜBİTAK UME, PTB, MWO ve Japonya Ulusal Metroloji Enstitüsü (AIST NMIJ) kurumlarının ortak yaptığı bir yayında paylaşılmıştır [13]. Sonuçlar shearing ayırma tekniğinin özelikle cihazların daha düşük çözünürlüklere ulaşırken maruz kaldığı interpolasyon hatalarının tespit edilmesi için ideal bir methot olduğunu göstermektedir. Tüm bu çalışmaların sonuçları kullanılarak TÜBİTAK UME önderliğinde 2 adet EURAMET kalibrasyon rehber dokümanı (Otokolimatör ve Enkoder kalibrasyonu için) hazırlanmış ve EURAMET web sayfasında yayımlanmıştır [14, 15].

(a) (b)

Şekil 6. Açı enkoderleri ve tipleri (a) Klasik tip, tek okuma kafalı açı enkoderleri (b) Yeni nesil açı enkoderi, çok okuma kafalı



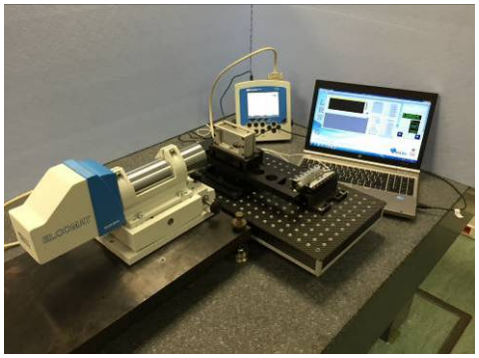
(a) (b)

Şekil 7. TÜBİTAK UME primer referans açı tablasına monte edilmiş açı enkoderinin açı okuma performansına, tablanın dönme sırasındaki geometrik (form) hatalarının etkisinin incelenmesi (a) Yanal yönde (b) Eksen yönünde

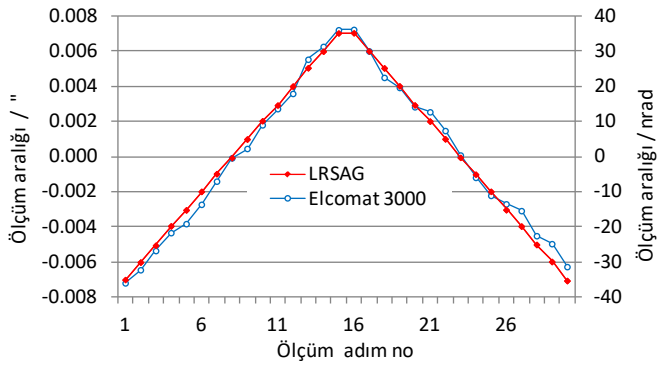
4. KÜÇÜK AÇI ÜRETEÇLERİ

Serbest elektron lazer (FEL) ve sinkrotron ışınımı (SR) kaynaklarının yer aldığı hızlandırıcı merkezlerindeki otokolimatör kullanıcıları ile yapılan detaylı görüşmeler ve mevcut kabiliyetlerin analizinden sonra [16], 3 farklı tip portatif geniş ölçme aralığına sahip küçük açı üreteçleri (LRSAG - Large Range Small Angle Generator) proje kapsamında geliştirilmiştir. Amaç, bu LRSAG cihazlarını kullanarak, 3600" ölçüm aralığında, 0.01" (50 nrad) genişletilmiş belirsizlikle otokolimator kalibrasyonu gerçekleştirmek. TÜBİTAK UME tarafından yapılan LRSAG-1 [17] ve Çek Ulusal metrolojisi Enstitüsü CMI tarafından yapılan LRSAG-2, bu hedefe ulaşılırken, İspanya Ulusal Metroloji Enstitüsü CEM ve araştırma merkezi IK4-TEKNIKER [18] tarafından geliştirilen LRSAG-3 kısmen ulaşmıştır. Geliştirilen 3 tip LRSAG tamamen farklı yapıda olup, açı ölçümü ve üretme teknikleri için farklı metot ve referans skalalar kullanmaktadır. LRSAG-2 ve LRSAG-3 cihazlarının açı ölçme skalası açı interferometresinden oluşmaktadır. Kısaca fiyatı yaklaşık 40 000 Euro olan açı optikleri ve lazer interferometresinin cihaz ile beraber kullanılması gerekmektedir. UME tarafından geliştirilen LRSAG-1 de böyle maliyetli bir cihaza bağımlılık olmayıp, hassas mesafe enkoderi (0.5 nm çözünürlüklü) kullanılarak açı üretilip, ölçülebilmektedir. TÜBİTAK UME tarafından geliştirilen LRSAG-1 **Şekil 8'** da, cihazın 5 nrad adım performansı **Şekil 9**' de gösterilmektedir [17].

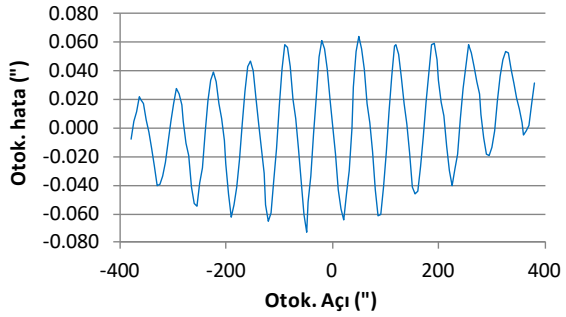
Proje kapsamında, FEL ve SR ışınım hatlarındaki taleplere göre, nrad ve nrad altı hassasiyette açı ölçümleri için, araştırmalar yapılmıştır. Dünyada İlk defa izlenebilir 1 nrad (0.0002") açısal adımlara nrad altı hassasiyette TÜBİTAK UME tarafından üretilen cihaz [19] ile ulaşılmıştır [20]. 1 nrad adımlar, TÜBİTAK UME tarafından daha önce geliştirilen, kısa ölçüm aralığına sahip hassas açı üreteci HPSAG [19] ile elde edilmiştir. Bu adımları kontrol etmek amacıyla, 0.0002" çözünürlükte ölçüm yapabilecek otokolimatör dünyada bulunmadığı için (en iyileri 0.001" çözünürlüğe sahip), yüksek kararlı frekansı olan lazerden oluşan diferansiyel Fabry-Perot interferometresi (DFPI)'sinin iki lazer kolu arasında oluşan mesafe farkının çok hassas bir şekilde frekans değişimi olarak algılanması özelliğinden faydanılmıştır. DFPI' ten çıkan birbirine paralel ve aralarında 20 mm mesafe olan iki lazer ışınımı, HPSAG üzerindeki düz aynadan yansıtılmış ve HPSAG ile üretilen 0.1" (500 nrad) ölçme aralığında, bu ışınımların kollarında oluşan mesafe farkı frekans olarak ölçülmüştür. 500 nrad ölçüm aralığında HPSAG açı verileri referans olarak kullanılmış ve bu açı değerlerine denk gelen frekans değişimi DFPI'dan okunmuştur. DFPI frekans değişim değerlerini, açı değerlerine çeviren kalibrasyon denklemi hesaplanmıştır. Daha sonra HPSAG tarafından oluşturulan 1 nrad adımlar DFPI ile frekans değişimi olarak algılanmış ve frekans verileri, oluşturulan kalibrasyon denklemi ile açısal değerlere çevrilerek, nrad altı hassasiyette ölçümler gerçekleştirilmiştir [20].



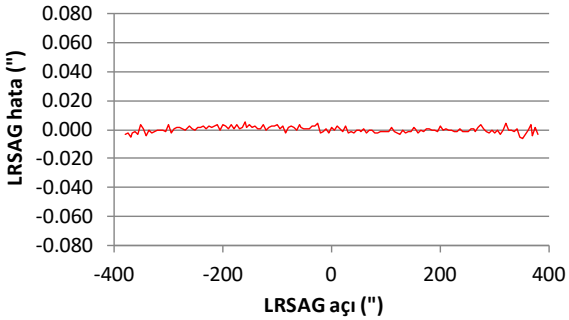
Şekil 8. UME yapımı LRSAG-1 ile otokolimatör kalibrasyonu



Şekil 9. UME LRSAG-1 açı değerleri ile Otokolimatör açı değerlerinin 0.001" (5 nrad) açısal adımlarda karşılaştırılması



(a)



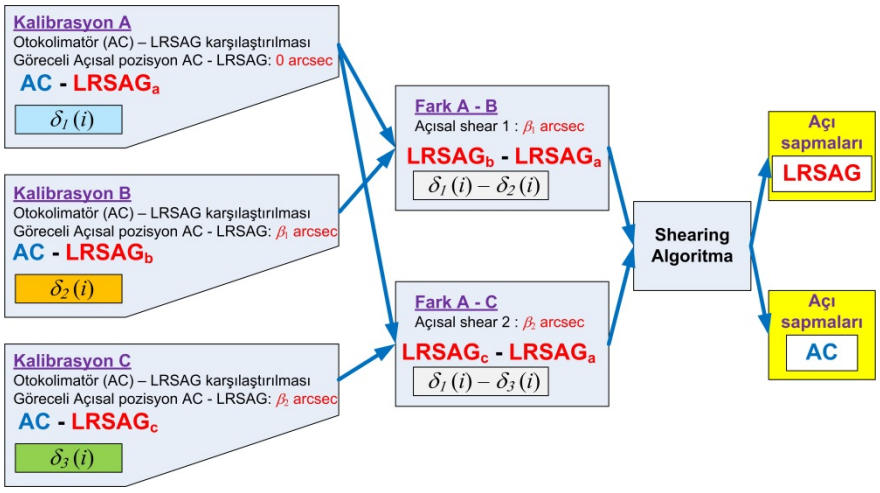
(b)

Şekil 10. Hata ayırma tekniği (shearing method) kullanılarak Otokolimatör (a) ve TÜBİTAK UME imalatı LRSAG (b) hatalarının 0.001" (5 nrad) standart belirsizlikle tespit edilmesi.

Ayrıca, TÜBİTAK UME ve PTB tarafından farklı açı üretme kavramları kullanılarak, otokolimatörlerin nrad seviyede açı ölçüm kabiliyetleri araştırılmıştır [21]. Yapılan çalışmayla, otokolimatörlerin çözünürlükleri olan 0.001" (5 nrad) adımlarda kalibrasyonun yapılabileceğini, ve otokolimatörlerinin görev esaslı kalibrasyonundan sonra, 0.001" (5 nrad) belirsizlikle temassız açı ölçümleri için (örneğin evrensel çekim sabiti *G* değerini tespit eden BIPM düzeneğinde) kullanabileceği gösterilmiştir [21]. Bu değerler, ilk defa küçük açı üreteci (TÜBİTAK UME) ve özel açı enkoderi bağlı tablalar (PTB) ile otokolimatör kalibrasyonunda shearing ayırma tekniği kullanılarak doğrulanmıştır. TÜBİTAK UME geliştirdiği LRSAG-1 ve HPSAG'ı kullanarak 5 nrad belirsizlik değerine otokolimatör kalibrasyonu için ulaşmıştır.

TÜBİTAK UME tarafından geliştirilen LRSAG-1 ile otokolimatör çözünürlüğündeki açısal adımlar 5 nrad (0.001") üretilerek, otokolimatör (Elcomat 3000) tarafından okunan değerler ile karşılaştırılmıştır **(Şekil 9)**. **Şekil 10'** da hata ayırma tekniği (shearing tekniği) kullanarak 0.001" belirsizlikte otokolimatör ve LRSAG-1 hatalarının incelenmesi gösterilmektedir.

LRSAG-1 ile otokolimatörün kalibrasyonu yapılıp, elde edilen (AC-LRSAG-1) test-referans fark değerleri kullanılıp, özel bir işlemden geçirilip otokolimatör ve LRSAG-1 hataları ayrı ayrı tespit edilebilmiştir. **Şekil 10 (b)'** de görüldüğü gibi LRSAG-1 hataları ± 400" ölçüm aralığında ± 0.005" doğruluk değerleri içinde (0.002" rms) olarak bulunmuştur. Bu değer, en iyi üretici firma doğruluk değerleri ±0.3" olan otokolimatörlerin kalibrasyonun rahatlıkla yapılabileceğini göstermektedir.



Şekil 11. Hata ayırma tekniğinin (shearing tekniği) şematik açıklaması

Şekil 11' de shearing tekniğini kısaca anlatan bir şema bulunmaktadır [22]. LRSAG-1 ve Otokolimatör arasında 3 farklı göreceli açıda (0, β_1 ve β_2) alınan 3 set kalibrasyon (a, b, c) ile elde edilen (AC-LRSAG$_a$), (AC-LRSAG$_b$), (AC-LRSAG$_c$) set değerleri kullanılarak, kalibrasyon sonuçları arasında farklar alınmaktadır. Bu işlemde, otokolimator skalasında bir kayma yapılmazken (yani sürekli aynı skala değerinden kalibrasyona başlarken), LRSAG skalasında göreceli açılar (β_1 ve β_2) kadar kayma yapılarak kalibrasyona başlanır ve veri alınır. Yani LRSAG skalasının 3 farklı bölgesi ile (aralarında β_1 ve β_2 kadar faz farkı olan), otokolimatör skalasının aynı yeri A, B ve C kalibrasyonlarında karşılaştırılır.

A, B, ve C kalibrasyon sonuçları kullanılarak, A-B ve A-C farkları alınınca, skala pozisyonu değişmeyen AC değerleri birbirini götüreceğinden, geriye birbiri arasında faz farkı olan LRSAG verileri kalır (**Şekil 11**). Bu veriler bir algoritma ile çözülerek ilk olarak LRSAG değerleri tespit edilir. Daha sonra bu veriler (AC-LRSAG$_a$), (AC-LRSAG$_b$), (AC-LRSAG$_c$) denklemlerinde yerine konarak, 3 adet AC (otokolimatör açı sapma) değeri bulunur. Bunların arasındaki yakınlık yapılan işlemin kalitesi hakkında bilgi verir ve atık değerlerin standart sapması belirsizliğinin en önemli bir parametresi olarak kullanılır. **Şekil 10(a)**'da ortalaması gösterilen otokolimatör değerleri için elde edilen 3 set ölçümün birbirine yakınlığı, diğer bir değişle, 3 otokolimatör sapma değerinin, her birinin ortalama değerden (3 veri kullanılarak bulunan) farkının standart sapması 0.001" (rms) olarak hesaplanmıştır. 427 adet veriden hesaplanan bu değer otokolimatörün çözünürlük değeri kadar bulunmuştur.

Shearing uygulamasında en kritik nokta, yapılan 3 set kalibrasyonun (A, B ve C) tekrarlanabilir şartlarda alınması şartıdır. Ancak bu şekilde hata ayırma sırasında sabit kalan cihazın kalibrasyon verileri birbirini tam olarak götürür ve ilk olarak skalası kaydırılan cihazın (LRSAG) hataları daha sonrada, skalası sabit tutulan cihazın (Otokolimatör) hataları hassas bir şekilde tespit edilir [22].

SONUÇ

'SIB58 Angles' Açı Metrolojisi projesinde gerçekleştirilen üst düzey araştırmaların bir özeti verilmiştir. SI açı birimi radyanın nrad belirsizliklerde (örn. 5 nrad) hassas bir şekilde elde edildiği ve açı metrolojisi alanında kilometre taşlarına ulaşıldığı anlatılmıştır. Otokolimatörlerin hassas optik yüzeylerin ölçümü ve üst düzey bilimsel çalışmalarda kullanımı için yapılan çalışmalar, yeni nesil otokolimatörler için iyileştirme çalışmaları, açı enkoderi hata araştırmaları ve yeni nesil açı enkoder (çok okuma kafalı) uygulamaları, nrad ve nrad altı seviyede açı üretimi ve ölçümü için geliştirilen hassas açı üreteçlerini ve ölçüm metodlarını hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca, projenin yeni açı ölçme teknikleri, cihazları, ve bilgi birikimi ürettiği açıklanarak, bunların açı metrolojisi kullanıcıları tarafından nrad belirsizlik talebi olan araştırma çalışmalarına ve geliştirecekleri ürünlere nasıl katkı sağlayacağı anlatılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] YANDAYAN T., “Açı metrolojisi: bilimsel ve endüstriyel alanlardaki uygulamaları, üst düzey yeni talepler ve projeler”, Mühendis ve Makina, Cilt 55, Sayı 653, 2014.
[2] SIB58 Angles, Angle Metrology proje web sayfası, http://anglemetrology.com/ , Haziran 2019.
[3] YANDAYAN T., Geckeler R. D., Pisani M., Prieto E. and Siewert F., “Recent developments in angle metrology”, MacroScale 2014, Recent Developments in Traceable Dimensional measurements, 28-30 Oct. 2014, BEV - Wien, Austria.
[4] YANDAYAN T., Geckeler R. D., Schlewitt C. and Siewert F. “State of the art in Angle Metrology and updated information for X-ray optics community”, IWXM 2015 - International Workshop on X-Ray Optics and Metrology, July 13-16, 2015, Berkeley, USA. - INVITED
[5] QUINN T J et al 2013 Phys. Rev. Lett. 111 101102, 1-5
[6] SIEWERT F et al 2004 AIP Conf. Proc. 705 847-850
[7] KRANZ O et al 2015 Advanced Optical Technologies doi: 10.1515/aot-2015-0017
[8] HEIKKINEN V et al 2017 Metrologia 54, 253-261. doi: 10.1088/1681-7575/aa648d
[9] GRUBERT B., KREITSCHIK D., SCHNABEL O., SIEWERT F., GECKELER R.D, SCHUMANN M., JUST A., KRAUSE A., YANDAYAN T., AKGOZ S. A. "A precise aperture centring device (ACenD) for autocollimator-based surface measuring profilers", The conference on Advances in Metrology for X-Ray and EUV Optics VIII, part of SPIE Optical Engineering + Applications, 11 - 12 August 2019 (Yayımlanacak)
[10] MÖLLER-WEDEL OPTICAL 2018 www.haag-streit.com/moeller-wedel-optical
[11] PISANI M. and ASTRUA M. 2017 Meas. Sci. Technol. 28 doi: 10.1088/1361-6501/aa5af6 045008
[12] GECKELER R. D. et al 2014 Meas. Sci. Technol. 25 055003 10pp
[13] YANDAYAN T. et al 2018, Investigations of interpolation errors of angle encoders for high precision angle metrology Meas. Sci. Technol.
[14] EURAMET Guide 22, 2017, Calibration of Autocollimators https://www.euramet.org/
[15] EURAMET Guide 23, 2018, Calibration of Angle Encoders https://www.euramet.org/
[16] YANDAYAN T. et al 2014, SPIE Proc 9206, doi:10.1117/12.2060953
[17] YANDAYAN T. 2017 SPIE Proc 10385 doi: 10.1117/12.2274178
[18] OLARRA A et al 2016 euspen Proc. 16th Int. Conf. www.euspen.eu
[19] YANDAYAN T. et al, "High precision small angle generator for realization of the SI unit of plane angle and calibration of high precision aucollimators" Meas. Sci. Technol. 23 (2012), 094006.
[20] CELIK M et al 2016 Meas. Sci. Technol. 27 035201 10pp, doi:10.1088/0957-0233/27/3/035201
[21] YANDAYAN T. and GECKELER R. D. 2017 euspen Proc 17th Int. Conf. May 29th – 2nd June 2017, Hannover, Germany, 2017, www.euspen.eu
[22] YANDAYAN T. et al “Application of advanced shearing techniques to the calibration of autocollimators with Small Angle Generators and investigation of error sources”, Review of Scientific Instruments 87, 051903 (2016); doi: 10.1063/1.4950720

ÖZGEÇMİŞ

Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, ‘CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü’ konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, Mart 1997'de mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME’de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürüten Tanfer Yandayan, dönem dönem UME Mekanik Grup Koordinatörlüğü yapmıştır. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarını hazırlamış ve yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK’ın kuruluşu sırasındaki çalışmalarda yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuar akreditasyonu denetimlerine katılmış ve TÜRKAK sektör komitesinde uzun süre görev yapmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2008-2012 ve 2012-2016 yılları arasında Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini açıklayan Avrupa Komisyonu için rapor hazırlamış ve uyumlaştırma çalışmalarında bulunarak AB çerçeve programları kapsamında 2 adet proje tamamlamıştır. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME’ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği bu projenin koordinatörlüğünü yapıp tamamlamıştır. Çok sayıda uluslararası konferanslara ve kurumlara davetli konuşmacı olarak katılan Tanfer Yandayan, yabancı akreditasyon organizyonlarının daveti üzerine eğitimler, danışmanlıklar vermekte ve laboratuvar akreditasyon denetimlerine katılmaktadır. Aynı zamanda akademik çalışmalarına devam eden Tanfer Yandayan, Gebze Teknik Üniversitesinde "Mekanik Ölçüm Prensipleri", Sabancı Üniversitesinde "İmalat Metrolojisi" yüksek lisans derslerini vermektedir. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan Tanfer Yandayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, mastar blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır.

İŞİTME DEĞERLENDİRMELERİ İÇİN METROLOJİK İZLENEBİLİRLİK SORUNLARI

Enver SADIKOĞLU
Eyüp BİLGİÇ

ÖZET

Sağlık taramalarının ayrılmaz bir parçası olan işitme değerlendirmeleri; odyometre, otoakustik emisyon cihazı, ABR cihazı gibi çok geniş yelpazedeki ölçüm araçları ile gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçlarına dayanmaktadır. Gerçekleştirilen ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği, dolayısıyla işitme değerlendirmesinin doğruluğu ve değerlendirme sonucunda uygulanan tedavi veya işitme kayıplarına göre işitme araçlarının seçimi, ölçümlerde kullanılan cihazların düzenli olarak gerçekleştirilen kalibrasyonlara bağlıdır. Ancak işitme değerlendirmesi süreci ile ilgili odyoloji dünyasının halen dile getirdiği ve metroloji enstitülerinin gündemine getirdikleri bazı metrolojik izlenebilirlik problemleri bulunmaktadır. İşitme değerlendirmeleri ve odyolojik ölçümlerin güvenirliği ve metrolojik izlenebilirlik problemlerini kısmen de olsa çözmek üzere 2012 – 2019 yılları arasında Avrupa Birliği desteği ile büyük ölçekli ve çok katılımlı iki adet araştırma projesi yürütülmüştür. Yürütülen projelerde TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) de ortak olarak etkin görev almıştır. Bu bildiri işitme değerlendirmelerindeki metrolojik izlenebilirlik sorunlarının çözümü için yürütülmüş olan projeler kapsamındaki faaliyetleri ve çıktılarını özetlemektedir.

Anahtar Kelimeler: İşitme değerlendirmesi, metrolojik izlenebilirlik, kulak simülatörü

ABSTRACT

Hearing assessment is one of the elements of the health screening. Hearing assessment is based on measurements performed by a wide variety of measurement tools such as audiometers, otoacoustic device, ABR device, etc. Accuracy and reliability of performed measurements, as a result efficiency of applied treatment and choice of correct hearing aids, strongly depends on periodic calibration of devices used for audiological measurements. However there are few problems concerning to calibrations and they have to be resolved for improving the current practice in audiometry. The problems concerning with metrological traceability and adequacy of calibration methods. To overcome these problems, which were pronounced by audiology community and recognized by National Metrology Institutes two joint research projects funded by European Commission were carried out from 2012 to 2019. This paper outlines activities and outcomes of these projects, where TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü was an active partner.

Key Words: Hearing assessment, metrological traceability, ear simulator

1. GİRİŞ

Günümüzde her bir birey yaşamı boyunca büyük bir olasılıkla işitme değerlendirmesine tabii tutulmaktadır. İşitme değerlendirmeleri; odyometre, otoakustik emisyon cihazı, ABR cihazı gibi çok geniş yelpazedeki ölçüm araçları ile gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçlarına dayanmaktadır. Gerçekleştirilen ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği, dolayısıyla işitme değerlendirmesinin doğruluğu ve değerlendirme sonucunda uygulanan tedavi veya işitme kayıplarına göre işitme araçlarının seçimi, ölçümlerde kullanılan cihazların düzenli olarak ve ulusal ölçüm standartlarına izlenebilir gerçekleştirilen kalibrasyonlara bağlıdır.

İşitme değerlendirmesi süreci ile ilgili odyoloji dünyasının dile getirdiği ve odyolojik cihazların kalibrasyonu konusunda hizmet veren metroloji enstitülerin dikkatini çektiği bazı metrolojik izlenebilirlik problemleri bulunmaktadır. Bunlardan birincisi işitme değerlendirmesinde önemli yeri olan odyometre ve benzeri cihazların kalibrasyonlarında kullanılan referansların yetersizliğidir. Bu tür cihazların kalibrasyonlarında genellikle insan kulağının ses iletimini sergileyebilen yapay kulak ve kulak simülatörü gibi çeşitli araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar yetişkin insanın kulak anatomisi ve özelliklerini esas alarak tasarlanmıştır. Ancak yenidoğan ve küçük çocuklar da kalibrasyonu kulak simülatörleri ile yapılmış cihazlarla işitme taramalarına tabi tutulmaktadır. Bu durumda tarama sonuçları tam gerçeği yansıtmamaktadır. Tarif edilmiş sorunun çözümü için tüm yaş gruplarının kulak özelliklerini simüle edebilecek kalibrasyon araçlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Diğer önemli sorun ise odyolojik ölçümlerde kullanılan cihazların kalibrasyon yöntemiyle ilgilidir. Kalibrasyonlar genellikle saf ton akustik sinyallerle yapılmakta olup, gerçek odyolojik uygulamalarda ise değişik tür (darbe, sinüs içerikli darbe sinyali (tone burst)) ve sürelerde uyarı sinyalleri kullanılmaktadır. Bu nedenle halen kullanılmakta olan referans standartların da saf tondan farklı sinyallere karşı tepkilerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

2. ODYOLOJİK ÖLÇÜMLERDE METROLOJİK İZLENEBİLİRLİK

Odyolojik ölçümlerin SI birimlerine izlenebilirliği ses basınç birimi standardı üzerinden sağlanmaktadır. Ses basınç biriminin birincil standardı IEC 61094-2 standardına [1] uygun olarak gerçekleştirilen referans mikrofonların karşılıklık kalibrasyonu üzerinden oluşturulmaktadır. Birincil standardın değerinin alt seviyelere aktarımı çalışma standardı niteliğindeki mikrofonların (WS1, WS2) karşılaştırma yönteminin [2] uygulandığı kalibrasyon yoluyla sağlanmaktadır. İnsan kulağının ses iletimini sergileyebilen yapay kulak ve kulak simülatörü cihazlarının kalibrasyonları transfer standardı mikrofonları ile yapılmakta ve bu araçlar odyometre ve benzeri cihazların kalibrasyonunda referans olarak kullanılmaktadır. Kalibrasyonu yapılmış odyometre ve diğer odyolojik cihazlarla rutin işitme taramaları gerçekleştirilmektedir. Böylece rutin olarak gerçekleştirilen işitme taramaları kapsamındaki ölçümlerin sonuçlarının ses basınç birimi Pascal'a izlenebilirliği sağlanmış olmaktadır.

Odyolojik ölçümlerin kulak simülatörü üzerinden metrolojik izlenebilirliğinin kurulmuş olmasına rağmen halen piyasada bulunan ve hatta standartlaştırılmış hale gelmiş [3,4] ürünler (Şekil 1) 1950 – 1970 yılları arasında oluşan deneysel veriye dayanarak üretilen ürünlerdir. Bunlar sadece yetişkin kulak yapısı ve anatomisine uygun olduğu için bu cihazların kullanımı ile kalibrasyonları gerçekleştirilen odyometrik cihazlarla işitme değerlendirmesi yapıldığında farklı yaş grubundaki insanlar için gerçekçi sonuçlar elde etmeme olasılığı yüksektir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için bazı üreticiler özellikle bebek kulak yapısına uyarlanmış kulak simülatörü [5,6] üretimini gerçekleştirmiş (Şekil 2), ancak bu ürünün de halen standartlaştırılmış olan ürünle (yetişkin kulak simülatörü) birlikte yetersiz kaldığı açıktır.

Şekil 1. Ticari olarak temin edilebilen yapay kulak [7,8] ve kulak simülatörü [9] örnekleri

Şekil 2. Bebek için geliştirilmiş kulak simülatörü [6]

Şekil 3. EARS projesi kapsamında geliştirilmiş kulak simülatörü prototipi [10]

3. YENİ NESİL KULAK SİMÜLATÖRLERİ ve EARS II PROJESİ

Avrupa Birliği Metroloji Araştırma Programı (EMRP) kapsamında 2012 – 2015 yılları arasında yürütülmüş olan ”Evrensel Kulak Simülatörü ve İşitilemeyen Sesin Algılanması” (EARS) projesi çerçevesinde yenidoğan çocuklara hitap edecek yeni nesil kulak simülatörü üretilmiş ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir [10-12]. Bugüne kadar üretilen Şekil 3’teki kulak simülatörü haricindeki tüm ürünler geçmiş yüzyılda klinik deneylerde elde edilen verileri esas alarak üretilmiştir. Oysa son 15 yıl içinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yeni nesil evrensel kulakların tasarım ve üretiminin yapılması için çok zengin veri sağlamıştır [13,14]. Bu veriler incelendiğinde EARS projesi kapsamında üretilen evrensel kulak simülatörünün tek başına tüm yaş grupları için yetersiz kalacağı ortaya çıkmıştır.

EARS projesi kapsamında çözülemeyen sorunları araştırmak üzere Avrupa Birliği destekli Avrupa Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programı (EMPIR) kapsamında 2016 yılında yürürlüğe girmiş yeni araştırma projesi kapsamında çalışmalara devam edilmiştir. Açık adı “Çağdaş işitme değerlendirmesi ve toplum sağlığının yeni nesil gürültü kaynaklarından korunması için metroloji” [15] ve kısa adı EARS II olan proje 5’i farklı ülke Ulusal Metroloji Enstitüleri olmak üzere 12 ortaklı konsorsiyum tarafından yürütülmüş ve Mayıs 2019 döneminde başarıyla tamamlanmıştır. Proje ana hatları ile 7 iş paketinden oluşmuş ve bu iş paketlerinden aşağıda başlıkları verilmiş ikisi doğrudan yeni nesil kulak simülatörlerinin geliştirilmesi ve standardizasyon çalışmalarına girdi oluşturması amaçlarına yöneliktir.

- İş paketi 1: Evrensel kulak simülatörü kullanılarak odyometrik cihazların kalibrasyonu için stratejilerin geliştirilmesi,
- İş paketi 2: Evrensel kulak simülatörünün klinik uygulaması için normatif ve stratejik araştırmaların yapılması,

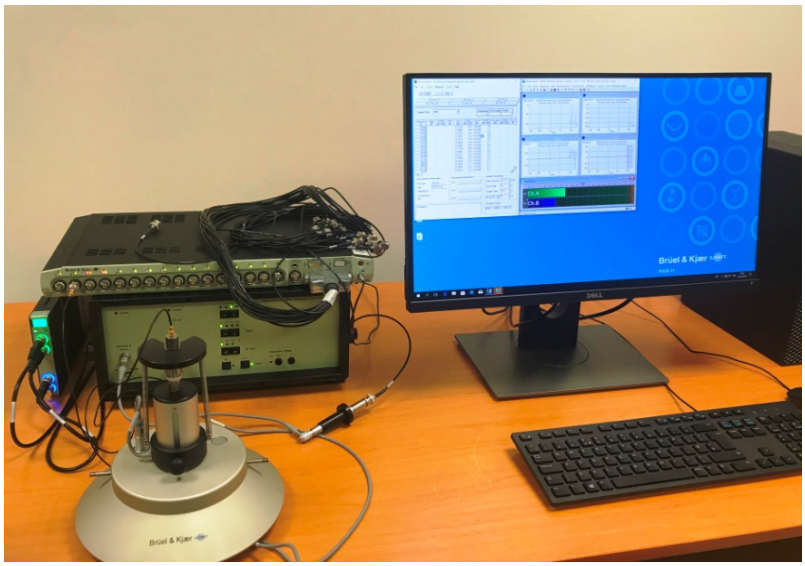
EARS II projesinin İş Paketi 1 kapsamında birkaç simülatörden oluşan kulak simülatörü ailesini oluşturacak ürün grubunun tasarlanarak üretilmesi hedeflenmiştir. Ancak simülatörlerin tasarım ve geliştirme çalışmalarına başlamadan yeni nesil kulak simülatörlerinin hangi yaş gruplarına hitap edeceği ve toplam sayısının kaç olacağı konusunda tereddütte kalınmıştır. EARS projesinin son aşamasında yapılan değerlendirmelerde tüm yaş gruplarını etkin ve doğru bir şekilde kapsama almak için halen kullanılmakta olan tek kulak simülatörü yerine farklı yaş grupları için toplam 5 adet simülatörünün tasarlanıp üretilmesi telaffuz edilmiş olmasına rağmen [16], bu çözümün kullanıcılar açısından pratik olmadığı kararına varılmıştır. EARS II projesi kapsamında literatürde bulunan verilerin incelenmesi ve potansiyel kullanıcı ve paydaşlarla yapılan görüşmeler sonucunda tasarlanıp üretilerek kullanıma alınacak kulak simülatörleri sayısının 3 ile sınırlı tutulmasına karar verilmiştir. Bu simülatöreler sırasıyla 3 ay, 24 ay yaş grupları ve yetişkin kulağına uygun olacağı belirlenmiş ve simülatörler Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S (BKSV, Danimarka) firması tarafından üretilmiştir.

BKSV tarafından üretilmiş kulak simülatörleri Şekil 4'te [17] gösterilmiştir. Üretilmiş kulak simülatörünün yapısında eksenel simetriye sahip bir kulak kanalı Helmholtz rezonatörü ile sonlandırılmıştır. Bu tasarım EARS projesindeki yeni doğan kulak simülatörü tasarımına benzemektedir. Ancak yeni tasarım kulak simülatörünü daha kompakt hale getirmiştir. Ayrıca kulak simülatörlerinin kalibrasyon amacıyla kullanıldığında farklı adaptörlerle istenilen değişik konfigürasyonlarda akustik bağlaşımların sağlanmasına önem verilmiştir. Yeni nesil kulak simülatörlerinde kullanılan mikrofonun kolay bir şekilde sökülerek kalibrasyonunun yapılabilmesi hususuna da dikkat edilmiştir. Simülatörlerle birlikte, dış besleme gerilimine ihtiyaç duyan CCLD tip mikrofonlar (Brüel & Kajer Tip 4988-B) kullanılmıştır. Bu mikrofonlar bazen "Deltatron" veya "IEPE" tip olarak ta adlandırılmaktadır.

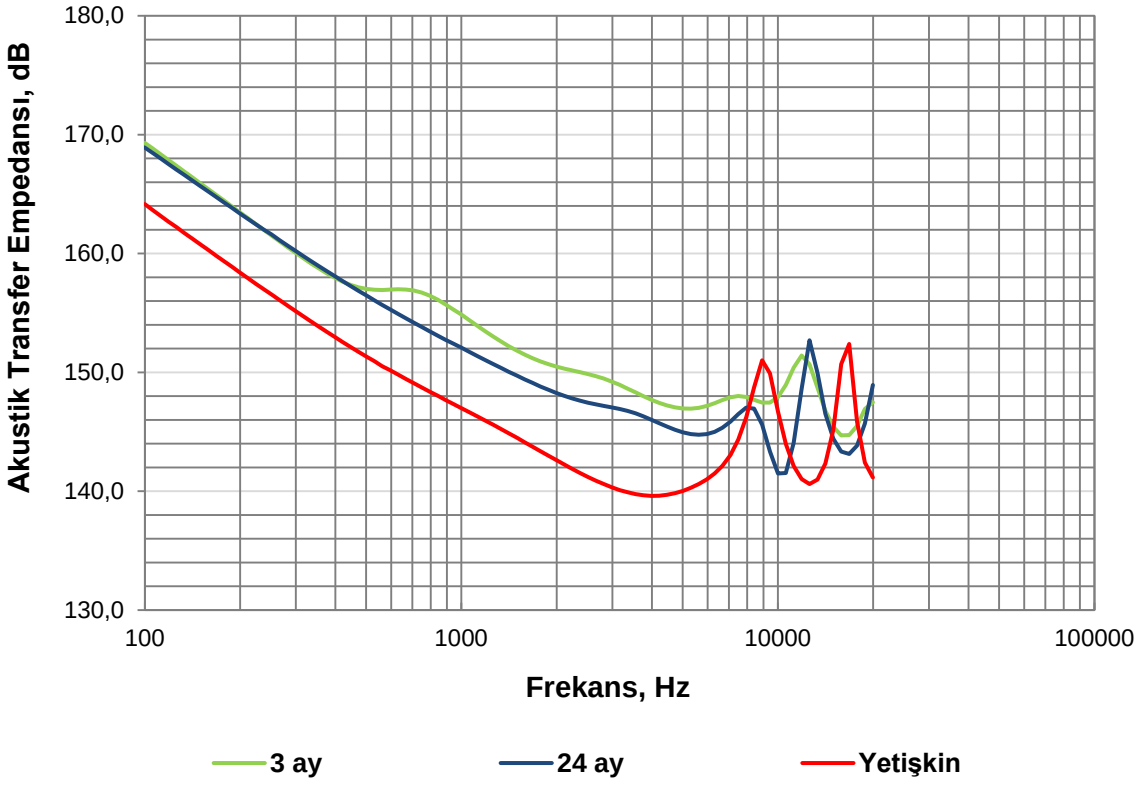
Şekil 4. Yeni nesil kulak simülatörleri [17]

4. YENİ NESİL KULAK SİMÜLATÖRLERİNİN KARAKTERİZASYON ÖLÇÜMLERİ

EARS II projesi kapsamında üretilmiş kulak simülatörlerinin gerekli performans özeliklerine sahip olup olmadığını incelemek üzere proje ortaklarından dört Ulusal Metroloji Enstitüsü ve Atanmış Kurum (Designated Institute) tarafından karakterizasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon ölçümleri için temel ölçüm büyüklüğü olarak kulak simulatörlerinin kompleks akustik transfer empedansı seçilmiştir. Akustik transfer empedansı ölçümlerinde, IEC 60381-1 standardının [3] Ek C'sinde tarif edilmiş yöntem kullanılmıştır. TÜBİTAK UME'de ölçümlerde kullanılan düzenek Şekil 5'te gösterilmiştir. Akustik transfer empedansı ölçümleri 100 Hz – 20 kHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu aralık bugüne kadar odyolojik ölçümlerde kapsama alınan en geniş aralık olmuştur. TÜBİTAK UME'de gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6'daki grafiklerdeki veriler incelendiğinde akustik transfer empedansının mutlak değerlerinin halen standartlaştırılmış simülatörleri değerlerinden [3] farklı olduğu görülmektedir. 3 ay, 24 ay ve yetişkin kulak simülatörlerinin iç hacimlerinin farklı olması dikkate alındığında bu beklenen ve doğru bir sonuçtur. Ancak kulak simülatörlerinin çalışma performansı açısından değerlendirilen ve tasarlanmış olan simülatörlerinin uygun olup olmadığına karar verme açısından en önemli husus transfer empedansı eğrilerinin şeklidir. Bu husus açısından yeni nesil simülatörlerinin ileriki yıllarda standartlaştırılmış ürün olma açısından gerekli kriterleri sağlamıştır.



Şekil 5. TÜBİTAK UME'de akustik transfer empedansı ölçümlerinde kullanılan düzenek



Şekil 6. 3 kulak simülatörünün akustik transfer empedansı garfikleri

Kulak simülatörlerinin farklı çevresel şartlarda kullanılabileceği düşünülürse bu ürünlerin performansı açısından simulatörlerin sıcaklık ve statik basınç gibi çevresel şartların değişiminden hangi ölçüde etkilenebileceğinin araştırılması da önem taşımaktadır. Bu nedenle yeni üretilmiş kulak simülatörlerinin akustik transfer empedansı ölçümleri farklı statik basınç ve sıcaklık şartlarında gerçekleştirilmiştir. Statik basıncı 95 kPa – 105 kPa ve ortam sıcaklığı 18°C – 28 °C aralığında değişik değerlerde sabit tutularak ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlardan statik basınç ve sıcaklık katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Örnek olarak 1 kHz frekansı için belirlenmiş statik basınç ve sıcaklık katsayısı değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Statik basınç ve sıcaklık katsayısı değerleri

Kulak Simülatörü	Basınç katsayısı (dB/kPa)	Sıcaklık katsayısı (dB/K)
3 ay	0,0798	0,0057
24 ay	0,0797	0,0042
Yetişkin	0,0801	0,0012

Tablo 1'deki veriler incelendiğinde kulak simülatörleri performanslarının statik basınç ve sıcaklık değişimlerinden etkilendiği görülmektedir. Ancak işitme değerlendirmelerinde yapılan ölçümlerin belirsizliklerinin frekansa bağlı olarak asgari 1 dB düzeyinde olduğu dikkate alınırsa, kullanım şartlarının standartlarda referans olarak tanımlanan şartlardan (statik basınç 101,325 kPa ve ortam sıcaklığı 23 °C) çok farklı olmadığı (statik basınç farkı 10 kPa ve üzerinde) durumlarda, kulak simülatörleri performanslarının nihai kullanıcıların ölçüm sonuçları açısından statik basınç ve sıcaklık etkilerinin göz ardı edilebileceğini göstermektedir.

Gerçekleştirilmiş olan karakterizasyon ölçümleri ile yeni nesil kulak simülatörlerinin uzun vadede standartlaştırılmış ölçüm aracı olabileceği teyit edilmiştir. Ancak kulak simülatörlerinin standartlaştırılmış ürün haline gelmesi için bu araçlara ait farklı tip odyometrelerde kullanılan farklı kulaklıklarla geçerli olacak Referans Eşdeğer Eşik Ses Basınç Düzeylerinin (Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Level, RETSPL) belirlenmesi gerekir. Bu değerlerin belirlenmesi de ayrı bir araştırma çalışması gerektirmektedir. Bu çalışma sadece saf ton sinyallerle değil değişik tür (darbe, sinüs içerikli darbe sinyali (tone burst)) ve sürelerde uyarı sinyalleri ile de yapılmaktadır. Bu tip sinyallere karşı kulak simülatörlerinin tepkisi de halen ayrıntılı olarak araştırılmamış bir başka konudur.

Geçici (transient) sinyaller ile kulak simülatörü kalibrasyonu konusunda EARS II projesi kapsamında Danimarka Metroloji Enstitüsü (DFM) tarafından yeni bir ölçüm yöntemi denenmiş ve DFM tarafından geliştirilmiş yöntemle ölçümler Almanya Metroloji Enstitüsü'nde (PTB) tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilmiş ölçümlerle ilgili bilgiler kısmen paydaşlarla paylaşılmış olmasına rağmen [18] gerekli araştırma çalışmaları halen devam etmektedir.

SONUÇ

İşitme değerlendirmesi amacıyla gerçekleştirilen odyometrik ölçümlerin metrolojik izlenebilirliğini iyileştirmek ve gerçekleştirilen ölçümlerin güvenilirliğini arttırmak amacıyla 2012 – 2019 yılları arasında Avrupa Birliği desteği ile büyük ölçekli ve çok katılımlı iki adet araştırma projesi yürütülmüştür. Yürütülen projelerde TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) de ortak olarak etkin görev almıştır. Projelerin temel çıktılarından birisi olarak nitelendirilen yeni nesil kulak simülatörü ailesi üretilmiş ve simülatörlerin karakterizasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yeni nesil kulak simülatörleri için gerçekleştirilen karakterizasyon ölçümleri sonucunda üretilmiş cihazların uzun vadede standartlaştırılmış ölçüm aracı olmaya uygunluğu teyit edilmiştir. Üretilen ürünlerin Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından yeni standart kapsamına alınması için halen eksik olarak görülen deneysel veriler tespit edilmiş ve bu verilerin elde edilmesi için yürütülecek araştırma çalışmaları için yol haritası belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] IEC 61094-2, Electroacoustics- Measurement microphones - Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2009

[2] IEC 61094-5, Electroacoustics - Measurement microphones - Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2016

[3] IEC 60318-1, Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 1: Ear simulator for the measurement of supra-aural and circumaural earphones, International Electrotechnical Comission, Geneva, 2009

[4] IEC 60318-4, Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 4: Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by means of ear inserts, International Electrotechnical Comission, Geneva, 2010

[5] Wulf-Andersen, P., Wille M., Two modified IEC 60318-4 ear simulators for extended dynamic range, Whitepaper, G.R.A.S. Sound and Vibration, Holte, Danimarka, 2016

[6] Ear simulators and couplers for hearing aid testing, News, G.R.A.S. Sound and Vibration, Holte, Danimarka, 2016

[7] Artificial ear – Types 4152 and Type 4153, Product Data, BP0265, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Naerum, Danimarka

[8] Acoustic Couplers & Ear Simulators, Product Brochure, LARSON DAVIS, USA

[9] Ear simulator – Type 4157, Product Data, BP0262, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Naerum, Danimarka

[10] Karaböce, B., Sadıkoğlu, E., Bilgiç, E., Characterization and clinical trials of the prototype ear simulator designed for neonates hearing assessment, Acoustics Australia, 3:7 (2017), pp.1-8

[11] Rodrigues, D., Lavergne, T., Olsen, E. S., Fedtke, T., Barham, R., Durocher, J.-N., Methodology of designing an occluded ear simulator, Acta Acustica united with Acustica, 101, 1007-1015, 2015

[12] Barham, R., Olsen, E.S., Rodrigues, D., Barrera-Figueroa, S., Sadıkoğlu, E., Karaböce, B., The calibration of a prototype occludded ear simulator designed for neonatal hearing assessment applications, Journal of Acoustical Society of America, 140:2 (2016), pp. 806-813

[13] Feeney, M.P., Sanford, C.A., Age effects in the human middle ear: Wideband acoustical measures, Journal of Acoustical Society of America 116(6) (2004), pp.3546-3558

[14] Allen, J.B., Jeng, P.S., Levy, H., Evaluation of human middle ear function via an acoustic power assessment, Journal of Rehabilitation Research & Development, Vol. 42 (4) (2005), pp.63-78.

[15] Metrology for modern hearing assessment and protecting public health from emerging noise sources - EARS II, Publishable summary, EURAMET, Braunschweig, Germany, 2016

[16] The development of a universal ear simulator and its application in hearing screening and assessment, EMRP HLT01: Metrology for a universal ear simulator and the perception of non-audible sound, Workshop report, 2015

[17] EARS II Project Newsleter No 2, April 2018, https://www.ears-project.eu/ears2-downloads.html

[18] EARS II Project Newsleter No 4, November 2018, https://www.ears-project.eu/ears2-downloads.html

ÖZGEÇMİŞ

Enver SADIKOĞLU

1969 yılı Bakü doğumludur. 1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Yarıiletken Fiziği Araştırma Laboratuvarı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2001 yılında Azerbaycan Bilimsel Akademisi

Fotoelektronik Enstitüsü'nde doktora çalışmasını tamamlamıştır. 1993 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Akustik Laboratuvarlarında Başuzman Araştırmacı olarak ve TÜBİTAK UME'nin Kalite Yöneticisi görevlerini yapmaktadır. 2009 yılından beri Avrupa Metroloji Enstitüler Birliği (EURAMET)'nde Kalite Yöneticiliği görevini yürütmekte, ayrıca TÜRKAK Laboratuvar ve diğer ülkelerin akreditasyon kurumları tarafından düzenlenen akreditasyon denetimlerinde baş denetçi ve teknik denetçi olarak görev almaktadır. Birçok büyük ölçekli ulusal ve uluslararası araştırma projesinde yönetici veya uygulayıcı/araştırmacı olarak görev almıştır. Uluslararası hakemli dergilerde, ulusal ve uluslararası kongre ve konferanslarda 100'ün üzerinde makale ve bildirinin yazarıdır. "Metrologia", "Measurement" ve "Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences" gibi dergilerde hakemlik yapmaktadır.

Eyüp BİLGİÇ

1966 yılı Ankara doğumludur. 1988 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendislik Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Anadolu Üniversitesi'den Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Doktor ünvanı almıştır. 1991 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarında çalışmaktadır. Halen Akustik Laboratuvarı sorumlusu, TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde Baş denetçi, teknik alanda denetçi olarak görev yapmaktadır.

SAVUNMA, UZAY VE HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE AÇI ÖLÇÜMLERİNİN ÖNEMİ, ÜLKEMİZİN İHTİYAÇLARI VE BUNLARIN KARŞILANMASI İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sibel Aslı AKGÖZ
Tanfer YANDAYAN

ÖZET

Hassas açı ölçümlerine büyük ölçüde savunma, uzay ve havacılık sanayiinde ihtiyaç duyulmaktadır. Savunma sanayiinde hem üretim aşamasında hem nihai ürünün kullanımı sırasında, ihtiyaç duyulan açı değerinin hassas olarak elde edilebilmesi kadar hassas olarak ölçülebilmesi de gereklidir. Savunma sanayiinde füze sistemlerinde, uzak menzilli atış sistemlerinde açıda yapılan küçük hatalar özellikle mesafe arttıkça büyük sapmalara ve hedeften uzaklaşmaya neden olur. Aynı şekilde uzay ve havacılık sektöründe de açı biriminin hassas olarak elde edilebilmesi ve ölçülmesi önemlidir. Dünyada izlenen politikalar gereği özellikle bu alanlarda kullanılan hassas açı ölçüm cihazları ve yardımcı ekipmanları, gerek ülkemize gerekse bazı ülkelere satılmamakta ya da alımlarında büyük engellerle karşılaşılmaktadır. Bunları aşmanın yolu bu alanlarda dışarıya bağımlılığı büyük ölçüde azaltmaktır.

Ülkemizde hassas açı ölçümleri TÜBİTAK UME'de başarıyla gerçekleştirilmektedir. Yeni projelerle ülkemizde üretilemeyen, dışarıdan temini de zor olan cihazların yapımı ve düşük belirsizlik ile ölçümleri için hem kendi bünyemizde hem de bu konuda çalışan sanayii ve endüstride yer alan firmalarla ortak çalışmalar yapılmaktadır. TÜBİTAK UME açı ölçümleri konusunda dünyada sayılı ilk 5 enstitü arasında yer almaktadır ve yeni, zorlayıcı, yeni ufuklar açan açısal ölçüm çalışmalarında dünyadaki en iyilerle, bilgi ve tecrübesine ihtiyaç duyulan taraf olarak, ortak çalışmalar yapmaktadır. Bu bildiride Lazer silahı ve füze rampaları gibi savunma sistemlerinde önemli kullanım alanına sahip açı enkoderleri ve optik takımlar hakkında yerli firmalar için yapılan çalışmalar ve kabiliyetlerimizle ilgili bilgi verilecektir, ayrıca UME'de çalışmaları yapılan ve yapılması planlanan stratejik öneme sahip çok okuma kafalı yeni nesil açı enkoderleri hakkında bilgilendirme yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Açı metrolojisi, otokolimatörler, enkoderler, açı üreteçleri, nanoradyan, profil ölçümleri, gimbal sistemler.

ABSTRACT

Highly accurate angle measurements are particularly needed in the defense, aerospace and aviation industries. In the defense industry, accurate realization and measurements of angles are needed in both the production phase and for the correct use of the final product. Small errors in angle produce ever larger deviations from target with increasing distance in long range missile delivery systems. The accurate realization and measurement of angles is similarly important for the aerospace and aviation industries.

Restrictive policies adopted by producing countries on exports of instrumentation utilized in these industries have meant that Turkey and many other countries face barriers to the acquisition of instruments that are used for highly accurate angle measurements. Reducing dependence on foreign sources for these instruments is the only means to overcome the barriers.

In our country, highly accurate angle measurements are successfully performed by TÜBİTAK UME. The production of angle measurement instruments that are neither produced in Turkey nor easily

obtained from abroad, and their calibration with low uncertainties, are the focus of projects undertaken by TÜBİTAK UME, sometimes in cooperation with industrial establishments that have an interest in the subject. TÜBİTAK UME ranks among the top five institutes in angle measurements and collaborates with other top institutes in ground-breaking and challenging areas in angle measurements as the partner with the needed knowledge and experience. In this paper, information is given on TÜBİTAK UME's capabilities and its collaborative work with Turkish companies on angular rotary tables (e.g. gimbal systems) and optic set-ups, which have important uses in laser weapons and missile launching systems, and on the work being undertaken towards the production of the strategically significant new generation angle encoders with multiple reading heads.

Key Words: Angle metrology, autocollimators, encoders, angle generators, nanoradian, profilometry, gimbals.

1. GİRİŞ

Gerek dünyada gerek ülkemizde gelişen teknoloji ile hassas açı ölçümlerinin gerekliliği tartışılmazdır. Bilimsel çalışmalarda ve savunma, uzay ve havacılık sektöründe gerçekleştirilen, yüksek teknoloji ürünlerinde açı biriminin hem hassas olarak elde edilmesi hem de bunun hassas olarak yani küçük değerde belirsizliklerle ölçülebilmesi artık bir ihtiyaç halini almıştır. Günümüzde üst düzey açı metrolojisinin yaygın uygulama alanları arasında, bilimsel çalışmalar olmakla birlikte özellikle serbest elektron lazerleri ve hızlandırıcı merkezlerinde X ışınlarının yönlendirilmesi, odaklanması amacı ile kullanılan hassas optik aksamların düzlemsellik ölçümü (2nm ve altı düzlemsellikle imalatı), ışınımların nanoradyan mertebesinde açısal olarak kontrol altına alınması, interferometrik düzlemsellik ölçümlerinde kullanılan referans optiklerin ölçümü örnek olarak verilebilir [3]. Endüstriyel uygulama alanları için ise hareket mekanizmalarının doğrusallık, düzlemsellik, paralelllik gibi geometrik hatalarının ölçümü, robotların polar koordinatları, füze sistemlerinde uzak menzilli atış mekanizmalarında, açı encoderları ve optik ekipmanlar örnek olarak verilebilir.

Teknoloji insanlığa olumlu yönde hizmet etmesinin yanında ülkelerin varlıklarını bağımsız olarak sürdürmeleri için gereken savunma için de kullanılmaktadır. Bir ülkenin her alanda bağımsızlığı her alanda öz yeterliliği ile alakalıdır. İçinde bulunduğumuz çağda ülkelerin kendi savunma sistemlerini oluşturmaları büyük önem taşımaktadır. Bu da büyük ölçüde hem ülkenin bilimsel gelişmişliğine hem endüstrisinin gelişmişliğine bağlıdır. Ülkeler izlenen politikalar sonucunda bazen ambargo uygulayabilmekte, bazen ambargo adını kullanmadan kendi çıkarları doğrultusunda ileri teknoloji ürünlerini ve özellikle savunma sanayinde kullanılabilecek cihaz ve ekipmanları satmamaktadır.

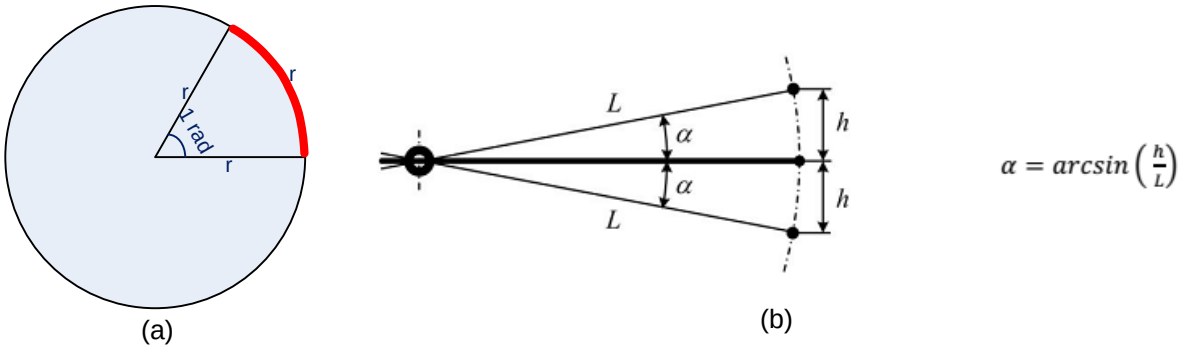
Bir ülke kendi üretimini yapamadığında ekonomik olarak da çıkmazlara düşebilmektedir: Ülke tarihimize bakacak olursak 2. Dünya savaşı sonrası dünyada yaşanan ekonomik buhran nedeniyle ABD'nin müttefiklerine sunduğu yardım paketinden Türkiye o dönem 15 avrupa ülkesi ile birlikte yararlanmıştır. Marshall yardımı [1] olarak adlandırılan bu pakete göre Türkiye hibe olarak aldığı 70 milyon dolar ve kullandığı krediler dışında askeri olarak da yardım almıştır. Askeri yardım kapsamında ABD den alınan silah, cihaz ve ekipmanın bakım, onarım ve yedek parça giderlerinin Türkiye bütçesi tarafından karşılanması planlanmıştır ve bu giderler ülke bütçesinden yıllık 145 milyon dolar harcanarak ülke ekonomisine ciddi anlamda yük getirmiştir [2]. Dışarıdan alınan silah ve ekipmanın bir zararı da özgürce ihtiyaç doğrultusunda alınan ekipmanın kullanılamamasıdır, örneğin Marshall yardımı ile alınan silahlar anlaşmaya göre ABD'ye aittir ve izni olmadan hiçbir koşulda kullanılamaz maddesi ile aslında işlevselliğini yitirirmesinin dışında hem ciddi bir paranın bütçeden harcanırken aynı zamanda ihtiyaç olduğunda kullanılamaması gibi bir bağlayıcılık da getirmiştir. Burada bakım, onarım ve yedek parça ihtiyacını karşılayabilmenin önemi ve gücü çok açık görülmektedir. Bu durum ölçme ve kalibrasyon için de aynı derecede geçerlidir. Bir cihazı, silahı, teknolojiyi daha geliştirme safhasındayken, ölçme kabiliyeti ve bilgi ortaya çıkacak nihai ürünün kalitesini belirlerken, üretim aşamasında karşılaşılan zorlukların giderilmesine, bazen zaman kazanılmasına ve maliyetin de düşürülmesine katkıda bulunur.

Ülkemizde hassas açı ölçümleri başarıyla TÜBİTAK UME'de gerçekleştirilmektedir. Yeni projelerle ülkemizde üretilemeyen, dışarıdan temini de zor olan cihazların yapımı ve bunların düşük belirsizlik ile ölçümleri için hem kendi bünyemizde hem de bu konuda çalışan sanayi ve endüstride yer alan firmalarla ortak çalışmalar yapılmaktadır.

Bu bildiride Lazer silahı ve füze rampaları gibi savunma sistemlerinde önemli kullanım alanına sahip açı enkoderleri ve optik takımlar hakkında yerli firmalar için yapılan çalışmalar ve kabiliyetlerimizle ilgili bilgi verilecektir, ayrıca UME'de çalışmaları yapılan ve yapılması planlanan stratejik öneme sahip çok okuma kafalı yeni nesil açı enkoderleri hakkında bilgilendirme yapılacaktır.

2. SI AÇI BİRİMİ RADYANIN TANIMI, OLUŞTURULMASI VE TÜRKİYE'NİN HASSAS AÇI ÖLÇÜMLERİNDEKİ YERİ

SI açı birimi "radyan", bir dairede yarıçap uzunluğuna eşit uzunlukta yay parçasını gören merkez açı olarak tanımlanır (**Şekil 1(a**)). Bir tam daire 2π radyandır. Yani 2π rad = 360º' dir.



Şekil 1. Radyanın tanımı ve elde edilişi

Açı için temel birinci seviye (primer) bir standart mevcut değildir ve izlenebilirlik, uzunluk birimi metreden elde edilir. Açı birimini 2 farklı prensip ile elde etmek mümkündür.

1. Trigonometrik prensip, iki boy uzunluğunun birbirine oranından (**Şekil 1 (b))**

2. Dairenin (2π radyan) eşit parçalara bölünerek hata ayırma tekniği uygulanarak kendi kendine kalibrasyon (self-calibration) prensibi kullanılarak tam kapama yöntemi ile elde edilir.

Açı biriminin elde edilmesi ve transfer edilmesinde açı standartları olarak adlandırılan, küçük açı üreteçleri, açı enkoderleri, döner tablalar, indeks tablalar ve poligonlar kullanılmaktadır. Temel açı ölçme cihaz ve standartları hakkında detaylı bilgiye [3] nolu kaynaktan, SI açı birimi radyanın elde edilişi için kullanılan yöntemler ile ilgili bilgiye kaynaklar [4-8] den ulaşılabilir.

TÜBİTAK UME Boyutsal laboratuvarında SI açı birimi radyan tanımına göre (dairenin bölünmesi yöntemiyle) 1999 yılında elde edilerek, uluslar arası karşılaştırmaya katılım sağlanıp SI açı birimi radyana ait izlenebilirlik zinciri TÜBİTAK UME'de oluşturulmuştur. İlk olarak divizör, indeks tabla, poligon, açı mastar blokları gibi açı referans standartlarının 1 arc saniye altındaki belirsizliklerde gerçekleştirilebilir hale getirilmesi hedeflenmiştir ve kısa sürede bu hedefe ulaşılmış, daha da ilerisine gidilerek tam sayılı bölünemeyen açılara sahip poligonların kalibrasyonunun tek otokolimatörle yapılabilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir [5, 6].

Hassas açı ölçümleri TÜBİTAK UME'de 2000'li yılların başından itibaren gerçekleştirilmekte olup, son yıllarda yapılan çalışmalar ile dünyada açı ölçümleri alanında 1999'dan 2019'a kadar geçen sürede ilk 5 ülkeden biri olarak Türkiye yer almaktadır. Gelişen teknoloji ile hassas açı ölçümlerine artan ihtiyacı

sağlayabilecek kapasiteye sahip olmamızın en büyük faydası, dışarıya bağımlılığın azaltılarak politikalar gereği bilinçli olarak verilmeyen hizmetlerin ülke içinde çözümlenerek hem ihtiyacın sağlanması hem de bunun daha ekonomik olarak giderilebilmesidir. Örneğin, cihazlar askeri amaçlarla üretilen sistemlerle birlikte satıldığında fiyatları, tek başına o cihazın alınabileceği fiyattan kat kat fazla olarak milyon avroya ulaşabilen rakamlarda satılabilmektedir. Sorun değerinden fazla ödenen meblağ ile kalmamakta, bunu yanında ilk yıllar bakım onarım hizmeti verilmesine karşın bir süre sonra bu hizmetin verilmesi ya gecikmeli olarak verilmekte ya da hiç verilmemektedir. Eğer ülke içinde bu sorun giderilemiyorsa alınan sistem çalışmaz duruma gelebilmektedir.

TÜBİTAK UME'de açı birimi yukarıda anlatılan iki prensiple de gerçekleştirilebilmektedir.

İlk yöntemde radyanın tanımana uygun olarak iki boyutun birbirine oranı kullanılmaktadır. Bu amaçla küçük açı üreteçleri geliştirilmiştir ve temel prensip radyanın tanımına uygun olarak iki boyutun oranını kullanarak açı birimini elde etmeye dayanmaktadır. TÜBİTAK UME'de geliştirlilen bu küçük açı üreteçleri HPSAG ve LRSAG olarak adlandırılmıştır ve bu HPSAG ve LRSAG cihazları ile 0,01 arc sec (50 nrad) nin altında belirsizlik değerleri ile otokolimatör kalibrasyonları yapılmaktadır, yani çok küçük belirsizlikle açı üretilebilmektedir [7,8].

2. prensip olan dairenin bölünmesine dayanan açı elde etmek için kullanılan 3 farklı yöntem de TÜBİTAK UME'de uygulanabilmektedir.

Dairenin bölünmesi ile elde edilen açı ölçümleri 1950'li yıllara dayanmakta olup, bu yöntem ağırlıklı olarak poligon veya döner tabla kalibrasyonu sırasında hata ayırma tekniği kullanılarak açısal hataların belirlenmesinde kullanılır. Dairenin bölünmesi temel alınarak yapılan ölçümler için 3 yöntem kullanılmaktadır:

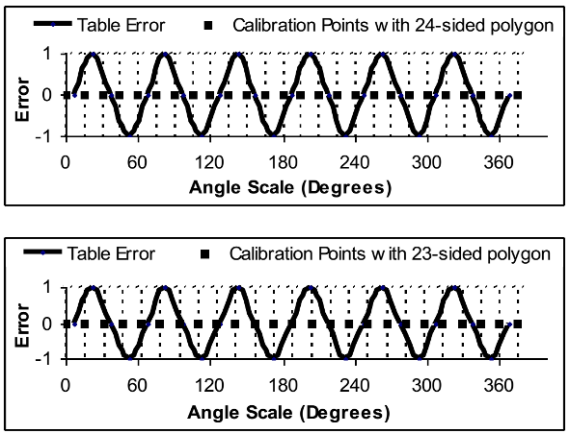
1. Tek otokolimatör ve hassas tabla kullanılan çapraz (cross) kalibrasyon yöntemi (Tabla çözünürlüğü ve katlarındaki açılarda) [4]

2. İki otokolimatör ve hassasiyet gerektirmeyen tabla ile kullanılan yöntem [4]

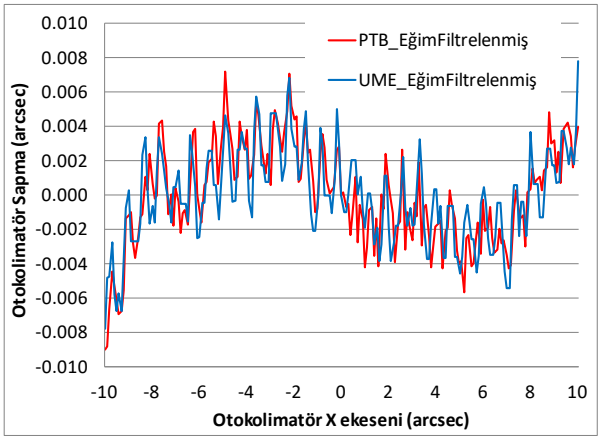
3. Tam sayı değerinde bölünemeyen açıların ölçülmesi için tek otokolimatör kullanılan yöntem [5,6]

İlk iki yöntem yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir [4]. 3 numaralı yöntem ise 2000'li yılların başında bu yöntemlerin dışında tam sayılı açı olarak bölünemeyen açı ölçümlerinin yapılmasını da mümkün kılan ve 2 otokolimatör gerektirmeyen yeni bir yöntem olarak TÜBİTAK UME tarafından geliştirildi ve geçerliliği katılım sağlanan EURAMET anahtar karşılaştırması ile kanıtlandı [9]. Bu yöntem özellikle, savunma sanayisinde tablaların kontrolünde kullanılan, 23 ve 7 yüzlü poligonların kalibrasyonu için ihtiyacı gidermiştir. Bu tip poligonların avantajı, döner tabla ve açı enkoderi skalası (0-360)° kaydırılarak tarandığı için olabilecek periyodik hataların da tespitini mümkün kılmasıdır (**Şekil 2**) [6].

TÜBİTAK UME geliştirdiği yöntem ve imal ettiği tüm cihazlar için karşılaştırmalara katılarak cihazlarının ve kabiliyetinin geçerliliğini bilimsel olarak sağlamaktadır. **Şekil 3'** te, otokolimatör kalibrasyonu için imal edilen açı üreteci ile EURAMET.L-K3.2009 (Otokolimatör kalibrasyonu) karşılaştırmasında, PTB ve TÜBİTAK UME'nin aldığı sonuç gösterilmektedir. Bu ölçümde otokolimatörlerin kısa aralıktaki hataları incelenmiş ve sadece PTB ve TÜBİTAK UME ölçümlerinin hassasiyeti sebebiyle otokolimatörün kısa ölçüm aralığındaki hataları tespit edilebilmiştir [10]. PTB ve TÜBİTAK UME arasındaki farkların standart sapması 0.0018" (rms) olup, bu değer 0.01" (50 nrad) olarak verilen belirsizlik değerlerinin çok altında bulunmuştur.



Şekil 2. 24 ve 23 yüzlü poligon kullanılarak tabla kalibrasyonu sırasında periyodik hataların tespit durumu: 24 yüzlü ile tespit edilemeyen periyodik hatalar, 23 yüzlü ile, örnekleme miktarı (0-360)° boyunca kaydığı için, tespit edilebilmektedir [6].



Şekil 3. EURAMET.L-K3.2009 karşılaştırması sırasında otokolimatörlerin hassasiyet performansının incelenmesi için alınan kısa ölçüm aralığında PTB ve TÜBİTAK UME sonuçlarının uyumluluğu: Aralarındaki fark miktarı 0.0018" (rms).

TÜBİTAK UME tarafından bulunan yöntemde hata ayırma tekniği kullanılarak dairenin tam kapanma özelliğinden faydalanılmaktadır ve tekrarlanabilir bir indeks tabla ve otokolimatör ile 23 ve 7 yüzlü, nominal açı değeri küsuratlı poligonun, yani indeks tabla açıları ile tam olarak elde edilemediği durumlarda, kalibrasyonu yapmak mümkün olmaktadır. Bu yöntemle ilgili detaylı bilgi ve belirsizlik hesaplamaları kaynak [5, 6]'da verilmiştir.

Açı ölçümlerine, endüstri ve savunma sanayii dışında, ileri seviye bilimsel araştırma yapan merkezlerde gün geçtikçe artan bir ihtiyaç vardır. Nanoradyan (nrad) açı metrolojisi olarak adlandırılan bu alanda belirsizlik değerleri 0.01 arc saniye (50 nrad) altında yapılan açı ölçümleri yer almaktadır. Bu alandaki taleplere cevap verebilmek için, Avrupa Birliği Çerçeve Programları projesi kapsamında "SIB58 Angles" Açı Metrolojisi projesi gerçekleştirilmiş ve koordinatörlüğü TÜBİTAK UME tarafından yapılmıştır [11]. Projede bu çalışma ile endüstriyel uygulamalarda SI'a izlenebilir açı ölçümlerinin yapılması ve açı ölçme cihazlarının bilimsel çalışmalarda izlenebilir olarak uygulanmasının garanti altına alınması hedeflenmiştir. Proje sonunda; otomotiv, uzay, havacılık, medikal, malzeme ve enerji gibi sektörlerde önemli uygulama alanı bulunan hassas açı ölçme ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için ihtiyaçları karşılayabilecek hatta açı metrolojisi alanında daha önce hiç yapılmamış, kilometre taşı olan bilgi, metot ve yeni cihazlar üretilmiştir. Proje içinde otokolimatör kalibrasyonu için hazırlanan EURAMET rehber dokümanının hazırlanmasında TÜBİTAK UME yaptığı çalışmalar sebebiyle ana yazar olarak yer almıştır [12]. Koordinatörlüğünü yaptığımız bu projede yapılan çalışmalar ve davetli konuşmacı olarak yaptığımız sunumlar sonucunda Çin hızlandırıcı merkezi (SSRF)' den danışmanlık, New York'ta bulunan Brokhaven National Lab. araştırma merkezinden çok özel şartlarda ve düşük belirsizliklerde otokolimatör kalibrasyonları, İngiltere hızlandırıcı merkezi DLS tarafından ortak çalışma teklifleri gelmektedir. Kısacası açı ölçümlerinde üst düzey bilgi ve tecrübeye sahip olarak TÜBİTAK UME Türkiye'de yapılacak çalışmalarda üst düzey ihtiyaca cevap verebilecek seviyededir. 2013-2016 yılları arasında gerçekleştirilmiş olan bu proje ile ilgili detaylı bilgiye [10] nolu kaynaktan ulaşılabilir.

"Açı Metrolojisi Projesi" ile CERN, BESYII, ESRF, Argonne APS gibi dünyada sayısı 60'ı geçen hızlandırıcı merkezlerinde daha yüksek performanslı bilimsel çalışmaların yapılabilmesini sağlayacak optik aksanları geliştiren teknolojilerin talebi olan 50 nanoradyan'dan (0,01") daha düşük belirsizlikle açı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK UME'de bu belirsizlikle ±3600" ölçme aralığında ölçme kabiliyetine sahip hassas küçük açı üreteci LRSAG tasarlanmış ve üretilmiştir [8]. Bu cihazlar ile 1 nrad adımlara ulaşılmıştır [13].

Yukarıda açıklandığı üzere TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde hem büyük açıları hem küçük açıları elde etmek için referans standart ve cihazlar mevcuttur. Dairenin bölünmesi prensibi ile elde edilen büyük açılar ve küçük açı üreteci ile elde edilen küçük açılar dışında, hem küçük hem büyük

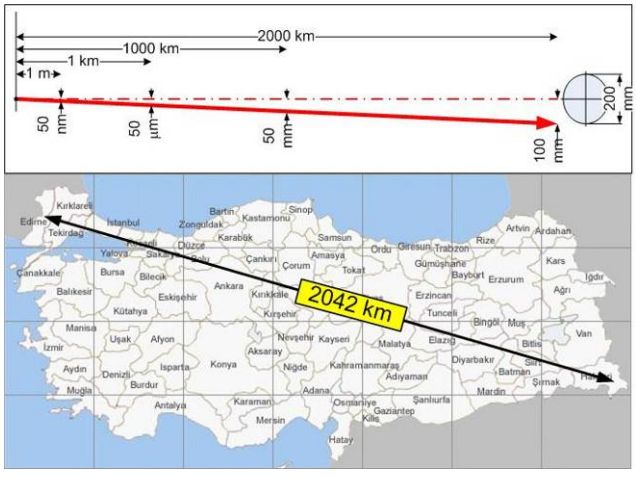
açıları elde etmede kullanılan hassas açı encoder'ının bulunduğu bir döner tabla mevcuttur ve bu cihazın çok iyi bir şekilde karakterizasyonu yapılmıştır [14]. Bu cihaz ile otokolimatörlerin hassas kalibrasyonları çok küçük belirsizlik değerleri ile yapılabilmektedir ve elde edilen en küçük belirsizlik değeri 0,03" (150 nrad)'dir [15]. Bu cihazı kullanarak poligon ve döner tabla kalibrasyonu için oluşan hataların incelenmesi için araştırmaları yapılarak, tek okuma kafalı açı enkoderlerinin limitleri araştırılmaktadır [16].

Tüm bu çalışmaların neticesinde nrad seviyede açı metrolojisi alanında ihtiyacı olan gelişmiş ülkelerdeki araştırma lab.larının ihtiyaçları karşılanabilmektedir. Örneğin Brookhaven National laboratuvarından otokolimatörlerin çok özel spesifikasyonlarda kullanımı nedeniyle, otokolimatör ile yansıtıcı yüzey arasındaki mesafenin 5mm' nin altında olacağı şekilde otokolimatörün kalibrasyonunun yapılması talebi gelmiştir. Mesafenin bu kadar yakın olması durumunda ölçüm yapabilecek kapasitede laboratuvar sayısı dünyada iki tane olup, TÜBİTAK UME Boyutsal laboratuvarı bu ölçümleri gerçekleştirebilecek ve analizini yapabilecek durumdadır.

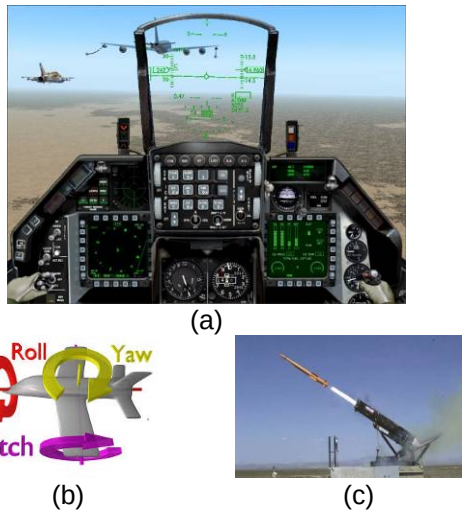
3. SAVUNMA, UZAY VE HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE AÇI ÖLÇÜMLERİNİN ÖNEMİ ÜLKE İHTİYAÇ KARŞILANMASI

Savunma sanayiinin en önemli silahlarından biri olan füzeler gelişen teknoloji ile ülkelerin sahip olmak istedikleri en önemli güç göstergelerindendir ve bu füzelerin tasarlanması, üretimi için ihtiyaç duyulan yüksek teknoloji ve mühendisliğin önemli destekleyicilerinden biri açı metrolojisidir. Füzeler hedefi mümkün olan en az sapma ile vurma amacıyla geliştirilirler ve bunun için hassas açı ölçümlerine ihtiyaç duyarlar. Öyleki özellikle uzak mesafelerde açıda yapılacak çok küçük bir hata hedefe varıldığında ciddi ölçüde sapmalara neden olmaktadır. **Şekil 4** 'te 2000 km de 50 nrad yapılan açı hatasının neden olduğu sapmanın ne kadar büyük olduğu görülmektedir [12]. Ayrıca aerodinamik performansın artırılması için de açı ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Füzelerin rampalara yerleştirilirken, hedef ayarlarının (Boresighting) yapılması esnasında açı ölçüm standartları ve açı ölçüm cihazlarından faydalanılır. Uçaklarda pilotun önünde bulunan iniş ve kalkışlarda ve hedeflemede kullandığı göstergenin (Head Up Display - HUD), uçak merkez eksenine göre ayarlanması, bu eksene göre silah sistemlerinin konumlanması sırasında kullanılan özel imal edilmiş ayar ekipmanlarının doğru çalışması açı referans cihaz ve standartları ile sağlanır (**Şekil 5**).



Şekil 4. Açısal hataların uzun mesafelerdeki etkisi gösterimi: 0.01 arc saniye (50 nrad) bir açısal sapmanın 2000 km mesafedeki bir hedeften sapma miktarının gösterimi. Olabilecek 100 mm sapmanın Türkiye harita üzerindeki en uzak noktalar arasındaki mesafe ile gösterimi.



(a) (b) (c)

Şekil 5. Açı ölçümlerinin kullanıldığı savunma sanayii uygulamalarına örnekler: (a) Savaş pilotlarının iniş-kalkış ve hedeflemede takip ettiği gösterge (Head Up Display - HUD) (b) Üç boyutta hareket eden bir nesnenin hareket esnasındaki açısal hataları (c) Açısal ayarlar kullanılarak hedeflenen füzeler.

3.1 Açı Ölçümleri Ve Cihazlarının Temininde Ülkemize Uygulanan Kısıtlar

Teknolojik ürünleri kullanmanın ve üretmenin en büyük sorunlarından biri ihtiyacınız olan bilginin dışında, ihtiyaç duyulan cihaz, ekipman, standart, numune gibi gereçlerin karşılanabilmesidir. Ülke sanayisi bunların temin edilebileceği seviyede değilse bunların dışarıdan alınması gerekmektedir ki bu sürekliliği olan ve ucuz bir yöntem değildir maalesef. Teminde sorun olmasa bile dışarıdan satın alımda temin zamanı da çoğu zaman sorun olmaktadır. Burada rutinde, normal bir ürün için bir satın alım yapılacağı zaman sorun yaşanmamaktadır. Burada sorun spesifik, özel ya da savunma amaçlı bir ürün ortaya çıkacaksa ya da bu konuda çalışma yapılacaksa ortaya çıkmaktadır ve ihtiyacın temininde ciddi zorluklar yaşanmaktadır. Özellikle adı savunma, silah sanayii olarak geçen kurumlar, firmalar bu zorlukları yaşamaktadırlar. Son zamanlarda daha önceden yaşamadıkları ürünlerle ilgili sorunlar yaşadıklarını da görmekteyiz. Örneğin 2004 ve 2005 yıllarında ülkemizde bazı gelişmiş cihazları satın alabilen özellikle savunma sanayindeki firmalar, şimdilerde bu cihazları almada problem yaşamaktadırlar. Açıkça ifade edilen bir ambargo uygulaması olmamasına rağmen gerçekte, cihazların satılmasıyla ilgili bir engelleme mevcuttur. Bu kısıtlar bir anda ortadan kalkabileceği gibi daha da artabilir. Bu nedenle amaç büyük ölçüde ihtiyacın karşılanmasının hedeflenmesidir. Konu sadece cihazların temini ile giderilemeyeceği için cihazların seçimi, kalibrasyonları gibi hususların da ülke içinde giderilebiliyor olması önemlidir. Aldığınız bir cihazın ya da sistemin verilen teknik destek hizmeti de kesilebilmektedir. Özellikle silah sistemlerinde konu ambargo olmasa bile yeni sistemlerini satabilmek amacıyla dahi gereken teknik destek verilmeyebilmektedir.

3.2 Ülkemizin ihtiyaçları ve yapılan çalışmalar

Ülkemizde açı ölçümlerine olan ihtiyaçlar genel anlamda savunma sistemleri, uzay ve havacılık alanlarında duyulmaktadır. Bu doğrultuda ülkemizde açı ölçümleri alanında olan ihtiyaçlar ve bunlar doğrultusunda yapılan çalışmalar hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır.

3.2.1 Gimbal sistemleri, testleri ve kalibrasyonları

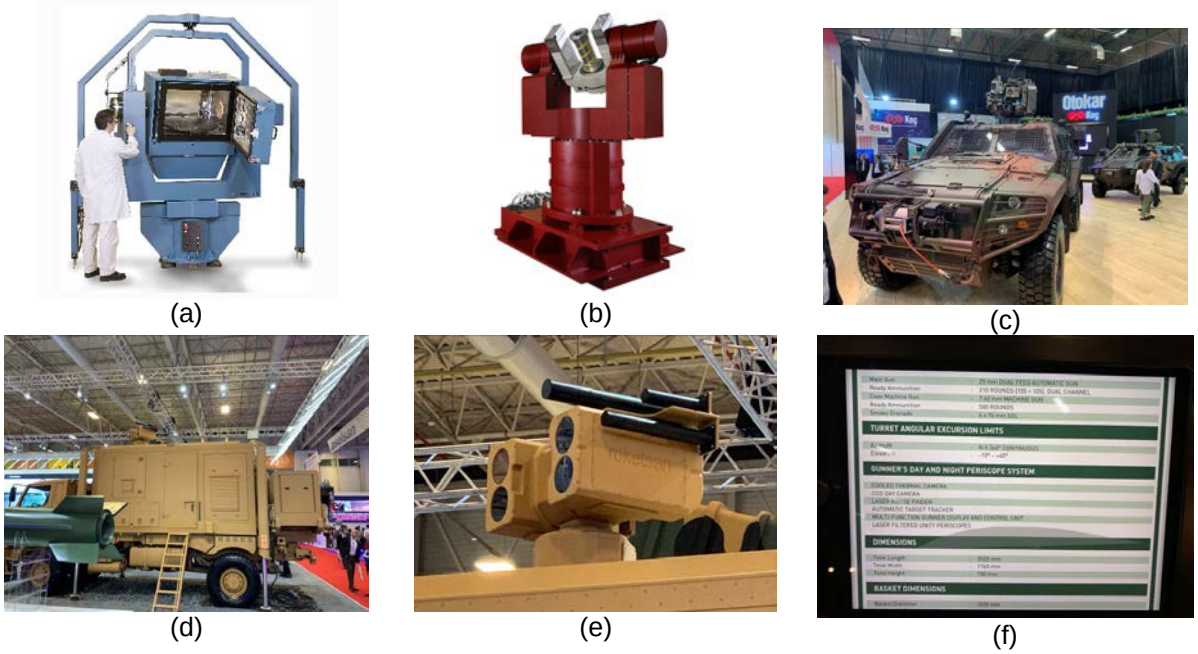
Açı standardı olarak kullanılan ve yukarıda belirtildiği gibi hassas olarak kalibrasyonları yapılabilen motorize döner tablaların, 2 ya da 3 tanesinin birleştirilmesiyle elde edilen ve adına gimbal denilen sistemler savunma, uzay ve havacılık alanlarında önemli bir yere sahiptir (**Şekil 6 (a) ve (b)**). Gimbal sistemleri kapsamında olan hassas döner hareket simülatörleri, rate table, ve döner tablalar savunma, uzay ve havacılık alanlarında ivmesel sensörlerin (jiroskop ve accelerometer gibi) kalibrasyonları için kullanılmaktadır. Prensipte açısal enkoderler ile hassas döner tablaların bir araya getirilerek çok eksenli açısal rotasyonlar sağlanmasıdır. Temelde X, Y, ve Z koordinat eksenlerinde konumlanarak, saat yönü ve tersinde (CW ve CCW) hassas açısal hareket sağlarlar. Özellikle savunma sanayiinde kullanılan insansız hava araçlarında görüntüleme ve atış füze rampalarında, lazer silahlarında de kullanılan gimballar genelde 2 eksende açısal hareketlerle (azimut ve elevasyon) arc saniyeler mertebesinde doğrulukla hedefe kilitlenilmesini sağlamaktadırlar.. Bu sistemlerin kalibrasyonları sistemin ne kadar iyi olduğuna da bağlı olmakla birlikte kaliteli bir gimbal için ülkemizde 0,12 arc saniye belirsizlikle hem akredite hem de dünyada geçerli kalibrasyon kabiliyetine (CMC) TÜBİTAK UME sahiptir. Bu gibi düşük belirsizliklere ulaşmak için kalibrasyonu yapılan cihazın da tekrarlanabilirlik performansının iyi olması gerektiği unutulmamalıdır.

Şekil 6 (c, d, e, f)'de IDEF 2019 fuarında çekilmiş fotoğraflar bulunmaktadır. Şekil 6 (c ve f)' de Gimbal sistemlerin araç üzerinde kullanımı ve açısal değer konfigürasyonları verilmiştir. Şekil 6 (d) 'de aracın üzerine monte edilmiş, Gimbal sistemi üzerindeki hassas açısal konumlamalar ile çalışan ülkemizde imal edilmiş lazer silahı görülmektedir. Şekil 6 (e)'de lazer silahının yakından görüntüsü görülmektedir. Lazer silahının hedefe kitlenmesi için hassas açısal konumla yaptıran gimbal sistemi ülkemizde bir KOBI tarafından üretilmiş olup açısal performans testleri ve kalibrasyonu TÜBİTAK UME'de yapılmıştır.

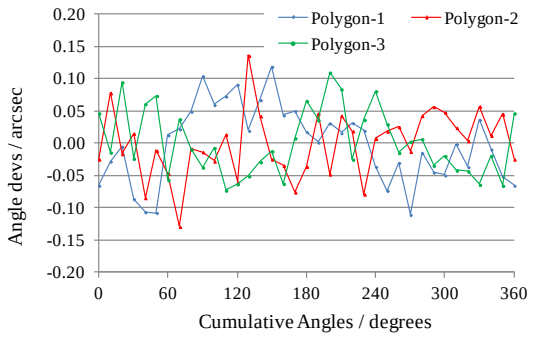
TÜBİTAK UME tarafından gimbal testlerinin ne kadar düşük bir belirsizlikle yapılabileceğini göstermek için, bu kalibrasyonlarda kullanılan 36 yüzlü bir poligonun kalibrasyon sonuçları ve üretici firma (Möller Wedel Optical - MWO) sonuçları ile karşılaştırılması **Şekil 7'** de gösterilmektedir. **Şekil 8**' de 36 yüzlü poligonun 2 gün süren kalibrasyonunun ikinci tekrarı sonrası sonuçlar arasındaki fark görülmektedir. Şu an dahi çok küçük olan (0.05") bu farkların minimize edilmesi TÜBİTAK UME'de yapılan bilimsel

araştırmaların bir konusudur. Ayrıca, bu sorunların giderilmesinde kullanılacak yeni nesil açı enkoderleri (diğer bir değişle çok okuma kafalı açı enkoderleri) TÜBİTAK UME'deki bir diğer araştırma konusudur.

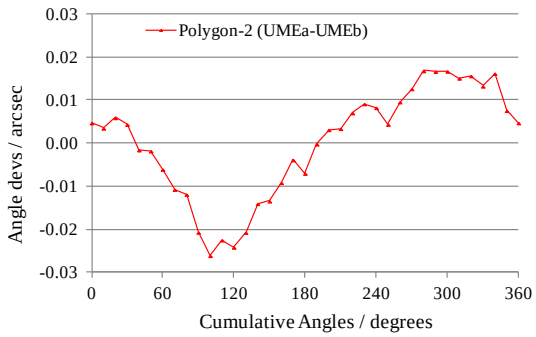
Tüm bu bilgi birikimi ile ülkemizde yeni nesil açı enkoderleri kullanarak özel açısal sistemler, gimbal sistemleri, savunma aparatları geliştirmek isteyen firmalara destek olmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin ülkemizde yapılması halinde üretim aşamasından itibaren birlikte çalışılarak ihtiyaç duyulan değerlerin elde edilmesine yardımcı olunabilecektir.



Şekil 6. Savunma sanayiinde açısal ekipmanların uygulamaları: (a) ve (b) Gimbal mekanızması uygulayan dev tablalar (savunma sanayii ekipman testleri), (c) IDEF Fuarı askeri araç, ve üzerine monte edilmiş gimbal mekanizması (f) açısal özellikler (d) Lazer silahı araç üzerinde (e) Lazer cihazı ve gimbal sistemi (Yerli üretimi yapılan ve UME'de açısal hata testleri tamamlanan) yakın görüntü.



Şekil 7. 3 adet 36 yüzlü poligonun ölçüm sonuçları için TÜBİTAK UME ve MWO arasındaki farklar kalibrasyon belirsizliklerin çok altında olup, sonuçlar son derece uyumludur. (U_{UME} = 0.12", U_{MWO} = 0.5")



Şekil 8. 36 yüzlü poligonun TÜBİTAK UME'de yapılan 2 set ölçüm arasındaki farkı. Hata ayırma tekniği uygulanarak yapılan bir set ölçüm ($(36*36)*2_{CW+CCW}$ = 2592 ölçüm) iki gün sürmektedir. Tek okuma kafalı açı enkoderlerinin performans iyileştirme çalışmaları için kullanım.

3.2.2 Hedef prizmalı ayar fikstür testleri ve kalibrasyonları

Porro prizmalar: özellikle tek yönde açısal sapmalara duyarlılığı olan porro prizmalar, füze sistemlerindeki hedefleme mekanizmalarının boresight ayarları (hedef ile giden ürün arasındaki hem yatay hem dikey açının ayarlanması) için kullanım alanları bulunmaktadır. Porro prizmalar belli özel aparatlara bağlanarak, savunma sanayiinde ayar ekipmanları oluşturulur. Bu ayar ekipmanlarının kalibrasyonları için, yabancı askeri dokümanlar incelenerek istenen kriterlere uygun olarak özel ihtiyaçlara göre açısal ölçüm düzenekleri kurularak ve prizmaların kendi gövdelerine göre diklik, paralellik ayarlarının kontrolü 1 arc sec' nin altında belirsizlikte yapılabilmektedir. Bu konuda gelen savunma sanayiinin taleplerini rahatça karşılayabilmekteyiz (**Şekil 9**).

Şekil 9. Savunma sanayii için TÜBİTAK UME'de prizmalı ayar fikstür testleri ve ayarları

3.2.3 Görev Esaslı Otokolimatör Seçimi, Kullanımı ve Kalibrasyonu

Açısal ölçümlerde yoğun olarak kullanılan otokolimatörler çok çeşitli ve farklı özelliklerde olabilmektedir. Hedefle otokolimatör arasındaki mesafe değiştikçe otokolimatörlerin açısal hatalarının ciddi değerlerde etkilendiği, yansıtıcı yüzeyin yansıtma miktarlarındaki değişikliklerde yine otokolimatörün açısal hatalarında değişiklikler meydana geldiği, iç bükey/dış bükey eğimli yüzeylerde farklı sonuçlar verdiği, kullanımları sırasında aparture ile birlikte kullanımı durumunda farklı cevaplar verdiği 2013-2016 yıllarında yapmış olduğumuz SIB58 Angles projesinde incelenmiş ve tespit edilmiştir [13,14]. Bu bilgileri kullanarak özellikle füze mekanizmalarında hedeflerin ayarlanması sırasında hedefle otokolimatör arasındaki mesafe değişikliklerinden kaynaklanacak otokolimatördeki açısal hataların incelenmesi son derece önem arz etmektedir. Bazı otokolimatör markalarında sözü geçen mesafe değişimi 50-100 mm dahi olsa, 2-3 arc saniye hatalara sebep olmaktadır. Bu konuda çalışan savunma sanayii firmalarındaki çalışanların dikkatli olmaları gerekmektedir: Örneğin otokolimatör seçerken TÜBİTAK UME ile görüşebilir, seçimi yapılan otokolimatörlerin ihtiyaçlarına göre performansları kontrol edilebilir veya görev esaslı otokolimatör kalibrasyonları (otokolimatörlerin gerçek uygulamada kullanım şartları dikkate alınarak) yaptırılıp, hataları minumuma indirilebilir.

3.2.4 Büyük boyutlu optik yüzeylerin düzlemsellik ya da form ölçümü

Savunma sanayii firmaları büyük optik yüzeylerin ülkemizde yapılması için çalışmalar yapmaktadır ve bu amaçla TÜBİTAK UME' de otokolimatörle açısal ölçüm esaslı optik yüzeylerin profil ölçümü sisteminin değiştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Özelikle dev optik yüzey ve aynaların profil ölçümleri için dünyada ileri seviye araştırma kurumları otokolimatörlerden faydalanmaktadır. Ayrıca bu amaçla geliştirdikleri cihazları için TÜBİTAK UME'den hizmet ve danışmanlık almaktadırlar.

3.2.5 Tank periskop sistemleri

Tank periskop sistemlerinin tanklardan çıkarılarak testlerinin ve kalibrasyonlarının yapıldığı, açısal hassas tablalar ve otokolimatör gibi açı standartları kullanılarak elde edilen, özel düzenekler mevcuttur. Referans özel poligon kullanılarak üzerlerinden sinyal alınarak arzu edilen eksende oturup oturmadıkları kontrol edilmektedir. Bunlarla ilgili olarak çalışmalarımız devam etmektedir. Ayrıca firmaların satın alacakları cihaz seçimlerinde de ihtiyacın doğru karşılanması için yardımcı olmaktayız.

SONUÇ

Yüksek teknoloji ile özellikle savunma, uzay ve havacılık sektörlerinde ihtiyaç duyulan hassas açı ölçümlerinin neler olduğu anlatıldıktan sonra, TÜBİTAK UME'nin açı ölçümleri konusundaki falliyetleri, SI açı birimi radyanın hassas bir şekilde elde edilişi ve dünyada ilk 5 içinde yer aldığı faaliyetlerin bir özeti yapılmıştır. Daha sonra ülkemizdeki savunma sanayii firmaların ihtiyaçları ve bunların nasıl karşılandığı örnekler ile anlatılmıştır.

Açı ölçümleri ve açı ölçüm cihazı geliştirme (gimbal sistemleri, döner tablalar vs.) alanlarında, tüm ihtiyaçların ülke içinde karşılanabilir durumda olduğu, bu alanda yapılan ve yapılacak çalışmalar için talep gelmesi halinde duruma özel olarak çözümler aranabilecek ve sunulabilecek seviyede açı ölçümlerinin ülke içinde karşılanabildiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

[1] https://tr.wikipedia.org/wiki/Marshall_Plan%C4%B1
[2] https://www.youtube.com/watch?v=1ujwZvMV2mE / Türk Savunmasının hikayesi 5N1K
[3] Yandayan T. “Açı metrolojisi, bilimsel ve endüstriyel alanlardaki uygulamaları, üst düzey yeni talepler ve projeler” , Mühendis ve Makine, Cilt 55, Sayı 653, Sayfa 60-76, Haziran 2014.
[4] Sim P J 1984 Angle standards and their calibration Modern Techniques in Metrology ed P L Hewitt (Singapore: World Scientific) pp 102-21
[5] Yandayan T., Akgöz S. A. and Haitjema H., “A novel technique for calibration of polygon angles with non-integer subdivision of indexing table,” Precision Engineering: J. Int. Soc. Precision Engineering and Nanotechnology, 26, 412-424 (2002).
[6] Yandayan T., "Application of the novel technique for calibration of 23-sided polygon with non-integer subdivision of indexing table," IMEKO 8th Internatiobal Symposium on ISMQC, Erlangen, Germany, October 12-15, 2004.
[7] YANDAYAN T. et al, "High precision small angle generator for realization of the SI unit of plane angle and calibration of high precision autocollimators" Meas. Sci. Technol. 23 (2012), 094006.
[8] Yandayan T. "A portable Large Range Small Angle Generator (LRSAG) for precise calibration of autocollimators", Proceedings of the 17th international conference of the european society for precision engineering and nanotechnology, May 29th - 2nd June 2017, Hannover, Germany, 2017.
[9] Probst R, Wittekopf R. EUROMET Project No. 371 Interlaboratory comparision angle calibration on precision polygons. Final report (Draft A2). Braunschweig (Germany): PTB, June 2000.
[10] EURAMET.L-K3.2009 Karşılaştırma raporu (Otokolimatör kalibrasyonu) https://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_info.asp?cmp_idy=1008&cmp_cod=EURAMET.L-K3.2009&prov=exalead
[11] http://anglemetrology.com/
[12] EURAMET Guide 22, 2017, Calibration of Autocollimators https://www.euramet.org/
[13] CELIK M et al 2016 Meas. Sci. Technol. 27 035201 10pp, doi:10.1088/0957-0233/27/3/035201
[14] Tanfer Yandayan et al "Investigations of interpolation errors of angle encoders for high precision angle metrolog", 2018 Meas. Sci. Technol. 29 064007
[15] Yandayan T, Akgoz S A, and Asar M, "Calibration of high-resolution electronic autocollimators with demanded low uncertainties using single reading head angle encoders" Meas. Sci. Technol. 25 (2014), 015010 (16pp).
[16] Akgoz, S.A., Yandayan, T. "High precision calibration of polygons for emerging demands", XXII IMEKO World Congress, Belfast (03-06/09/2018) : 4 p. 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1065 142005

ÖZGEÇMİŞ

Aslı AKGÖZ

Sibel Aslı AKGÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur.
1997 yılında TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak işe başlamıştır. Uzmanlık alanları Açı metrolojisi ve Mastar Bloklar konularındadır. UME'de interferometrik yöntemle mastar blokların birinci seviyede ölçümlerine başlanması, rutin hale getirilmesinde aktif olarak görev almış, bu alanda çalışmalara başlanmasını ve hizmet verilmesini sağlamıştır. Açı metrolojisi ile ilgili laboratuvarın kurulması ve geliştirilmesinde aktif olarak çalışmalarıyla görev almıştır. Tam bölünemeyen indeks tablaların kalibrasyonu için yeni yöntem geliştirmiştir. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği ve yürütücülüğünü TÜBİTAK UME'nin yaptığı SIB 58 Angles açı metrolojisi projesinde çalışmıştır. Uluslararası izlenebilirliği sağlamak için düzenlenen çok sayıda uluslararası anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır, pilot lab. olarak da karşılaştırma yürütmüştür. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, ayrıca iki adet ulusal karşılaştırmanın yürütücülüğünü pilot laboratuvar olarak gerçekleştirmiştir.

Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, 'CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü' konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, Mart 1997'de mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME'de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürüten Tanfer Yandayan, dönem dönem UME Mekanik Grup Koordinatörlüğü yapmıştır. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarını hazırlamış ve yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK'ın kuruluşu sırasındaki çalışmalarda yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuar akreditasyonu denetimlerine katılmış ve TÜRKAK sektör komitesinde uzun süre görev yapmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2008-2012 ve 2012-2016 yılları arasında Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini açıklayan Avrupa Komisyonu için rapor hazırlamış ve uyumlaştırma çalışmalarında bulunarak AB çerçeve programları kapsamında 2 adet proje tamamlamıştır. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME'ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği bu projenin koordinatörlüğünü yapıp tamamlamıştır. Çok sayıda uluslararası konferanslara ve kurumlara davetli konuşmacı olarak katılan Tanfer Yandayan, yabancı akreditasyon organizyonlarının daveti üzerine eğitimler, danışmanlıklar vermekte ve laboratuvar akreditasyon denetimlerine katılmaktadır. Aynı zamanda akademik çalışmalarına devam eden Tanfer Yandayan, Gebze Teknik Üniversitesinde "Mekanik Ölçüm Prensipleri", Sabancı Üniversitesinde "İmalat Metrolojisi" yüksek lisans derslerini vermektedir. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan Tanfer Yandayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, mastar blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır.

DİRENÇ SENSÖRLÜ GÖSTERGELİ SICAKLIK ÖLÇERİN SIVI BANYO VE KURU BLOK KALİBRATÖRÜNDE KALİBRASYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Ali UYTUN
Alfred Emil NKHAMA
Murat KALEMCİ

ÖZET

Göstergeli Sıcaklık Ölçerler kalibrasyonlarının sıvı banyolarda yapılması en doğru seçim olmasına rağmen, ikinci seviye laboratuvarlar, daha hızlı, geniş ölçüm aralığı ve kullanım kolaylığından dolayı kuru blok kalibratörlerini tercih etmektedir. Ancak kalibre edilen göstergeli sıcaklık ölçerin, kalibrasyonda kullanılan sıcaklık kaynağından daha hassas olması, kalibre edilen termometre sonuçlarının doğru olarak belirlenmemesine sebep vermektedir.

Bu çalışmada direnç sensörlü bir göstergeli sıcaklık ölçerin, -30 °C ile 140 °C sıcaklık aralığındaki kalibrasyonu farklı iki adet kuru blok ve sıvı banyoda gerçekleştirilmiştir. Her bir sıcaklık kaynağı için kalibrasyonu yapılan göstergeli sıcaklık ölçer belirsizlik değeri hesaplanmış ve her biri için sıcaklık kaynağından gelen belirsizlik değeri etkisi ayrıca irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Göstergeli sıcaklık ölçer, sıvı banyo, kuru blok kalibratörü, termal etkiler, belirsizlik

ABSTRACT

The optimum way of calibrating digital thermometers is to perform the calibration in liquid baths. However, most of the accredited laboratories prefer to use dry block calibrators due to their fast response, portability and wide application range. Nevertheless, we should keep in mind that using temperature sources which has lower sensitivity and resolution would underestimate the performance of the thermometer under calibration and would lead to mistaken results.

In this study, a digital thermometer which has resistive sensor was calibrated in the temperature range -30 ° and 140 °C by using two different dry blocks and also in liquid baths. The calibration uncertainty with each source was calculated and a special importance was given to the uncertainty arising from the thermal effects when using different temperature sources.

Key Words: Digital thermometer, Liquid Bath, Dry block calibrator, Thermal effects, Uncertainty.

1. GİRİŞ

Bir ölçümün izlenebilirliğini sağlamanın temel aracı, ölçüm cihazının veya ölçüm sisteminin kalibrasyonu olarak tanımlanır. Kalibrasyon, bir cihazın, sistemin veya referans malzemenin performans özelliklerini belirler. Bu, genellikle ölçüm standartları veya sertifikalı referans malzemeleri ile doğrudan karşılaştırma ile sağlanır. [1]

Sıcaklık ölçümlerinde kalibrasyon iki metot ile gerçekleştirilmektedir :

- ✓ Sabit noktalarda kalibrasyon (Uluslararası sıcaklık ölçeği 1990 (ITS-90) [2] da tanımlı, birinci seviye kalibrasyon)
- ✓ Karşılaştırmalı metotla kalibrasyon

Karşılaştırmalı kalibrasyon metodu ile Göstergeli Sıcaklık Ölçerlerin kalibrasyonlarının sıvı banyolarda yapılması en doğru seçim olmasına rağmen, ikinci seviye laboratuvarlar, daha hızlı, geniş ölçüm aralığı ve kullanım kolaylığından dolayı kuru blok kalibratörlerini tercih etmektedir. Ancak kalibre edilen göstergeli sıcaklık ölçerin, kalibrasyonda kullanılan sıcaklık kaynağından daha hassas olması, kalibre edilen termometre sonuçlarının doğru olarak belirlenmemesine sebep vermektedir.

Bu çalışmada karşılaştırmalı kalibrasyon metodu ile, bir adet platin sensörlü göstergeli sıcaklık ölçer hem sıvı banyolarda ve hem de iki adet farklı sıcaklık kuru bloğunda kalibre edilmiştir. Bu yayında kalibre edilen platin sensörlü göstergeli sıcaklık ölçer, kısaca kalibre edilen cihaz (KEC) olarak adlandırılacaktır. KEC, aynı sıcaklık noktalarında ve aynı referans termometre kullanılarak kalibre edilmiştir. Böylece KEC belirsizlik hesabında sadece sıcaklık ortamından kaynaklanan belirsizlik değeri değişmiş olacaktır.

KEC kalibrasyonundan önce, sıcaklık kaynaklarının dağılımları ve kararlılık değerleri, kalibre edilen sıcaklık aralığını kapsayacak şekilde, minumum, orta ve maksimum değerde belirlenmiştir. Ölçümlerde kullanılan sıcaklık kuru bloklarının sıcaklık dağılımları ve kararlılık çalışmaları ve ortam belirsizlikleri EURAMET rehber dokümanına (Cg-13) [3] uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ölçümlerin gerçekleştirildiği sıvı banyoların sıcaklık dağılımları ve kararlılık çalışmaları ise UME Sıcaklık laboratuvarının daha önce yapmış olduğu çalışmalarla elde edilmiştir.

2. KEC KALİBRASYONU

Bu çalışmada KEC, -30 °C ile 140 °C sıcaklık aralığında, iki adet farklı kuru blok ve sıvı banyolar kullanılarak kalibre edilmiştir. Her bir sıcaklık kaynağı için KEC'in belirsizlik değerleri EA-04/02 [4] ye uygun olarak hesaplanmış ve her biri için sıcaklık kaynağından gelen belirsizlik değeri etkisi irdelenmiştir.

Kalibrasyonda kullanılan cihaz bilgileri aşağıdaki Tablo1 de verilmiştir.

Tablo 1. Kalibrasyonda kullanılan cihaz bilgileri

Cihaz	**Üretici**	**Model**
Kuru blok	FLUKE	9170
Kuru blok	ISOTECH	VENÜS
Yağ Banyosu	FLUKE	6020
Su Banyosu	ISOTECH	796m
Alkol Banyosu	HETO	01DBT200
Direnç Sensörlü Direnç Termometresi	FLUKE	5626
Standart Platin Direnç Termometresi (SPRT)	FLUKE	5680
Sıcaklık Köprüsü	ISOTECH	Micro K Gold
Gösterge	FLUKE	1529-R

2.1. Kuru Blok ve Sıvı Banyo Karakterizasyonu

Ölçümlerde kullanılan sıcaklık kuru bloklarının kalibrasyonları EURAMET rehber dokümanına (Cg-13) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kuru blokların ölçüm aralığını kapsayacak şekilde minimum, orta ve maksimumu sıcaklık değerlerinde belirsizlik hesaplamaları da yine rehber dokuman uygun olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan cihazlar kodlanarak, çalışmanın gerçekleştirildiği sıcaklık değerleri ile birlikte genişletilmiş belirsizlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2. Sıcaklık ortamı olarak kullanılan sıcaklık kaynaklarına ait belirsizlik değerleri

Cihaz	Sıcaklık Değeri /°C	Belirsizlik değeri /°C
	-30,000	0,007
	60,000	0,024
Kuru Blok A	130,000	0,024
	-30,000	0,052
	60,000	0,060
Kuru Blok B	130,000	0,317
Sıvı Banyo A	-30,000	0,005
Sıvı Banyo B	60,000	0,007
Sıvı Banyo C	130,000	0,007

3. KEC'İN KARŞILAŞTIRMALI YÖNTEMLE KALİBRASYONU

KEC'ın, -30 °C ile 140 °C sıcaklık aralığında, farklı iki adet kuru blok ve sıvı banyolarda kalibrasyonu karşılaştırmalı kalibrasyon metodu ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Kalibrasyon ölçüm sonuçları

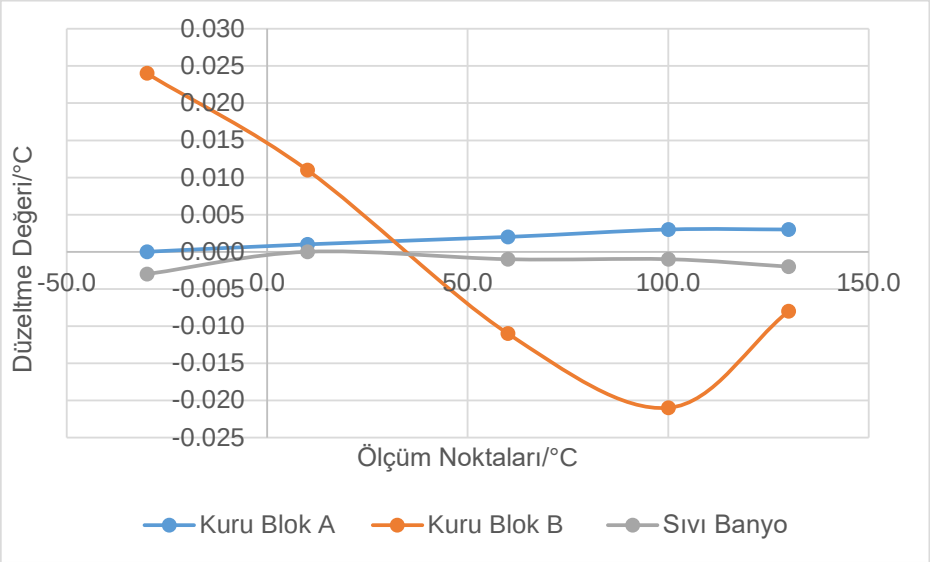
Sıcaklık Ortamları	Referans Değer °C	KEC Değeri °C	Düzeltme Değeri °C	Belirsizlik Değeri °C
	-30,034	-30,034	0,000	0,009
	9,979	9,978	0,001	0,018
	59,981	59,979	0,002	0,028
	99,963	99,960	0,003	0,028
Kuru Blok A	129,972	129,969	0,003	0,028
	-29,816	-29,840	0,024	0,061
	10,076	10,065	0,011	0,065
	59,864	59,875	-0,011	0,070
	99,799	99,820	-0,021	0,243
Kuru Blok B	129,656	129,664	-0,008	0,370
	-30,142	-30,145	-0,003	0,006
	10,021	10,021	0,000	0,005
	60,057	60,056	-0,001	0,009
	100,003	100,002	-0,001	0,006
Sıvı Banyolar	130,012	130,010	-0,002	0,006

Alınan ölçümler sonucu elde edilen düzeltme değerleri, sıcaklık ortamlarına göre karşılaştırıldığında sıvı banyoda yapılan ölçümlerin en düşük çıktığı, yanı referans termometre ile KEC'in birbirine çok yakın değerler okuduğu görülmüştür. Hesaplanan belirsizlik değerinin 5 mK ile 9 mK arasında olduğu görülmüştür.

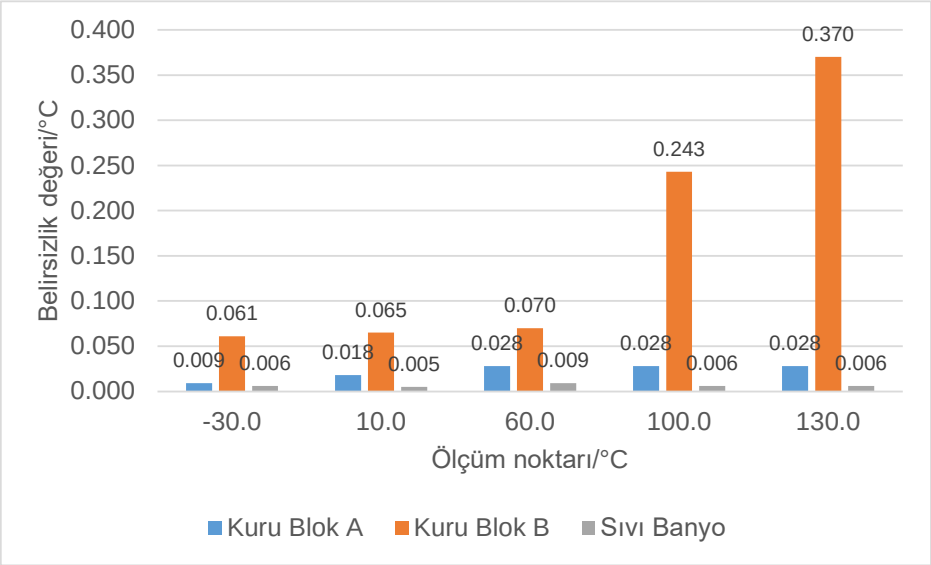
Kuru Blok A için ise, düzeltme değerlerinin sıvı banyo değerleri için bulunan değerlere yakın çıkmasına rağmen belirsizlik değerinin 9 mK ile 28 mK arasında bulunduğu görülmüştür.

Kuru Blok B için ise, düzeltme değerleri diğer iki sıcaklık ortamından daha büyük olarak bulunmuştur. Ayrıca belirsizlik değerinin de ciddi bir artış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu değer 61 mK ile 370 mK aralığındadır.

Bu sonuçlar, aşağıdaki grafiklerde, Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Ölçüm sonuçları (Düzeltme Değerleri)



Şekil 2. Ölçüm sonuçları (Belirsizlik Değerleri)

Alınan sonuçlara bakıldığında sıvı banyolarda alınan ölçümlerin düzeltme değerleri ve belirsizlik değerlerinin KEC'in çözünürlük ve kararlılığına uygun sonuçlar verdiğini görmekteyiz.

Ayrıca Kuru Blok A da alınan ölçümlerin ve sonuçların sıvı banyolarda alınan ölçümlere yakın olduğu ancak belirsizlik değerinin daha büyük çıktığı görülmüştür. Yani KEC'den kaynaklan belirsizlik bileşenlerinden değil, kuru blok ortamından dolayı belirsizlik büyümüştür ve KEC'in belirsizlik değeri kalibre edilen ortamdan dolayı büyümüştür.

Kuru Blok B de alınan ölçümlerin ise, KEC in kalitesine uygun olmadığı, yüksek belirsizlik ve düzeltme değerlerinin oluştuğu görülmüştür. Kuru Blok B ile alınan ölçümler KEC'in kalitesini doğru olarak belirlememiştir.

SONUÇ

Kalibrasyon, bir cihazın, sistemin veya referans malzemenin performans özelliklerini belirmek olarak tanımlanır. Bu tanıma uygun bir kalibrasyon için kalibre edilecek cihazın performansını doğru belirlemek için, kalibrasyon ortamının, referans termometrenin ve kalibrasyon düzeneğinin doğru olarak kullanılması gerekmektedir. KEC'in performansını belirlerken sadece referans termometreyi doğru olarak belirlemek yetmemektedir. Ayrıca sıcaklık ortamını da doğru belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmada da görüldüğü gibi sıvı banyolarda en yüksek 9 mK belirsizlik ve düşük düzeltme değerleri ile performansı belirlenen bir termometre, yanlış olarak seçilen bir ortam ile yüksek düzeltme değerleri ve 370 mK belirsizlik ile belirlendiği görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda, sıcaklık kalibrasyonlarında sıcaklık kaynaklarının KEC'in kalitesine göre belirlenmesi gerektiği önemi ortaya bir kez daha çıkmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Kısaca Metroloji, http://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/kisaca_metroloji.pdf
[2] The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), Metrologia 27, 3-10, 1990
[3] EURAMET cg13 Rehber dokümanı, Calibration of Temperature Block Calibrators (09/2017)
[4] EA 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 2013

ÖZGEÇMİŞ

Ali UYTUN

1997 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Yüksek Mühendis ünvanı almıştır. 1998 yılında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Araştırmacı olarak göreve başlamıştır ve halen bu görevini sürdürmektedir. 2009 yılından beri sıcaklık ve nem ölçümleri konusunda teknik denetçisi ve baş denetçi olarak TÜRKAK denetimlerinde görev almaktadır. Birçok yurt dışı ve yurt içi araştırma projelerinde yürütücü ve/veya proje çalışanı olarak görev almıştır. Sıcaklık sabit noktaları, suyun üçlü noktası, standart platin direnç termometresi, direnç termometreleri, ısılçift, cam termometreleri, nem ölçümleri ve benzeri cihazların kalibrasyonları, eğitimleri, danışmanlık hizmetleri çalışma konularından bazılarıdır.

Alfred Emil NKHAMA

Tanzanya Standartlar Bürosu (Tanzania Bureau of Standards(TBS)), Sıcaklık laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaktadır. BIPM ve TÜBİTAK UME işbirliği ile gerçekleştirilen, araştırmacıların yer değiştirme programı kapsamında TÜBİTAK UME Sıcaklık laboratuvarına bu yayında verilen çalışmayı gerçekleştirmek için gelmiştir. Bu yayın kapsamında ölçümler onun tarafından alınmıştır. Bu kapsamda ona eğitim ve danışmanlık hizmeti verilmiştir.

Murat KALEMCİ

1972 yılı İzmir doğumludur. Bornova Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden 1996 yılında mezun olmuştur. 1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü'nden Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2011 yılında ise Yeditepe Üniversitesi'nden Doktor ünvanı almıştır.

1998 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Sıcaklık Laboratuvarında çalışmaktadır. 2011 yılından bu yana Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olup, TÜBİTAK UME'nin EURAMET TC-T ve BIPM CCT nezdinde temsilciğini yapmaktadır. Ayrıca TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde denetçi olarak görev yapmaktadır.

TÜBİTAK UME'DE YENİ EMPIR PROJESİ: ISILÇİFT PERFORMANSININ GÖZLENMESİ İÇİN İZLENEBİLİR ÖLÇÜM YETENEKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Narcisa ARİFOVİÇ
Danijel SESTAN
Davor ZVİZDİÇ
Nedzadeta HODZİÇ

ÖZET

Bu çalışmada, Yenilik ve Araştırma için Avrupa Metroloji Programı (EMPIR - European Metrology Programme for Innovation and Research) kapsamında TÜBİTAK UME'nin proje koordinatörü olduğu "MetForTC: Traceable Measurement Capabilities for Monitoring Thermocouple Performance (Isılçift Performansının Gözlenmesi İçin İzlenebilir Yeteneklerin Geliştirilmesi)"projesinin genel amaçları, proje bünyesinde gerçekleştirilmesi planlanan çalışmaların ve proje çıktılarının endüstrinin ihtiyaçları doğrultusunda nasıl bir etki yaratacağı konu başlıklarında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: EMPIR, MetForTC Projesi, Isılçiftin Performansının izlenmesi

ABSTRACT

This paper deals with the objectives of new European Metrology Programme for Innovation and Research Empir Project Traceable Measurement Capabilities for Monitoring Thermocouple Performance (MetForTC) that has been leading by TÜBİTAK UME. The general aim of this Project, planned activities and effect of planed developed novel scientific and technical capabilities in improving the metrological infrastructures in temperature field will be discussed.

Key Words: EMPIR, MetForTC Project, Thermocouple Performance Monitoring

1. GİRİŞ

Yüksek doğruluklu sıcaklık ölçümlerinde kullanılan Isılçiftlerin, termoelektrik kararsızlık veya kalibrasyon kayması, kullanıcıları için büyük bir sorundur. İn-situ uygulamalarında, ısılçift performansını saptaması ve doğrulaması için standartlaştırılmış metodoloji bulunmamaktdır. Bununla birlikte, yüksek doğruluklu birincil ve ikincil seviye kalibrasyonlar için ısılçiftlerin homojenliğinin belirlenmesi büyük önem arzetmektedir.

CG-8 "Isılçiftlerin Kalibrasyonu" EURAMET Rehber Dokümanı, kalibrasyon laboratuvarları ve akreditasyon kuruluşları tarafından ısılçiftlerin kalibrasyonu için yaygın olarak kullanılan önemli bir rehberdir. [1] Rehber dokümanı; ısılçiftin homojenite etkisini ısılçift kalibrasyonunun standart ölçüm belirsizlik bütçesinde tanımlamış ve bu etkinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için yöntem önermiştir. Bu yöntem, homojen sıcaklık kaynağında yerleştirilen ısılçıftın konumuna bağlı gerilim değişiminin tespitini içerir. Ne yazık ki, ısılçiftlerin homojenliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek standartlaştırılmış, kullanımı kolay ve pratik cihazlar mevcut değildir. [2,3] Bu sebeple, kullanıcılar ısılçift homojenliğini ölçmek yerine, ısılçiftler için EN IEC 60584-2 [4] Tablo 1'de belirtilmiş toleranslar kullanmaktadırlar.

Tablo1. Isılçiftlerin Tipleri için EN IEC 60584-2 toleransları

Isılçift Tipi	*Tolerans Klas*	*En Büyük Sapması [°C]*
J	1	± 0,004|*t*| or ± 1,5 ° C
	2	± 0,0075|*t*| or ± 2,5 ° C
K ve N	1	± 0,004 |*t*| or ± 1,5 ° C
	2	± 0,0075|*t*| or ± 2,5 ° C
	3	± 0,015 . |*t*| or ± 2,5 ° C
S	1	± [1+(*t*-1000)x0,003] or ± 1,0 ° C
	2	± 0,0025|*t*| or ± 1,5 ° C
B	2	± 0,0025|*t*| or ± 1,5 ° C
	3	± 0,005|*t*| or ± 4° C

Bu toleranslar, ısılçift homojenliğinden kaynaklanan belirsizlik parametresi olarak kullanıldığı taktirde gereğinden fazla büyük standart belirsizliği meydana getirmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak ve gerekli bilgi elde etmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Birkaç EMPIR Projesinde (14RPT05 Eura-Thermal, 14IND04 EMPRESS, SIB10 NOTED) kararlılık, homojenlik ve ısılçiftlerin kayması incelenmiştir. Bunun yanısıra, Ulusal Metroloji Enstitüleri (INM) Sıcaklık Laboratuvarları tarafından gerçekleştirilen ortak bir çalışma ile ısılçiftlerin homojenliğinden kaynaklanan standart belirsizliği CG-8 Rehber Dokümanında revize edilmiştir. Isılçiftlerin homojenliğinden kaynaklanan revize edilen yeni standart belirsizlik değerleri Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Isılçiftlerin Tiplerine Göre Homojenliğinden Kaynaklanan Standart belirsizliği / °C [1].

Isılçiftlerin Tipleri	Standart belirsizliği / °C
K & N	0,10%
R & S	0,02%
B	0,05%
Au/Pt & Pt/Pd	0,01%
Diğer Pt/Rh	0,25%

Ancak, yapılan çalışmalar birincil ve ikincil seviye laboratuvarlar düzeyinde bu konular ile ilgili metodolojinin oluşması ile tam sonuçlanmamıştır. [5] Bu sebepledir ki, Tübitak UME liderliğinde ve toplam 10 NMI Sıcaklık laboratuvarının katılmasıyla, MetForTC adıyla yeni bir EMPİR projesi başlatılmıştır. [6]

Üç yil süre ile, TÜBİTAK-UME-Türkiye, FSB-Hırvatistan, BFKH-Macaristan, IMBiH-Bosna Hersek, CMI-Çek Cumhuriyeti, BIM-Bulgaristan, BRML-Romanya, JV-Norveç, INM-Moldova ve MER-Karadağ kuruluşlar tarafından yürütülecek proje Haziran 2019 yılında başlamıştır.

Araştırmanın amacı, birincil ve ikincil kalibrasyon laboratuarları için ısılçift performansının doğrulanması için yeni bilgiler, yöntemler ve ekipmanlar geliştirmektir. Bu proje, 3 teknik iş paketine (İP) ayrılmıştır. İP1'de ısılçiftlerdeki kayma ve İP2'de homojenlik hakkındaki bilgileri önemli ölçüde artıracaktır.İP3 birincil ve ikincil seviye laboratuvar uygulamalara yönelik yeni ekipmanlar geliştirilmesini kapsamaktadır.

2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMLİ NOKTALARI

Isılçift temellerini kısa bir gözden geçirmek ısılçift homojenliğini anlamaya yardımcı olabilir. İletken A ve iletken B'yi (her biri L uzunluğunda olan) konum boyunca sıcaklık dağılımı (gradyan) olan bölge içinde ve elektriksel olarak bağlanmış bir çift telin açık uçlarında ölçülen gerilim eşitlik (1)'deki gibi ifade edilir:

$$E = \int S_{AB}(T,x)\cdot\left(\frac{dT}{dx}\right)\cdot dx \qquad (1)$$

S_{AB} Seebeck katsayısıdır ve hem sıcaklığa (T=T(x)) hem de tel boyunca konuma (x) bağımlıdır.

Denklem (1)'den, ölçülen gerilime izotermal, yani konum boyunca sıcaklık değişimi, dT/dx, sıfır olduğunda telin izotermal bölgedeki kısımlarının gerilime bir katkısı olmadığı açıktır. Isılçift tarafından oluşturulan elektromotor kuvveti (emk), ısılçift ucunda değil sıcaklık dağılımı dT olan bölgesinde üretilir. Sıcaklık farkına ek olarak, ölçülen emk, Seebeck katsayısından kaynaklanır. Seebeck katsayısı, $S_{AB}(T,x)$ denklem (1)'de ısılçift boyunca konumun bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Emk voltajı, yalnızca ısılçiftin her bir termoelemanı homojen bir kompozisyona sahip ise uçlarda olan sıcaklık farkına bağlıdır. Genellikle ısılçiftin tel uzunluğu boyunca özdeş bir yapısı olmadığından, Seebeck katsayısı aynı zamanda ısılçift boyunca pozisyonun bir fonksiyonuna dönüşerek, maruz kaldığı sıcaklık dağılımı ve kontaminasyonuna bağlı olarak tellerin yapısal değişikliğine (termoelektrik imza) yol açar. Bu nedenle, sıcaklık ölçümlerinde termoelektrik homojenlik ısılçiftlerin birleşik ölçüm belirsizliğine etki eden en önemli parametrelerden birisidir.

Bu etkiyi karakterize etmek ve belirsizlik analizlerini formüle ederken kullanılacak bu katkının büyüklüğünü belirlemek ile ilgili projede iş paketler oluşturulmuştur.

Projenin özel hedefleri:

1. 1100 °C'ye kadar olan sıcaklık aralığında, in-situ uygulamaları da kapsayacak şekilde, ısılçiftlerin kaymasının gözlenmesi için yeni yöntemler ve cihazlar geliştirmek ve test etmek.

2. 230 °C ile 1100 °C arasındaki sıcaklık aralığında birincil ve ikincil kalibrasyon laboratuarları için ısılçiftlerin kayma ve homojenlik testi için kullanımı kolay yöntem(ler) ve cihaz(lar) geliştirmek ve test etmek.

3. Proje, gelişmekte olan Ulusal Metroloji Enstitülerin (NMI'lerin) her birinde araştırma kapasitesi geliştirerek, geliştirilen NMI'lerden uzmanların uygulamalı eğitimi de dahil olmak üzere ortaklar arasında bilginin yayılması yoluyla gerçekleştirilecektir. Bu, gelişmekte olan ülkelerdeki NMI'lere ölçüm tekniklerini, olanaklarını ve uzmanlıklarını daha da geliştirme ve sonunda sıcaklık ölçümlerinde kapsamlı araştırma çalışmaları yapma fırsatı sağlayacaktır.

4. Akredite laboratuarları ve endüstri paydaşları için çalıştaylar düzenlenerek elde edilen bilgiler son kullanıcıya ulaştırılacaktır. Ek olarak, NMI'ler daha yakın ilişkilere sahip olacak, kullanıcılar, üreticiler ve diğer paydaşlar ile işbirliğini güçlendirilecek ve sıcaklık metrolojisinde izlenebilirlik ve iyi uygulamalar konusunda rehberlik sağlayacaktır.

3. PROJENİN TEKNİK KONULARI

Proje kapsamında, kapasiteyi geliştirerek homojen olmayan ve ısılçiftlerde değişikliklere neden olan parametrelerin kapsamlı incelenmesi için gerekli olan prosedürler ve ölçüm yetenekleri oluşturulacaktır. ITS-90'ın 232 °C (Sn FP) ile 1084 °C (Cu FP) sıcaklık aralığındaki bir dizi minyatür sabit nokta hücresi oluşturulacak ve ısılçiftlerin homojensizliğinin deneysel karakterizasyonu için kullanılacaktır. Projenin her bir hedefine yönelik İş paketi belirlenmiştir.

3.1 İşPaketi1: Isılçiftin in-situ kaymasının test edilmesi için yeni cihazlar ve yöntemlerin geliştirilmesi

Isılçiftlerin kayması genellikle yüksek sıcaklıklarda (1100 °C'nin üstünde) beklenirken, 150 °C'ye kadar düşük sıcaklıklarda da gözlenebilir. [3] Kayma oranı birçok faktörden etkilenir, ancak genellikle daha yüksek sıcaklıklarda daha belirgin hale gelir ve bu nedenle tahmin etmek kesinlikle mümkün değildir. Endüstriyel kullanıcılar için kayma, daha yüksek enerji maliyetleri, işlem kesintisine bağlı zaman kaybı (hatalı ısılçiftlerin değiştirilmesi veya yeniden kalibre edilmesi) gibi birçok soruna neden olmaktadır. İP1'de geliştirilecek yöntemler, bir ısılçiftin tipik kullanım koşulları altında performansının gözlemesini sağlayarak, standart test yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sunacaktır.

3.2 İşPaketi2: İzlenebilir yeni cihazların geliştirilmesi ve ısılçiftin inhomojenitesi karakterizasyonu için yeni yöntemlerin geliştirmesi

Bu iş paketinin amacı, kendini doğrulamış ısılçiftlerinin 1100 °C'nin altındaki kaymasını gözlemlemektir. Bu sebeple, sabit erime sıcaklıklarına sahip sabit noktalar kullanılarak, ısılçiftlerin kayma büyüklüğü tespit edilecektir.

TÜBİTAK, FSB ve CMI tarafından 232 ° C (Sn FP) ile 1084 ° C (Cu FP) arasındaki sıcaklıklarda dört farklı metalle (Sn, Zn, Al ve Cu) doldurulmuş minyatür kapsül hücrelerinin seti tasarlanacak, üretilecek ve validasyonu yapılacaktır.

Homojenlik testi için kullanılan yöntem, bir ısılçiftinin, bir sabit nokta hücre gibi üniform bir sıcaklık bölgesine adım adım yerleştirilmesidir. Bu yöntemde emk değişikliği ölçülecektır ve analizler yalnızca termal emk'lerde meydana gelen değişikliklere odaklanacaktır. Isılçiftler, hem laboratuvarde hem de in-situ yerinde kullanım koşullarına karşılık gelen farklı ortamlarda kullanılarak test edilecektir.

3.3 İşPaketi3 Isılçift verifikasyonu için yeni cihaz ve yöntemlerin geliştirmesi

Minyatür sabit nokta hücreleri, yeni geliştirilen faz-oranı algılama Curie-nokta cihazı ile birleştirilerek daha uzun sabit nokta platoları sağlaması için kullanılacaktır. Bu şekilde, kararlılık ve homojenlik testleri için uygun bir sistem kurulacaktır. Proje ortakları, ikincil ve birincil seviye laboratuarlarında yerinde uygulama yapacak ve bu yeni tekniklerin verifikasyonu ve validasyonu gerçekleştireceklerdir.

4. SONUÇ

Bu proje kapsamında, proje ortaklarının mevcut yetenek ve ihtiyaçlarını gözden geçirmek ve bu bilgilere dayanarak,metroloji sistemlerini daha iyi hale getirmeleri hedeflenmektedir.

Mevcut endüstriyel kalibrasyon hizmetlerinde, 232 °C ile 1100 °C sıcaklık aralığındaki belirsizlikler yaklaşık 2 °C ile 5 °C arasındadır. Bu araştırmanın sonuçları, ikincil seviyedeki kalibrasyon belirsizliklerinin 232 °C ile 1100 °C arasındaki sıcaklık aralığında 1,5 °C'ye düşürülmesine yol açacaktır.

Bu projenin sunduğu yöntemler ve olanaklar, ülkelerinde izlenebilirlik zincirinin tepesinde bulunan katılımcı birincil ve ikincil kalibrasyon laboratuarlarının kalibrasyon hizmetlerini geliştirecektir. Akredite ve endüstriyel kalibrasyon laboratuarları, gelişmiş kalibrasyon servislerine erişim sayesinde avantaj sağlayacaktır.Proje süresince edinilen bilgiler ile ilgili ülkelerdeki geliştirilen cihazları üretme ve böylece bu cihazları üretme için gerekli yetenekleri belirleme olanağına sahip olunacak.

TEŞEKKÜRLER

Burada sunulan çalışma, Avrupa Yenilik ve Araştırma Metroloji Programı (EMPIR) aracılığıyla finanse edilmektedir.EMPIR, EMPIR'a katılan ülkeler tarafından EURAMET ve Avrupa Birliği içinde ortaklaşa finanse edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Calibration Guide, EURAMET cg-8, CALIBRATION OF THERMOCOUPLES, Version 3.0 (03/2019)
[2] “A Study of the Temperature Dependence of Inhomogeneity in Platinum-Based Thermocouples”, Ferdouse Jahan and Mark Ballico, National Measurement Laboratory, CSIRO, Australia
[3] “A thermoelectric scanning facility for the study of elemental thermocouples”,Robin E Bentley CSIRO National Measurement Laboratory, Sydney 2070, Australia
[4] EN IEC 60584-2: 1995. Thermocouples, Part 2, Tolerances
[5] “A comprehensive survey of thermoelectric homogeneity of commonly used thermocouple types” Jonathan Machin, Declan Tucker and Jonathan V Pearce, National Physical Laboratory, United Kingdom.
[6] JRP protocol 18RPT04 MetForTC, "Traceable Measurement Capabilities for Monitoring Thermocouple Performance" Coordinator, Narcisa Arifovic,TUBITAK UME

ÖZGEÇMİŞ

Narcisa ARİFOVİÇ

1997 yılı itibarıyla TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Sıcaklık Standartları Laboratuvarında çalışmaktadır. JRP28i HiTeMS **“High temperature metrology for industrial applications (>1000 °C) [HiTeMS]”**, European Metrology Research Programme (EMRP) ve SIB10 NOTED **“Novel techniques for traceable temperature dissemination”**, projelerinde uzman araştırmacı olarak görev almıştır. Noted Proje kapsamında Altın/Platin tipi (Au/Pt) Referans ısılçiftnin tasarımı geliştirilerek, Au/Pt referans ısılçift yapılmıştır.

JRP r04 Eura-Thermal **“Developing traceable capabilities in thermal metrology”**, EMPİR, Projede iş paketi sorumlusu olarak görev almıştır. Proje kapsamında birincil seviye sıcaklık ölçümlerinde kullanılmak üzere sıcaklık sabit nokta hücre tasarımı, yapımı, geliştirilmesi, karakterizasyonu ve belirsizlik hesaplamaları proje kapsamında dört referans gümüş sabit nokta hücrelerinin yapımı ve karakterizasyonunu çalışmaları yapılmıştır. **“ITS-90 Sabit Noktaların Yapımı“** birincil seviye sıcaklık ölçümlerinde kullanılmak üzere ikişer referans açık kalay ve çinko sabit nokta hücrelerinin yapılmıştır. **“Isılçift Kalibrasyonu için Ötetik ve Sabit Noktaların Yapımı“** birincil seviye yüksek sıcaklık ölçümlerinde kullanılmak üzere ikişer referans açık bakır, demir-karbon ve kobalt-karbon sabit nokta hücrelerinin yapımı çalışması devam etmektedir.

Danijel SESTAN

FSB Hırvatistan Metroloji Enstitüsü'nde Sıcaklık Laboratuvarında Laboratuvar Sorumlusu olarak çalışmaktadır.Nem ve termometri alanında uzmandır. **Prof. Dr. Davor Zvizdic** ile birlikte Doktora çalışması olan bağıl nem ve çiğ noktası ölçümleri için Hırvat standartları geliştirir. JRP r04 Eura-Thermal **"Developing traceable capabilities in thermal metrology"**, EMPİR, Projede ve **HUMEA** Projelerinde **Nedzadeta HODZİÇ'in** liderliğinde bağıl nem ve çiğ noktası ölçümleri için standartları geliştirmek üzere çalışmıştır.

Davor ZVİZDİC

Uzun yıllara dayanan tecrübesiyle termometre ve nem alanlarında uzmandır. IMEKO TC-12 Yönetim Kurulu Başkanı, EURAMET TC-T ve TC-Q Temsilcisi, IMEKO TC-16 üyesi, EURAMET Genel Kurulu delegasyonu ve CIPM CCT üyesidir.

Nedzadeta HODZİÇ

IMBiH Bosna-Hersek Metroloji Enstitüsü'nde Sıcaklık Laboratuvarında çalışmaktadır. JRP r04 Eura-Thermal **"Developing traceable capabilities in thermal metrology"**, EMPİR, Projede çalıştı ve HUMEA Projesinde Proje lideri olarak bağıl nem ve çiğ noktası ölçümleri için standartları geliştirmek üzere çalışmıştır.

SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNDE BİR KARŞILAŞTIRMANIN DÜŞÜNDÜRDÜKLERİ

Aynur DAVUT

ÖZET

Laboratuvarlar arası karşılaştırma ölçümleri, laboratuvar kalite güvencesi olarak akreditasyon kuruluşlar tarafından akredite edilecek laboratuvar için yeterlilik göstergesi, Laboratuvarlar için ise kalitenin güvence altına alınması için bir araçtır. TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardında ise, standardın gerekliliklerinin sağlanması maddelerinden biridir bu nedenle TÜRKAK politikaları gereği laboratuvarlar bir akreditasyon çevrimi içinde akredite edilen kapsam konularının her birinden en az bir defa karşılaştırma ölçümlerine girmelidir. Bir diğer hususta LAK sonuçları alındığında başarılı veya başarısız olsun sonuçlar muhtelif açılardan ele alınmalıdır. Laboratuvar başarısız bir sonuç aldığında nedenleri araştırılmalı ve düzeltici faaliyet yapmalıdır. Sonuçlar laboratuvarın iyileştirilmesi açısından değerlendirilmelidir.

Bu nedenle 2017 yılında TÜBİTAK UME tarafından düzenlenen UME G1S1 -17-01 no.lu Pt100 Direnç termometresi karşılaştırma sonuçları, direnç termometresi kalibrasyonlarında kullanılan hesaplama yöntemleri açısından değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Laboratuvarlar arası karşılaştırma, Pt100 direnç termometresi, UME G1SI-17-01, TS EN ISO/IEC17025:2017, Laboratuvar kalite güvencesi

ABSTRACT

The interlaboratory comparison measurements are the indicators of competence for the laboratory to be accredited by accrediting organizations as laboratory quality assurance and it is a tool for ensuring quality. In the TS EN ISO / IEC 17025: 2017 standard, it is one of the clauses of meeting the requirements of the standard. Therefore, according to TURKAK policies, laboratories should undertake comparison measurements at least once in each of the accredited scope issues within an accreditation cycle. In another aspect, whether the LAK results are successful or unsuccessful, the results should be considered in various respects. If the laboratory fails, its causes should be investigated and corrective action taken. The results should be evaluated for laboratory improvement. For this reason, the comparison results of Pt100 Resistance thermometer UME G1S1 -17-01 organized by TÜBİTAK UME in 2017 will be evaluated in terms of the calculation methods used in resistance thermometer calibrations.

Key Words: Interlaboratory comparision, Pt100 Resistance thermometer, UME G1S1 -17-01, TS EN ISO/IEC17025:2017, Laboratory quality assurance

1. GİRİŞ

Direnç termometreleri, sıcaklığın fonksiyonu olarak, direncin değişmesiyle sıcaklığın değerinin belirlenmesinde kullanılır. Endüstriyel Direnç termometrelerinin sertifikalandırılmasında kullanılan denklem Callender Von Dusen denklemidir. Buna göre;

t > 0 °C ise; $R(t) = R_0(1 + At + Bt^2)$ (1)

alternatif bir formda tekrar yazılırsa [1],

$$R(t) = R(0℃)\left[1 + \alpha t + \alpha\delta\left(\frac{t}{100}\right)\left(1 - \frac{t}{100}\right)\right] \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{R(100℃) - R(0℃)}{100R(0℃)} \quad (3)$$

platinin saflığının ölçüsüdür ve platinin derecelendirilmesini tanımlamakta kullanılır.

$$\rho = \frac{R(29{,}7646℃)}{R(0℃)} \quad (4)$$

29,7646 °C galyum erime noktasıdır.

t< 0 °C ise; $R = R_0(1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3)$ (5)

olarak ifade edilir.

2. SERTİFİKALANDIRMA

İkinci seviye kalibrasyon laboratuvarları direnç termometresi kalibrasyonlarını imkanları dahilinde karşılaştırma metoduna göre yapar. Yani değeri bilinen referans direnç termometresi ile test edilen direnç termometresini homojen ve kararlı sıcaklık ortamında karşılaştırır. Referans termometre ile kalibrasyon ortamının sıcaklığı tayin edilir ve bu sıcaklıkta kalibrasyonu yapılan termometrenin ölçtüğü direnç değeri belirlenir.

Bu işlemin bir sonraki aşaması test edilen termometrenin referansa göre sapma sıcaklığını ve direncini tayin etmektir. Bu çalışma da kritik nokta, müşteri talebidir. Genellikle test edilen direnç termometresinin kullanıldığı yer ve bağlı bulunduğu sıcaklık göstergesine göre sertifikalandırma yapılır. 2 seçenek vardır. Buna göre;

Seçenek 1:

Eğer direnç termometresi bir laboratuvarda referans termometre olarak kullanılacaksa, “termometre ile birlikte kullanılacak sıcaklık ve direnç göstergesi ki bu direnç köprüsü veya bir multimetre olabilir” sertifikalandırma aşamasında hesaplama şekli ve sertifikada yer alan gösterim şekli de değişecektir. Sertifikada referansın gösterdiği sıcaklık değerlerine karşı ölçülen direnç değerlerinin ve ölçüm belirsizliğinin yanı sıra referansın gösterdiği sıcaklıklarda ölçülen direnç değerlerinin fit edilmesi sonucu Callender Von Dusen denkleminde yer alan A, B ve C katsayılarının belirlenmesi ve talep edilirse sıcaklığa bağlı olarak termometrenin ürettiği direnç değerlerinin bir tablo şeklinde verilmesidir. A, B ve C katsayıları test edilen direnç termometresine özgü katsayılardır.

Seçenek 2:

Ürün gerçekleştirme prosesinde kullanılan sıcaklık göstergelerinin ekseriyetinde, bağlı olan direnç termometrelerinin katsayılarını girerek doğrudan doğruya gerçek sıcaklık değerini okuma imkanı yoktur. Proseste kullanılan endüstriyel direnç termometreleri için kalibrasyon sonucu A, B, C katsayılarını hesaplamak ve sertifikada bu verileri vermek pratik değildir. Hal böyle olunca kalibrasyon laboratuvarları endüstriyel direnç termometresi kalibrasyonunda belirlenen sıcaklıkta ölçülen direnç değerlerinin yanı sıra sıcaklık sapmasını ve direnç sapmasını ölçüm belirsizliği ile birlikte vermektedir. Referans termometreden ve test edilen termometreden direnç okuduğumuzu varsayalım. Buna göre hesaplama aşamaları aşağıdaki gibi olacaktır:

a- Referansın okuduğu direnç değerini, kalibrasyon sertifikasını dikkate alarak sıcaklığa dönüştür.
b- Hesaplanan sıcaklık değerini TS EN 60751 standardında verilen tabloya göre dirence dönüştür.
c- Test edilenden okunan direnç değerini hesaplanan direnç değerinden çıkar ve sapma direnç değerini bul.
d- Sapma direnç değerini sensitiviteyi kullanarak sıcaklığa çevir.
e- Kalibrasyon sıcaklıkları nominal değer olarak verilecekse, ölçüm sonuçlarını buna göre düzenle.
f- Ölçüm belirsizliğini her sıcaklık için hesapla.

3. CALLENDER VAN DUSEN DENKLEMİ KATSAYILARI

Yukarıda verilen hesaplama adımlarına göre dikkat edilmesi gereken husus; TS EN 60751 standardında verilen tablodaki sıcaklığa karşı direnç değerleri, endüstriyel direnç termometreleri içindir. Sıcaklık direnç ilişkisini tanımlamada kullanılan Callender van Dusen denklemi katsayıları tipik olarak aşağıdaki gibidir ve endüstriyel direnç termometreleri için oluşturulmuş direnç-sıcaklık tablosu, bu katsayılar kullanılarak oluşturulmuştur [2].

Buna göre;

$\boldsymbol{A = 3,9083 \times 10^{-3}°C^{-1}}$,
$\boldsymbol{B = -5,775 \times 10^{-7}°C^{-2}}$,
$\boldsymbol{C = -4,183 \times 10^{-12}°C^{-4}}$,
$\boldsymbol{\alpha = 3,851 \times 10^{-3}°C^{-1}}$,

Laboratuvarlarda referans olarak kullanılan ve sabit noktalarda kalibrasyon yapılması gereken SPRT (Standard platinum resistance thermometer) için Callender Van Dusen katsayıların tipik değerleri ise [1];

$\boldsymbol{A = 3,985 \times 10^{-3}°C^{-1}}$,
$B = -5{,}85 \times 10^{-7}°C^{-2}$
$C = 4{,}27 \times 10^{-12}°C^{-4}$
$\alpha = 3{,}927 \times 10^{-3}°C^{-1}$
$\rho = 1{,}11814$

Platinin farklı sınıfları için sabitler benzerdir, α değeri değişmektedir.

α değeri değişik şekillerde ifade edilebilir Örneğin;

100 Ω PRT için 0,385Ω°C^{-1}
$3{,}85 \times 10^{-3}°C^{-1}$
$0{,}385\%°C^{-1}$
3850 ppm

Bu ifadelerin hepsi de aynıdır.

4. KARŞILAŞTIRMA TERMOMETRESİ

UME tarafından düzenlenen UME-G1SI-17-01 no.lu “ITS-90 Uluslararası sıcaklık ölçeğine uygun olarak -40 °C / 420 °C Sıcaklık Aralığında Pt-100 Direnç Termometre Kalibrasyonu” konulu karşılaştırma Ölçümlerinde katılımcılara gönderilen direnç termometreleri, Fluke marka Pt-100 Model:5616-12 dir.

Bu termometreler için üretici speklerine bakıldığında;

Nominal direnç 0,01 °C de 100 Ω ± 0.5 Ω
Sıcaklık katsayısı: 0.0039250 Ω/Ω/°C nominal,
Sıcaklık aralığı: –200 °C den 420 °C ye kadar
Self heating (0 °C banyoda): 60 mΩ/°C

olarak verilmiştir, ve termometre 2. seviye sıcaklık standardıdır.

Laboratuvarlarımıza baktığımızda referans olarak kullandıkları direnç termometrelerinin toleransları dar ve endüstriyel direnç termometrelerine kıyasla daha kararlıdır. Referans olarak kullanılan direnç termometrelerinden birisi için üretici verisi (kmp marka –termometre üreticisinin internet sitesinden alınmıştır) örnek olarak aşağıda verilmiştir:

“Basic values according to DIN EN 60751 in tolerance class 1/10 DIN B;

Precision resistor 1 x Pt-100, connected in 4 wire circuit, installed in a protective tube of Ø 4 mm, extended with a flexible, mineral insulated sheathed cable, internal wiring made of Cu alloy and exterior protection sheath of material 1.4541; Surface polished; Directly connected Lemo coupling size 1; Nominal length NL = 400 mm; Maximum temperature of use 450°C (For variants please refer to the worksheet).”

Yani laboratuvarların çoğunda referans olarak kullanılan direnç termometresinin sıcaklık katsayısı:

$\alpha = 3{,}851 \times 10^{-3}°\mathrm{C}^{-1}$

Karşılaştırmada kullanılan termometre ile laboratuvarların pek çoğunda yer alan referans termometrenin sıcaklık katsayıları aynı değildir. Eğer ki hesaplama şekli seçenek 2’ye göre sapmalar üzerinden yapılırsa ve $\boldsymbol{\alpha}'$ların farkına varmadan endüstriyel direnç termometresi tablo değerlerini kullanarak, sapmalar üzerinden hesaplama yapılırsa sonuçlar baştan aşağı hatalı olacaktır. Bu duruma örnek olarak katılımcı laboratuvarlardan birinin sonucu aşağıda verilmiştir. Laboratuvarın numarası, gizliliğin zedelenmemesi bakımından X ile kodlanmıştır.

Bu tür karşılaştırmalarda hesap hatası denilen ancak nedeni tam olarak ortaya koyulamayan ve benzer sonuçlar alan katılımcı laboratuvarların, tüm sonuçlarını ve excel hesaplamalarını kontrol etmesine rağmen sonuç alamadığı durumdur. Yanlış hesaplanmış veriler üzerinden ayrıca fit işlemi yapıldığında nominal sıcaklıklara karşı ölçülen direnç ve sonucunda En değerleri tamamıyla değişmektedir.

Tablo.1 Laboratuvar X verileri ve UME Referans değerleri taslak rapor [3]

Nominal		U_{UME}		U_X				
Sıcaklık	R_{UME}	(k=2)	R_X	(k=2)	D_X - UME	D_X - UME	U_X - UME	
°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	°C	En
-20	91,987	0,010	92,089	0,2	0,103	0,256	0,2	1,3
0	99,981	0,010	99,956	0,05	-0,025	-0,062	0,051	-1,2
50	119,755	0,010	119,384	0,17	-0,37	-0,944	0,17	-5,5
100	139,228	0,010	138,529	0,21	-0,698	-1,809	0,21	-8,6
200	177,279	0,010	175,606	0,24	-1,673	-4,474	0,24	-18,6
300	214,154	0,025	211,072	0,69	-3,082	-8,489	0,69	-12,3

Seçenek 2’ ye göre hesaplama yapan bir laboratuvar; referans direnç termometresinin kalibrasyon sertifikasını kullanarak sıcaklığı tayin ettiğinden ve test edilen direnç termometresinin o sıcaklıktaki direnç değerini kullanarak fit yaptığı için $\boldsymbol{\alpha}$’ nın yani direncin sıcaklık katsayısının ne olduğu önemli değildir. Ne zaman ki sıcaklık sapmasına ihtiyaç duyulur o zaman da bu noktaya dikkat edilmelidir.

Aynı laboratuvarın taslak aşamasından sonra α değerini dikkate alarak ve seçenek 2' yi kullanarak yaptığı hesaplama sonucu elde ettiği değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Düzeltilmiş hesaplama sonuçlarına göre nihai raporlamada elde edilen sonuçlar [4]

Nominal		U_{UME}		U_X				
Sıcaklık	R_{UME}	(k=2)	R_X	(k=2)	D_{X-UME}	D_{X_UME}	U_{X-UME}	
°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	°C	En
-20	91,987	0,010	92,0066	0,2	0,020	0,050	0,200	**0,200**
0	99,981	0,010	99,9895	0,05	0,009	0,022	0,051	**0,400**
50	119,755	0,010	119,7741	0,17	0,020	0,050	0,170	**0,300**
100	139,228	0,010	139,2519	0,21	0,024	0,063	0,210	**0,300**
200	177,279	0,010	177,3133	0,24	0,034	0,091	0,240	**0,400**
300	214,154	0,025	214,0631	0,69	-0,090	-0,249	0,690	**-0,400**

SONUÇ

Yapılan incelemede direnç termometrelerinin sıcaklık katsayılarına dikkat çekilmek istenmiş ve bu amaçla UME tarafından 2017 yılında düzenlenen direnç termometresi kalibrasyonu laboratuvarlar arası karşılaştırma ölçümü sonuçlarından faydalanılmıştır.

İster kalibrasyon için isterse karşılaştırma ölçümü için gelen bir direnç termometresinin sıcaklık katsayısı dikkate alınmalı ve müşteri talepleri de dikkate alınarak sertifikalandırmanın nasıl yapılacağına karar verilmelidir. Sertifikalandırma şekline göre de hesaplama yöntemleri oluşturulmalıdır. Kalibrasyon için gelen cihazların özellikleri kalibrasyon düzeneklerinde, ölçüm metodunda ve sonuçların değerlendirilmesinde bir takım değişiklikler gerektirebilir. Direnç termometresi kalibrasyonunda direncin sıcaklık katsayısına bakılması ve bu doğrultuda işlem yapılması hususu genellikle SOP' lerde ve talimatlarda yer almaz. Ancak kalibrasyon laboratuvarının ve kalibrasyon yapan personelin bu hususta yeterli bilgi sahibi olması ve ne yapacağını bilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

[1] J. V. Nicholas; D. R. White. "Traceable Temperatures", John Wiley & Sons, Ltd. Second edition 2005.
[2] Türk Standardı "TS EN 60751 Sınai platin dirençli termometre sezicileri", Ocak 2010
[3] TEYMUR, Alev Çorman."UME - G1SI-17-01 ITS-90 Uluslar arası sıcaklık ölçeğine uygun olarak -40 °C / 420 °C Sıcaklık aralığında Pt100 direnç termometre kalibrasyonu" konulu karşılaştırma raporu. Taslak A Mart 2018
[4] TEYMUR, Alev Çorman."UME - G1SI-17-01 ITS-90 Uluslar arası sıcaklık ölçeğine uygun olarak -40 °C / 420 °C Sıcaklık aralığında Pt100 direnç termometre kalibrasyonu" konulu karşılaştırma raporu. Final 25 Mayıs 2018

ÖZGEÇMİŞ

Aynur DAVUT

1961 yılı Kütahya Emet doğumludur. 1985 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğini bitirmiştir.1986 yılında EİEİ Gen. Müd. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Daire Başkanlığı'nda güneş pilleri üzerine çalışmıştır. 1993 yılında TSE Kalibrasyon Daire Başkanlığı bünyesinde sıcaklık kalibrasyon laboratuvarında göreve başlamış ve çalışmasını TSE Kalite Kampusü Gebze'de sıcaklık kalibrasyon Laboratuvarında sürdürmüştür. Bu süre zarfında Kalibrasyon, Laboratuvarlar arası Karşılaştırma ve Yönetim Sistemleri alanında yurt içi ve yurtdışı eğitimler almış ve görevine yönetim temsilcisi ve kalibrasyon müdürü olarak devam etmiştir. 2017 yılı Ağustos ayında Baş Araştırmacı olarak TSE'den emekli olmuştur. 2005 yılından bu yana TÜRKAK' ta Denetçi ve Baş Denetçi olarak akreditasyon çalışmalarında yer almıştır ve halen sürdürmektedir.

TSE'den emekli olduktan sonra da "DACKA Kalibrasyon Danışmanlık Eğitim- GEBZE" firmasında Yönetim temsilcisi ve Sıcaklık-Nem-Elektrik kalibrasyonu alanında çalışmalarını sürdürmektedir.

YENİ RF VE MİKRODALGA KALİBRASYON VE TEST LABORATUVARI KURULUMU

Erkan DANACI
Murat CELEP
Aliye KARTAL DOĞAN
Handan SAKARYA

ÖZET

Günümüzde yüksek frekanslı sistemlerin günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılması, yüksek frekanslı cihazların kalibrasyon ve testleri için birçok laboratuvar kurulmasına neden olmuştur. Yeni bir RF ve mikrodalga laboratuvarının kurulumunun nasıl yapılması gerektiğine dair bir iş modeli bu çalışmada önerilmiştir. Müşteri isterleri dikkate alınarak kurulacak laboratuvarın altyapısında olması gereken cihazlar listesi de bu çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: RF ve Mikrodalga Laboratuvarı, Birincil Seviye Ölçüm Standartları, İkincil Seviye Ölçüm Standartları, Laboratuvar genel özellikleri

ABSTRACT

The widespread use of high frequency systems in our daily lives has led to the establishment of many laboratories for the calibration and testing of high frequency devices. A business model of how to set up a new RF and Microwave laboratory is proposed in this study. In this study, the list of devices that should be in the infrastructure of the laboratory to be established considering customer demands are also presented.

Key Words: RF and Microwave Laboratory, Primary Level Measurement Standards, Secondary Level Measurement Standards, Laboratory general specifications

1. GİRİŞ

Günümüzde yüksek frekans ve yüksek frekans kullanan cihazlar hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Yüksek frekanslardaki frekans ve gücün ölçümü de yaşam kalitemiz için ayrı bir önem arz etmektedir.

Mikrodalga frekanslarındaki güç ve S-parametrelerinin doğru ölçümü, ancak uluslararası güvenilirliğe sahip ölçüm standartları ile mümkündür. Güvenilirlik için de ölçüm standartlarının uluslararası izlenebilirlik zinciri içinde olunması gereklidir. Ülkelerdeki akreditasyon otoriteleri oluşturulmuş uluslararası standartlara göre frekans ve güç ölçümü hizmeti veren laboratuvarları denetleyerek bir düzenleme yapmaktadırlar. Uluslararası izlenebilirlik zinciri içinde yer edinen standartlarla yapılan üretimler ile ürün kalitesi artırıldığı gibi yaşadığımız alanlarda elektromanyetik kirliliğe sebep olacak gereksiz yüksek frekanslı elektrik/manyetik alan salınımını da en aza indirgenebilmektedir. Doğru cihazlarla kurulan altyapılar ve doğru ölçümlerle hayat kalitemiz ve kullandığımız cihazların kalitesi artarken, bu ölçümleri yapacak laboratuvarların kurulumu da önem kazanmaktadır.

Bir elektrik ısıtıcısından çıkan ısı, bir lambadan veya mumdan yayılan ışık, X ışınları, radyo dalgaları, vs. hepsi birer farklı dalga oluşumlarıdır ve bunların tümü elektromanyetik dalga olarak isimlendirilirler.

Bütün elektromanyetik dalgalar vakumlu ortamlarda ışık hızında hareket ederler ve bu dalgalar bir kaynaktan bir alıcıya enerji ve momentum iletirler. 1887' de Alman fizikçi Hertz, Maxwell tarafından tahmin edilip formülize edilen radyo frekans (RF) elektromanyetik dalgayı üretip algılamayı başardığında, o zamana kadar bilinen elektromanyetik dalga olan görünen ışığa radyo dalga da eklenmiş oldu. Şimdi biliniyor ki; başka elektromanyetik dalga formları da var ve bunlar frekans ve dalga boylarına göre ayırt edilirler [1- 5].

Elektromanyetik spektrum, DC'den kozmik ışınlara (10^{22} Hz) kadar tüm frekansları kapsar. Genellikle haberleşme sistemlerinde kullanılan elektromanyetik spektrum bölgesi mikrodalga olarak isimlendirilir ve frekans aralığı, 300 MHz ile 300 GHz arasındadır. Mikrodalga frekans bantları Tablo 1'de verilmiştir.

Mikrodalga frekanslarında kullanılan iletim hatları ve devre elemanları düşük frekanslardakilerden çok farklıdır ve farklı devre teorileri ile devre çözümleri yapılmaktadır. Yüksek frekansta devre analizinde elektrik ve manyetik alan önem taşır.

Tablo 1. RF ve Mikrodalga frekans bantları

Bandın Adı	Frekans Alanı (MHz)	Dalga Boyu(m)
RF	0,3 – 300	1000 – 1
UHF	300 – 3.000	1 – 0,1
SHF	3.000 –30.000	0,1 – 0,01
EHF*	30.000 – 300.000	0,01 – 0,001

** Dalga boyu bir santimetrenin altında olan frekanslar, "Milimetrik Dalga" olarak da tanımlanır.*

Metrolojik olarak RF ve mikrodalga laboratuvarlarının temel ölçüm alanları ve ölçüm büyüklükleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. RF ve mikrodalga laboratuvarlarını ölçüm alanları ve ölçüm büyüklükleri

Ölçüm Alanı	Ölçüm Büyüklüğü
RF Güç	Watt, dBm
RF Empedans	Ohm
RF Zayıflatma	dB
RF Gürültü	Kelvin

Bu çalışmada müşteri isterleri dikkate alınarak birincil ve ikincil seviye bir RF ve mikrodalga laboratuvarı kurulum aşamaları iş modeli sunulmuştur. Bu çalışma, AB tarafından desteklenen EMPIR 15RPT01 RFMicrowave projesi kapsamında bir rapor olarak sunulmuştur [5].

2. RF VE MİKRODALGA LABORATUVARI KURULUM AŞAMALARI

Bu çalışmada, tüm laboratuvarlara uygulanabilecek genel laboratuvar kurulum aşamaları RF ve mikrodalga laboratuvarına uygun olarak sunulmuştur. RF ve mikrodalga laboratuvarı kurulumlarında çoğunlukla ilk olarak RF güç ölçümleri için altyapı kurulumu tercih edilir. RF güç ölçümleri hem en çok tercih edilen konu hem de kurulumu en kolay ölçüm düzeneklerini içermektedir.
Laboratuvar kurulumunun aşamaları aşağıda sunulmuştur.

- İş geliştirme aşaması
- Laboratuvar altyapı kurulum aşaması
- Müşteri ilişkileri yönetimi aşaması

Her bir aşamanın farklı alt faaliyetleri vardır.

2.1. İş Geliştirme Aşaması

Bir laboratuvar müşteri isterlerine göre kurulabilir. Müşteri isterlerini belirleyebilmek için, iş geliştirme faaliyetlerine ihtiyaç vardır. İş geliştirmenin alt faaliyetleri ve olası faaliyet çıktıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. İş geliştirme alt faaliyetleri ve çıktıları

Ana Faaliyetler	Alt Faaliyetler	Faaliyet Çıktıları
• Potansiyel müşteri isterlerinin toplanması	• Ziyaretler (Organize sanayi bölgeleri, büyük firmalar, sanayi odaları) • Seminerler (Üniversiteler, sivil toplum organizasyonları) • Tanıtım faaliyetleri (haberler, filmler, tanıtım materyalleri)	• Talep edilen RF güç aralığı • Talep edilen RF frekans aralığı • Müşterilerin kalibrasyonu veya testi yapılacak RF cihazları
• Müşteri isterlerine göre laboratuvar ana ölçüm alanlarının kategorize edilmesi ve önceliklendirilmesi	• İstatistik değerlendirmeler	• Kurulacak laboratuvar ölçüm alanları (güç, empedans, zayıflatma, gürültü)

2.2. Laboratuvar Altyapısı Kurma Aşaması

İş geliştirme aşamasından sonra laboratuvar kurulumu için gerekli olan konu başlıkları belirlenmiş olur. Bu başlıklar özetle aşağıda sunulmuştur;

- Frekans aralıkları,
- Güç aralıkları,
- Ölçüm konuları (güç, S-parametreleri, gürültü vb.)

Laboratuvar altyapısı kurma aşamaları aşağıda verilmiştir;

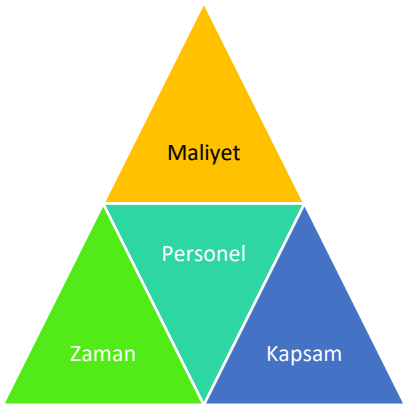
- Potansiyel müşterilerin ihtiyaçlarına göre, kurulacak laboratuvarının seviyesinin belirlenmesi
  - Ulusal metroloji enstitüleri için öncelikle ikincil seviye bir laboratuvar ve ardından birincil seviye ölçüm sistemleri kurulabilir.
  - İkincil seviye laboratuvarlar için bu aşama geçilerek doğrudan müşteri taleplerine göre laboratuvar konu önceliklendirmelerine uygun laboratuvar altyapı kurulumuna geçilebilir.
- Laboratuvarın cihazlarla donatılması
  - İkincil seviye laboratuvar için;
    - Güç ölçümü için uygun işaret kaynağı, güç algılayıcılar ve güç metreler.
    - S-Parametre (empedans ve zayıflama) ölçümü için uygun Vektör Ağ Analizörü (VNA) ve kalibrasyon kitleri.
    - Gürültü ölçümü için uygun radyometre ve RF gürültü kaynakları.
    - Uygun RF kabloları, RF adaptörleri, sabit ve adım zayıflatıcılar, otomasyon yazılımı.
  - Birincil seviye laboratuvar için;
    - Güç ölçümü için mikro kalorimetre sistemi ve termistör mountlar.
    - VNA verifikasyon kitleri, TRL kalibrasyon kitleri, S-Parametre ölçümü için zayıflatıcı setleri.
    - Gürültü ölçümü için RF gürültü kaynakları ve alıcıları.
    - Uygun RF kabloları, RF adaptörleri, sabit ve adım zayıflatıcılar, otomasyon yazılımı.

Her tip laboratuvar kurulumu için laboratuvar masa ve dolap donanımlarının iyi yapılması ve aşağıdaki gibi çevresel koşullar sağlanması gereklidir;

- Birinci seviye laboratuvar için 23 °C ± 1 °C sıcaklık ve % 45 rh ±% 15 rh nem
- İkincil seviye laboratuvar için nominal 23 °C ve ± 1 °C'den daha büyük sıcaklık değişimi ve % 45 rh ±% 15 rh nem

İkincil seviye bir RF ve mikrodalga laboratuvarı için yaklaşık 80 m^2 laboratuvar alanı ve birincil seviye RF ve mikrodalga laboratuvarı için 50 m^2 laboratuvar alanı yeterli olacaktır.

Laboratuvarın kuruluş aşamasının başında en az 2 araştırmacı (elektronik mühendisi veya fizikçi yüksek lisans derecesi) ve 2 teknisyen olması tavsiye edilir. Kurulduktan sonra, laboratuvar personelinin sayısı, verilen kalibrasyon servis miktarlarına göre değiştirilebilir. Laboratuvar kuruluşu bir proje olarak düşünülmelidir. Laboratuvar kuruluşu, Şekil 6'da verilen proje üçgenine göre tamamlanabilir.



Şekil 1. Proje üçgeni ve laboratuvar kurma aşamaları

2.3. Müşteri İlişkileri Yönetimi Aşaması

Laboratuvar kurulduktan sonra, kalibrasyon ve test hizmetleri laboratuvar tarafından sağlanabilir. Kalibrasyon ve test servisini sağlamak için bir servis yönetim sistemi ve kalibrasyon veya test servislere göre uygun bir kalite sisteminin laboratuvarda oluşturulması gereklidir. Mevcuttaki "TSE/ISO/IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Gereklilikler" standardı kalibrasyon ve test laboratuvarları için önerilen kalite sisteminin bütününü içermektedir [6].

Müşterilerin hizmet talepleri, laboratuvarın teklifleri ve cihazların lojistiği (taşımacılık) gibi faaliyetler laboratuvar bünyesindeki bir hizmet eşgüdüm birimi tarafından yönetilebilir. Bu birimde müşteri ve hizmet miktarlarına göre uygun personel istihdam edilebilir. Hizmet eşgüdüm birimi, hizmeti verdikten sonra geri bildirimlerin alınması, hizmete ait çıktıların belgelenmesi, faturalanması gibi hizmetleri de koordine edebilir. Daha öncelerde sunulan hizmetleri takip etmek ve eski hizmetlerin verilerine erişmek ve hizmet yönetimi için geliştirilecek bir yazılımının kullanılması faydalı olacaktır.

TSE/ISO/IEC 17025 standardında belirtildiği gibi, laboratuvar kurulduktan sonra, sunulan hizmeti kalitesinin ispatı için karşılaştırmaya katılım sağlanması gereklidir. Laboratuvar ulusal bir metroloji enstitüsü ise, uluslararası karşılaştırma katılımı yapılmalıdır. Laboratuvarlar ikincil seviye bir kalibrasyon laboratuvarı ise laboratuvarlar arası karşılaştırmaya katılım sağlanmalı ve gerekirse akreditasyon belgesi alınmalıdır.

Özet olarak, müşteri ilişkileri yönetimi aşamasında aşağıda verilen faaliyetlerin yapılması gereklidir;

- Laboratuvar kalite yönetim sisteminin oluşturulması.
- Laboratuvar hizmet eşgüdüm işlerini yapacak birimin kurulması.

- Kalibrasyon ve test prosedürlerinin hazırlanması.
  - Laboratuvar kalite yönetim sistemine göre RF ve mikrodalga kalibrasyon ve test prosedürlerinin hazırlanması.
  - Uluslararası standartlara uygun olarak ölçüm sistemlerinin belirsizliklerinin hesaplanması [7].
- Karşılaştırmalara katılım sağlanması
  - Laboratuvar ölçüm kapsamlarına göre katılım sağlanacak karşılaştırma konularının belirlenmesi.
  - Karşılaştırma organize edebilecek kurum ve kuruluşlar ile irtibatın sağlanması.
  - Karşılaştırmalara katılım sağlanarak sonuçlarının değerlendirilerek akreditasyon sistemine dahil olunması.
- • Müşteri ilişkileri yönetimi
  - Hizmet sözleşmesi hazırlanması.
  - Hizmetlerin sunulması.
  - Sertifika hazırlanması.
  - Müşteri geri bildirimlerinin toplanması ve analizi.

SONUÇ

Bu çalışmada RF ve Mikrodalga özelinde bir kalibrasyon ve test laboratuvarının kurulumunda kullanılabilecek bir iş modeli verilmiştir. Bunun yanında RF ve mikrodalga laboratuvarı kurarken dikkat edilmesi gereken konularla birlikte, ülkemizde kurulmuş RF ve mikrodalga kalibrasyon ve test hizmetleri üreten laboratuvarların yaşadığı sıkıntılar dikkate alınarak iş modelinde detaylı alt faaliyetler verilmiştir. Yeni bir RF ve mikrodalga laboratuvarında olması gereken cihazlar listesi ise özetle Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Yeni bir RF ve mikrodalga laboratuvarında olması gereken temel cihaz listesi

Ölçüm Konu Başlığı	**Birincil Seviye Ölçüm Standardı**	**İkincil Seviye Ölçüm Standardı**	**İkincil Seviye Laboratuvar Ölçüm Sistemi İçin Gerekli Cihazlar**
RF Güç	Mikrokalorimetre	Güç Algılayıcı	İşaret kaynakları, Güç algılayıcılar Güç metreler Uygun RF kabloları, RF adaptörleri, Sabit ve adım zayıflatıcılar
RF Empedans	Hesaplanabilir Empedans Standartları	Vektör Ağ Analizörleri	Vektör Ağ Analizörü Uygun kalibrasyon kitleri Uygun RF kabloları, RF adaptörleri
RF Zayıflatma	Piston Zayıflatıcılar	Vektör Ağ Analizörleri	Vektör Ağ Analizörü Uygun kalibrasyon kitleri Uygun RF kabloları, RF adaptörleri, Sabit ve adım zayıflatıcılar
RF Gürültü	Krojenik Gürültü Kaynakları	Gürültü Kaynakları	Radyometre İşaret Kaynakları Güç Algılayıcı Güç metre DC gerilim kaynakları RF gürültü kaynakları

KAYNAKLAR

[1] Gardiol F.E., “Introduction to Microwaves”, Artech House Inc., 1984.
[2] Özkan, T., “Mikrodalga” M.E.B., İstanbul, 1983
[3] “RF Connector Guide Understanding Connector Technology”, Huber&Suhner AG, 1997.
[4] “Microwave Datamate”, IFR, USA, 2001
[5] Danacı, E., Celep M., Sallam A.R., “Establishment Report Of A New RF and Microwave Laboratory” EMPIR 15RPT01 RFMICROWAVE Project, December 2018, http://rfmw.cmi.cz
[6] ISO / IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Gereklilikler Standardı, https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/standardara.aspx
[7] Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). JCGM 100. First edition. September 2008 (available on the BIPM website: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)

ÖZGEÇMİŞ

Erkan DANACI

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 1991 yılında mezun olmuştur. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda sırasıyla 1996 yılında Yüksek Lisans ve 2002 yılında Doktora çalışmasını tamamlamıştır.

1992-2000 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisli Bölümü Devreler ve Sistemler Teorisi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 1998-2000 yılları arasında TÜBİTAK MAM BTAE’de Milli Savunma Bakanlığının bir projesi kapsamında yazı zamanlı araştırmacı olarak RF devre tasarım çalışmalarında bulunmuştur. 2000 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı’nda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2007-2014 yılları arasında TÜBİTAK UME Stratejik Planlama ve İş Geliştirme Birimi Sorumluluğu görevini yürütmüş, bunun yanında 2011-2014 yıllarında arasında TÜBİTAK UME Müdür İdari Yardımcılığı görevine vekalet etmiştir. 2014 yılından itibaren TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı’nda Başuzman Araştırmacı olarak RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil s-parametreleri, empedans ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmalarını yürütmektedir. Ayrıca Yapay Sinir Ağları ilgi alanındadır. EURAMET TC-IM Türkiye delegasyonu ve her yıl düzenlenen Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı’nın Bilim Kurulu üyeliği görevlerini sürdürmektedir.

2002 yılında Kanada’da düzenlenen CPEM konferansına sunduğu çalışması ile Genç Bilim Adamı Ödülü almış, 3 makalesi, 2 kitapta bölüm yazarlığı ve 17 ulusal ve uluslararası bildirisi mevcuttur.

Murat CELEP

Trakya Üniversitesi Tekirdağ M.Y. Okulu’ndan 1992 yılında, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 1999 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği’nde 2004 yılında tamamlamıştır.

1995 yılında bir süre CEDETAŞ A.Ş.’de çalışmış ve 1997 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı’nda göreve başlamıştır. RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil seviye güç, s-parametreleri, empedans, zayıflatma ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmakta olup aynı zamanda bu ölçümler için, ölçme sistemlerinin kurulması, karakterize edilmesi ve belirsizlik hesaplamalarının yapılması konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. Mikrodalga güç ve s-parametrelerinin uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır. 100 MHz - 1GHz frekans aralığında gerilim izlenebilirliğinin güç standartları üzerinden alınması için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda özgül soğurma oranı (SAR) ölçme sisteminin çalıştırılması, karakterize edilmesi ve SAR ölçümleri konusunda çalışmaktadır. Halen RF ve Mikrodalga Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Aliye KARTAL DOĞAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1994 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 2001 yılında tamamlamıştır. Doktora derecesini ise Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümü'nden 2012 yılında almıştır.

1996 yılında TÜBİTAK UME'de Sıcaklık Laboratuvarı'nda araştırmacı unvanıyla işe başlamıştır. 2005 - 2011 yılları arasında Sıcaklık Laboratuvarı Sorumluluğu görevini vekâleten yürütmüştür. Sıcaklık ölçümlerinde birincil seviye standartların geliştirilmesi ve izlenebilirliğinin sağlanması, belirsizlik hesaplamalarının yapılması, farklı sıcaklık değerlerine sahip sabit nokta hücrelerini yapılması, geliştirilmesi ve karakterize edilmesi konularında çalışmıştır. Endüstriye eğitim, danışmanlık, kalibrasyon ve test hizmetlerinin verilmesi, uluslararası ve ulusal sıcaklık karşılaştırmaların organizasyonu ve sonuçlarının değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Ayrıca sıcaklık alanında TÜRKAK adına teknik uzman olarak denetçilik görevlerini gerçekleştirmiştir. Sıcaklık alanında uluslararası ve ulusal birçok projede hem yürütücü hem de katılımcı olarak çalışmasının yanı sıra 2011 yılına kadar ülkemizi EURAMET TC-12, IMEKO TC12, CCT (The Consultative Committee for Thermometry) Sıcaklık Danışma Kurulu'nda ülkemizi temsil etmiş olup, CCT Çalışma Grubu 3 ve Çalışma Grubu 6'da sıcaklık ölçümlerinde belirsizlik hesaplamaları ve nem ölçümleri alanında temsil etmiştir.

Ekim 2012 yılından itibaren Elektromanyetik Laboratuvarları altında yer alan Özgül Soğurma Oranı (SAR) ölçme sisteminin çalıştırılması, karakterize edilmesi ve iyileştirilmesi konusunda çalışmış olup, Aralık 2014 itibari ile RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamıştır.

Handan SAKARYA

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1992 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde tamamlamıştır.

1993 yılında TÜBİTAK UME'de DC Direnç Laboratuvarı'nda araştırmacı unvanıyla işe başlamıştır. DC direnç ölçümlerinde birincil ve ikincil seviye sistemlerin kurulması ve muhafazası konularında çalışmıştır. Endüstriye kalibrasyon ve test hizmetlerinin verilmesi, uluslararası ve ulusal DC direnç karşılaştırmalarında görev almıştır.

2012 yılından itibaren RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda s-parametreleri ve RF güç ölçümü konusunda çalışmaktadır. Ayrıca TÜBİTAK UME Kalite Yönetim Sistemi içerisinde Grup Yönetim Temsilciliği görevini yürütmektedir.

HESAPLANABİLİR EMPEDANS STANDARDININ KARAKTERİZASYONU VE MİKRODALGA EMPEDANS İZLENEBİLİRLİĞİ

Erkan DANACI
Murat CELEP
Murat ARSLAN

ÖZET

Yansıma katsayısı ölçümlerinde kullanılan vektör ağ analizörler (Vector Network Analyzer – VNA) ve duran dalga oranı ölçen cihazlar (Standing Wave Ratio Meter – SWR meter)'ın doğru ölçüm yapıp yapmadığının testlerinde, standart olarak tanımlanmış Hesaplanabilir Empedans Standartları (HES) kullanılmaktadır. TÜBİTAK UME, 2018 yılına kadar yansıma katsayısı ölçümlerinin birincil seviye standardı olarak kabul edilen HES ölçümlerini yurtdışında yaptırarak uluslararası izlenebilirliğini sağlamaktaydı. 2018 yılının sonunda TÜBİTAK UME laboratuvarlarında kurulan sistemler ile HES'lerin boyutsal ölçümleri, tamamen milli iş gücü kullanılarak gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Böylece HES'lerin elektriksel parametreleri, boyutsal ölçümleri ile üretildiği malzemelerin karakteristik özelliklerinden yararlanılarak hesaplanmış olup, TÜBİTAK UME'ye yeni bir ölçüm kabiliyeti kazandırılarak ülke içinde öz yeterlilik sağlanmıştır. Bu çalışmada, TÜBİTAK UME HES boyutsal ölçüm sistemi ile yapılan ölçümler ile belirsizlik değerleri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Airline, birincil seviye hesaplanabilir empedans standardı, Vektör ağ analizörü, RF.

ABSTRACT

In order to be verified of vector network analyzers (VNA) and standing wave ratiometers (SWR) which are used in the reflection coefficient measurements, computational impedance standards (CIS) are used. CIS is accepted as primary level standart for RF reflection ceofficient measurement. Until 2018, TÜBİTAK UME had been able to made its own CIS international traceability by taking from abroad. At the end of 2018, the dimension measurement of the CIS were done by using the systems established in TÜBİTAK UME laboratories by using the national labor force. The electrical parameters of the CISs were calculated by using the dimensional measurements and the characteristics of the materials that they were manufactured. In this study, measurement values and their uncertainties made by TÜBİTAK UME CIS dimensional measurement system are given.

Key Words: Airline, calculable impedance standard, vector network analyzer, RF

1. GİRİŞ

AC işaret uygulanan bir devre elemanının mutlaka bir direnci, kapasitansı ve indüktansı vardır. AC işaret uygulanmış bir devrede kapasitans, indüktans ve direncin bir bileşkesi olan empedans terimi AC akıma gösterilen zorluğu ifade etmek için kullanılır. Kapasitans ve indüktans frekans bağımlıdır ve dolayısıyla empedans da frekansa bağımlıdır. Mikrodalga frekanslarında, her bir cihazın bir karakteristik empedansı vardır. RF işaretlerinin bir yerden başka bir yere iletiminde kullanılan her bir bağlantı elemanının ve iletim ortamının empedanslarındaki uyumsuzluklarından yansımalar meydana

gelir. Yansımanın artması, iletilen gücün seviyesini düşürmekte ve yüksek frekansta gereksiz güç üretimine neden olmaktadır. Yansımanın en aza indirgenmesi için cihaz ve iletim ortamlarının empedans değerlerinin istenen seviyede olup olmadığının kontrolü önemlidir. Yansımanın, çalışılan frekanslarda ne kadar olduğunun göstergesi ise empedans değerlerinin ölçümü ile tespit edilebilen yansıma katsayısı parametresi ile mümkündür. Z_0 karakteristik empedansa sahip bir iletim ortamının sonlandırmalardan dolayı Γ yansıma katsayısı söz konusu olduğunda, Z_L empedansı Eşitlik 1 'deki gibi hesaplanır.

$$Z_L=Z_0(1+\Gamma)/(1-\Gamma) \quad (1)$$

Burada, Z_0 karakteristik empedansı, Z_L yük empedansını ve Γ iletim ortamının yansıma katsayısını ifade etmektedir.

Günümüzde yansıma katsayısı ölçümlerinde vektör ağ analizörleri (Vector Network Analyzer – VNA) ve duran dalga oranı ölçen cihazlar (Standing Wave Ratio Meter – SWR meter) kullanılmaktadır. Bu cihazların sağlıklı ölçüm yapıp yapmadığının kontrollerinde ise, referans olarak tanımlanmış empedans standartları kullanılmaktadır [1]. 1960'lı yıllardan beri koaksiyel hatlarda yüksek doğrulukta empedans ölçümleri için VNA'lar ve VNA'ların TRL ve LRL kalibrasyonlarında 50 GHz'e kadar Hesaplanabilir Empedans Standartları (HES) birincil seviye standart olarak kullanılmaktadır [2, 3, 4, 5]. 50 GHz ve 110 GHz frekans aralıklarında ise VNA kalibrasyonlarında TRL kitlerin yanında elektriksel uzunluğu bilinen offset short denen özel kısa devre elemanları da kullanılmaktadır [6]. HES'lerde dielektrik ortam olarak hava kullanılmaktadır. VNA'ların verifikasyonlarında artık hataları bulmak için de HES'ler kullanılmaktaydı [7]. Günümüzde ise boyutsal ölçümlerinden elektriksel parametreleri elde edilmiş HES'ler VNA kalibrasyonlarında kullanılarak VNA'ların birincil seviye standartlar ile izlenebilirlikleri sağlanmaktadır [8].

Günümüzde 14 mm, 7 mm, 3.5 mm, 2.92 mm, 2.4 mm, 1.85 mm ve 1 mm konnektörlerde HES'lerin bulunması mümkündür. Konnektör tiplerinin haricinde HES'lerin bir çok çeşidi mevcuttur. HES çeşitleri ve kullanıldığı yerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. HES'lerin çeşitleri

HES Çeşidi	**Özelliği**	**Kullanıldığı Yerler**
Boncuksuz HES	İç iletken ve dış iletken arasında merkezlemek amacıyla tutturucu (bead) bulunmaz	TRL ve LRL kalibrasyonlarda kullanılırlar
Kısmi Boncuklu HES	İç iletkenin sadece bir ucunda merkezlemek amacıyla boncuk bulunur	VNA verifikasyonlarında kullanılırlar
Boncuklu HES	HES'in her iki konnektörüne yakın uçlarda iletkenleri merkezlemek amacıyla boncuk bulunur	Time-Domain Reflectometre kalibrasyonlarında kullanılırlar

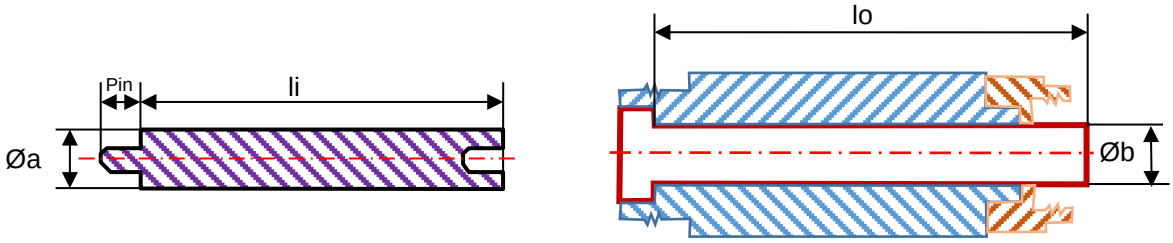
TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı 1996 yılından beri VNA kullanarak yansıma katsayısı ölçümleri yapmaktadır. TÜBİTAK UME, 2018 yılına kadar yansıma katsayısı ölçümlerinin birincil seviye standardı olarak kabul edilen HES ölçümlerini yurtdışında kalibre ettirmekte ve uluslararası izlenebilirliğini sağlamaktaydı.

2018 yılının son çeyreğinde, TÜBİTAK UME laboratuvarlarında HES'lerin boyutsal ölçümleri, tamamen milli iş gücü ve sermaye ile tasarlanarak kurulan otomatik ölçüm sistemleri ile gerçekleştirilmeye başlanmıştır. HES'lerin elektriksel parametreleri, boyutsal ölçümleri ile üretildiği malzemelerin karakteristik özelliklerinden yararlanılarak hesaplanmış olup, TÜBİTAK UME'ye yeni bir ölçüm kabiliyeti kazandırılarak ülke içinde öz yeterlilik sağlanmıştır.

Bu çalışmada TÜBİTAK UME HES boyutsal ölçüm sistemi ile yapılan ölçümler ve boyutsal ölçümlerden elektriksel parametrelerin elde edilişi sunulmuştur. Boyutsal ölçümlerin belirsizlik bileşenleri ve ölçüm sistemi ile deneysel sonuçlar da bu çalışmada sunulmuştur.

2. HES MEKANİK ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Eşeksenli (koaksiyel) yapıdaki bir HES, aralarında bağlantı ve merkezleme aparatı olmayan, dielektrik olarak havayı kullanan iç ve dış iletken olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1). HES'ler deri etkisinden dolayı yüksek frekansta iletimi daha iyi yapabilmeleri için yüksek iletkenliğe sahip malzemeler ile kaplanmaktadır. Bundan dolayı HES mekaniksel ölçümlerinin kaplama malzemesine en az zarar verecek şekilde yapılması gerekmektedir.



a. HES iç iletken kesiti **b.** HES dış iletken kesiti

Şekil 1. HES kesiti

HES'in her parçasının çap ölçümleri, TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga laboratuvarında bulunan aşağıda isimleri verilen iki ölçüm sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu iki ölçüm sisteminde kullanılan çap mastarlarının izlenebilirliği TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı'ndan sağlanmıştır. Ayrıca HES iç ve dış iletkenlerinin boyları ve bağlantı uçlarının boyutsal ölçümleri için ise Tablo 2'de isimleri verilen Boyutsal Labortuvarı'nda kurulu sistemlerden destek alınmıştır.

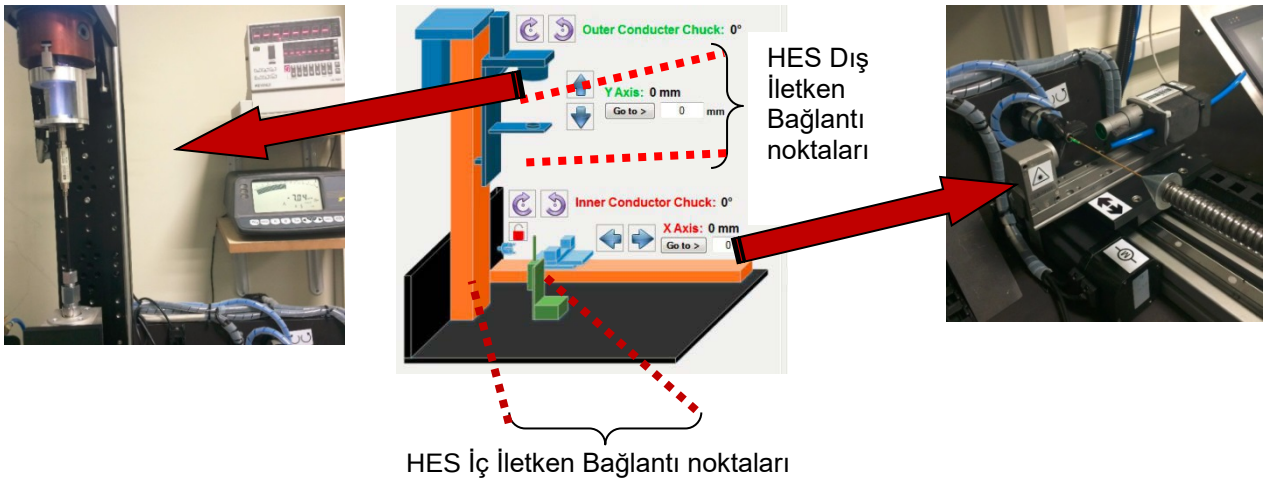
Herbir HES'in hem RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'ndaki hem de Boyutsal Laboratuvarı'nda yapılan ölçümlerine ait bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. HES'lerin ölçülen boyutları

Ölçülen Büyüklük	**Sembolü (Birimi)**	**Kullanılan Ölçüm Sistemi**
Dış iletkenin boyu	lo (mm)	Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM, Zeiss, PRISMO-7 S-ACC), Boyutsal Lab.
İç İletkenin pin harici boyu	li (mm)	Optik Profil Projektör (OGP, QL20), Boyutsal Lab.
Dış iletkenin iç çapı (Outer conductor inner diameter – OCID)	b (mm)	Hava Yastıklı Sistem, RF ve Mikrodalga Lab.
İç iletken dış çapı (Inner conductor outer diameter – ICOD)	a (mm)	Lazer Taramalı Sistem, RF ve Mikrodalga Lab.

Dış iletken iç çap ölçümü temassız olarak, koşullandırılmış hava kullanan hava yastıklı hava-elektronik dönüştürücülü sistem ile yapılmaktadır ve Şekil 2'de gösterildiği gibi yere dikey olarak konumlandırılmıştır. İç iletken dış çap ölçümü yine temassız olarak lazer taramalı sistem ile yapılmaktadır ve Şekil 2'de gösterildiği gibi yere paralel olarak konumlandırılmıştır. Ölçüm sistemi bir PLC ve PLC üzerinden bilgisayar ile kontrol edilmektedir. Her iki ölçüm sisteminin kendine özgü gösterge cihazları söz konusudur. Sistem ile birlikte kullanılan bilgisayar gösterge ünitelerine doğrudan bağlıdır. Ölçüm sistemi için özel olarak geliştirilen yazılım gösterge ünitelerinde görüntülenen ölçüm değerlerini alarak kayıt etmektedir.

HES'lerin ölçülmeye çalışılan çapları konnektör tiplerine göre Tablo 3'te sunulmuştur [9]. Bu amaçla kurulan boyutsal ölçüm sistemlerinin Tablo 3'de belirtilen ölçüm aralıklarına uygun olarak tasarlanması gerekmiştir. Değişik konnektör tiplerindeki HES'lerin de çalışabileceği önerilen maksimum frekans aralıkları kesim frekansı hesabına göre yine Tablo 3'te verilmiştir [10]. HES'lerin karakteristik özelliklerinin istenilen frekans bandında standart olarak kullanılabilmesi için HES bağlantılarında kullanılan konnektörlerin de hassas konnektör olması gerekmektedir [11].



Şekil 2. HES ölçüm sistemi fonksiyon şeması.

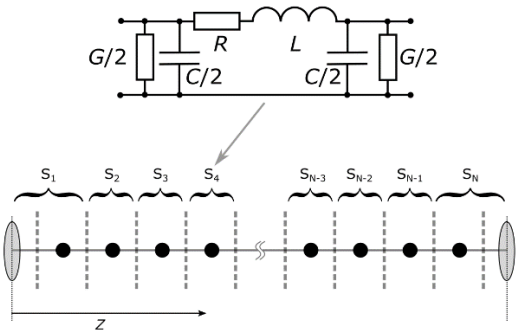
Tablo 3. HES konnektör tiplerine göre iletken çapları

Konnektör Tipi	Dış İletken İç Çap (mm) b	İç İletken Dış Çap (mm) a	Çalışabileceği Önerilen Maksimum Frekans (GHz)
14 mm	14,2875	6,204	8,5
7 mm	7,000	3,040	18,0
N Tipi	7,000	3,040	18,0
3.5 mm	3,500	1,520	33,0
2.92 mm	2,920	1,268	40,0
2.4 mm	2,400	1,042	50,0
1.85 mm	1,850	0,803	65,0
1 mm	1,000	0,434	110,0

3. HES ELEKTRİKSEL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

HES'lerin gelişimi ile birlikte kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinin empedans değerlerine etki ettiği tespit edilmiştir. 1900'lü yılların başlarından 1940'lara kadar frekansa bağımlı olarak kullanılan malzemelerin iletim özelliklerinin deri etkisine bağlı olduğu formüle edilmiş ve yayınlanmıştır [11, 12, 13, 14].

İdealde kayıpsız koaksiyel hatların olması mümkün olmadığından dolayı standart olarak kullanılan HES'lerin malzemelerinin elektrik paramatrelerinin çok iyi tanımlanması ve mekaniksel ölçümlerinin çok iyi ölçülmesi gereklidir. Bundan dolayı HES'lerin R, L, C, G dağıtık modeli (Şekil 3) üzerinden empedans hesabının yapılması gereklidir.



Şekil 3. HES dağıtık modeli.

HES dağıtık modeline göre empedans ve yayılma sabiti Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'deki gibi hesaplanabilir.

$$Z=\sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \tag{3}$$

$$\gamma=\alpha+j\beta=\sqrt{(R+j\omega L)\,(G+j\omega C)} \tag{4}$$

Eşitlik 3'teki R, L, C ve G parametrelerinin iç iletken dış çap (a) ve dış iletken iç çap (b) boyutlarına ve HES malzeme özelliklerine göre hesapları ise Eşitlik 5-14'te verilmiştir [15].

$$R=2\omega L_0 d_0\left(1-\frac{k^2a^2F_0}{2}\right) \tag{5}$$

$$L=L_0\left[1+2d_0\left(1-\frac{k^2a^2F_0}{2}\right)\right] \tag{6}$$

$$G=\omega C_0 d_0 k^2 a^2 F_0 \tag{7}$$

$$C=C_0\left(1+d_0k^2a^2F_0\right) \tag{8}$$

$$F_0=\frac{(b^2/a^2)-1}{2.\ln(b/a)}-\frac{(b/a).\ln(b/a)}{(b/a)+1}-\frac{1}{2}\left[\frac{b}{a}+1\right] \tag{9}$$

$$d_0=\frac{\delta_S.(1+b/a)}{4.b.\ln(b/a)} \tag{10}$$

$$L_0=\frac{\mu.\ln(b/a)}{2.\pi} \tag{11}$$

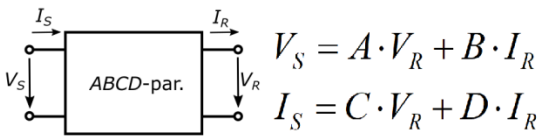
$$C_0=\frac{2.\pi.\varepsilon}{\ln(b/a)} \tag{12}$$

$$\delta_S=\sqrt{\frac{1}{\pi.f.\sigma.\mu}} \tag{13}$$

$$k=\frac{2.\pi}{c/f} \tag{14}$$

Bu formüller kullanılarak her birim uzunlukta ölçülen a ve b değerlerinden birim uzunluklardaki R, L C, G devre parametreleri hesaplanır ve bu parametrelerden birim uzunluktaki Z empedansı elde edilir. Elde edilen birim uzunluklardaki empedansların toplamından da HES'in toplam empedansı ve iletim katsayısı hesap edilir. Böylece boyutsal ölçümlerden RF empedansa geçiş sağlanarak birincil seviyede izlenebilirlik sağlayan bir sistem oluşturulur.

HES empedans değerlerinden S parametrelerine geçiş için ise birim uzunluklar için hesaplanan R, L, C, G değerlerinden ABCD parametrelerine geçiş sağlanır (Eşitlik 15, 16) (Şekil 4) [16].



Şekil 4. ABCD parametrelerinin tanımı

$$Z_Z=R+j\omega L \qquad Z_Y=G+j\omega C \qquad Z=\sqrt{Z_Z/Z_Y} \qquad \gamma=\sqrt{Z_Z\,Z_Y} \tag{15}$$

$$A=\cosh(\gamma) \qquad B=Z\sinh(\gamma) \qquad C=\sinh(\gamma)/Z \qquad D=\cosh(\gamma) \tag{16}$$

Birim uzunluklar için hesaplanan ABCD parametrelerinden, birim uzunluklar için S parametrelere dönüşüm Eşitlik 17-21 ile sağlanır.

$$Bolum=A+B/Z+C.Z+D \tag{17}$$

$$s_{11}=\frac{A+B/Z-C.Z-D}{Bolum} \tag{18}$$

$$s_{12}=\frac{2.(A.D-B.C)}{Bolum} \tag{19}$$

$$s_{21}=\frac{2}{Bolum} \tag{20}$$

$$s_{22}=\frac{-A+B/Z-C.Z+D}{Bolum} \tag{21}$$

4. HES ÖLÇÜM SONUÇLARI

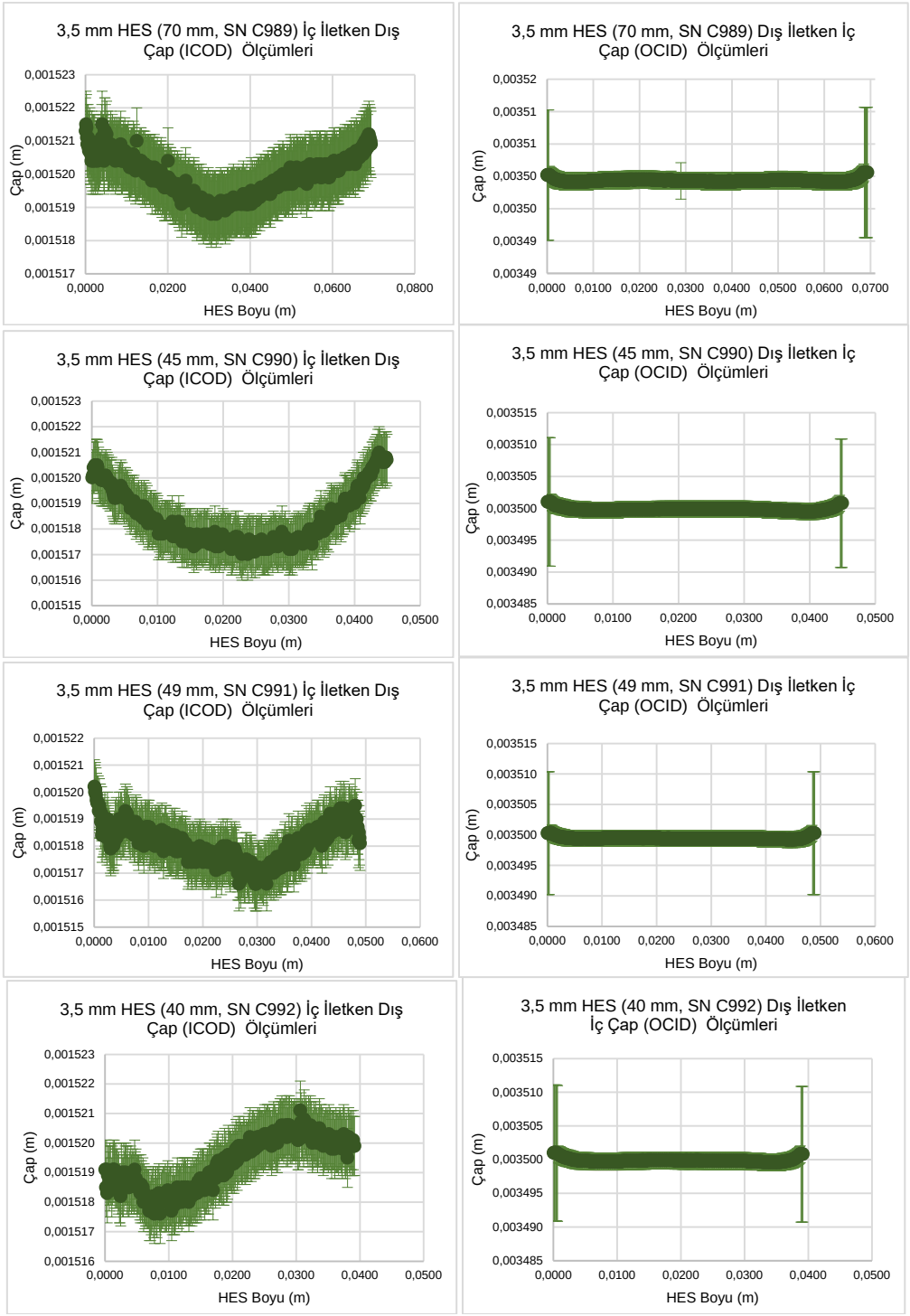
TÜBİTAK UME'de kurulu olan ve Tablo 2'de verilen sistemler ile Tablo 4'de verilmiş olan 4 adet HES'in mekaniksel ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümleri AB tarafından desteklenen EMPIR 15RPT01 RFMicrowave projesi kapsmında yapılmıştır [17]. Ölçüm sonuçları belirsizlikleri ile birlikte Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 4. Ölçümü yapılan HES'lerin genel özellikleri

Sıra No	Marka, Model, Seri Numarası	Uzunluğu	Konnektör Tipi
1	Maury Microwave, 8043T3.94, C989	3,94 cm,	3.5 mm
2	Maury Microwave, 8043T4. 94**,** C991	4,94 cm,	3.5 mm
3	Maury Microwave, 8043T7.0, C992	7,0 cm,	3.5 mm
4	Maury Microwave, 8043T4.53, C990	4,53 cm,	3.5 mm

Mekaniksel ölçüm sistemi iki farklı ölçüm sistemi içerdiğinden her sistemin kendine göre farklı belirsizlik hesaplamaları vardır. Metrolojik olarak boyutsal laboratuvarları ölçümlerini 20 °C sıcaklıklarda yapmakta iken mikrodalga laboratuvarlarındaki ölçümlerin 23 °C sıcaklıklarda yapıldığı göz ardı edilmemelidir.

Lazer taramalı ve havalı ölçüm sistemlerinden oluşan HES mekaniksel ölçüm sistemlerinin model fonksiyonları aşağıda ayrı ayrı verilmiştir. Mekaniksel ölçüm sonuçlarının "Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" dokümanına göre yapılan belirsizlik hesaplaması Tablo 5'de verilmiştir .[18]



Şekil 5. Ölçümü yapılan HES'lerin iç letken dış çap ve dış iletken iç çap ölçüm sonuçları

Lazer taramalı sistem ile yapılan pim mastar ölçümü belirsizliği için model fonksiyon;

$$DoPM=Dls+\delta Mas+\delta Cor+\delta Acc+\delta Exp \quad (15)$$

Dls : Lazer taramalı sistem ile ölçülen mastar çapı (N)
δMas : Mastarın sertifika değerinden gelen düzeltme (N)
δCor : Mastarın sertifikasındaki ve ölçülen çapı arasındaki farktan gelen düzeltme (R)
δAcc : Lazerin doğruluğu ve çözünürlüğünden gelen düzeltme (R)
δExp : Sıcaklık genleşmesinden gelen düzeltme (R)

Havalı ölçüm sistemi ile yapılan halka mastar ölçümü belirsizliği için model fonksiyon;

$$DoRM=Das+\delta Mas+\delta Mas_Rndnss++\delta Cor+\delta Axis_Error+\delta Disp+\delta Exp \quad (16)$$

Das : Havalı ölçüm sistem ile ölçülen halka mastar çapı (N)
δMas : Masterın sertifika değerinden gelen düzeltme (N)
δMas_Rndnss : Masterın yuvarlaklığından gelen düzeltme (N)
δCor : Masterın sertifikasındaki ve ölçülen çapı arasındaki düzeltmeden gelen düzeltme (R)
δAxis_Error : Sistemin eksenden kaçıklık hatasından gelen düzeltme (R)
δDisp : Gösterge ünitesinin çözünürlüğünden gelen düzeltme (R)
δExp : Sıcaklık genleşmesinden gelen düzeltme (R)

Tablo 5. HES mekaniksel ölçüm sistemi ile elde edilen boyutsal ölçüm belirsizlikleri

Kalibre Edilen Cihaz	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Şartları	Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği (k=2)	Açıklamalar
Havalı Ölçüm Sistemi (HES dış iletken iç çap ölçümleri için)	7,0000 mm	Halka mastar ile	0,0052 mm	N tipi konnektörlü
	3,5000 mm	Halka mastar ile	0,0052 mm	3.5 mm konnektörlü
	2,9200 mm	Halka mastar ile	0,0054 mm	2.92 mm konnektörlü
	2,4000 mm	Halka mastar ile	0,0071 mm	2.4 mm konnektörlü
Lazer Taramalı Ölçüm Sistemi (HES iç iletken dış çap ölçümleri için)	3,0400 mm	Pin mastar ile	0,0012 mm	N tipi konnektörlü
	1,5200 mm	Pin mastar ile	0,0012 mm	3.5 mm konnektörlü
	1,2700 mm	Pin mastar ile	0,0012mm	2.92 mm konnektörlü
	1,0423 mm	Pin mastar ile	0,0013 mm	2.4 mm konnektörlü

SONUÇ

HES'ler günümüzde hassas RF empedans standartları olarak kullanılırken, HES mekanik özelliklerinden RF empedans parametrelerine geçiş bu çalışmada verilmiştir. Milli imkanlar ile kurulan boyutsal ölçüm sistemleri kullanılarak 3.5 mm HES'in iç iletken ve dış iletken ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlere ait belirsizliklerde hesaplanmış ve belirsizlik değerleri 3 µm'den daha küçük elde edilmiş olup bu değer birincil seviye olarak kullanılmak üzere yeterli olduğu değerlendirilmiştir. Mekanik ölçüm verileri kullanılarak HES'e ait S-parametrelerinin hesaplanabilmesi için gerekli eşitlikler yine bu çalışmada verilmiştir.

HES ölçüm sistemi ile TÜBİTAK UME, dünyada birincil seviye RF empedans sistemi ile kendi kendine yeten sayılı enstitüler arasın girmiş ve ülkemizde RF empedansa dayalı ölçümlerde dışa bağımlılığı sona erdirmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Wong K.H., "Using precission coaxial air dielectric transmission lines as calibration and verification standards", Microwave Journal, December, 1998, pp 83-92.
[2] Engen G.F. and Hoer C.A., "Thtu-reflect-line: an improved technique for calibrating the dual siz-port automatic network analyzer", IEEE Trans, MTT-27(12), December 1979, pp 987-993.
[3] Hoer C.A and Engen G.F:, "On-line accuracy assessment fort he dual siz-port ANA: extension to nonmating connectors", IEEE Trans, IM-36(2), June 1987, pp 524-529.
[4] Weinschel B.O., "Air-filled coaxial lines as absolute impedance standards", Microwave Journal, April 1964, pp 47-50.

[5] Harris I.A. and Spinney R.E., “Realization of high-frequency impedance stadards using air spaced coaxial lines”, IEEE Trans IM-13, December 1964, pp 265-272
[6] Howell K. And Wong K, “DC to 110 GHz measurements in coax using the 1 mm connector”, Microwave Journal 42(7), April 1994, pp 22-34.
[7] Baxter W. And Dunwoodie D., “An easy to use method for measuring small SWRs o better than computer aided accuracy levels”, Wiltron Technical Review, No 8, September 1978.
[8] Hoffmann J, Huerlimann P., “Key parameters of coaxial connector models - mechanical design features and electrical properties,” EMRP SIB62 project report, January 2015
[9] IEEE 287, IEEE Standard for Precision Coaxial Connectors (DC to 110 GHz), IEEE Instrumentation and Measurement Society, 2007.
[10] Marcuvitz N., “Waveguide handbook”, MIT Radiation Laboratry Series 10, McGraw-Hill Book Company, pp 72-80, 1951.
[11] Ridler N. M., “Connectors, airlines and RF impedance”, IEE Measurement, Sensors, Instrumentation and NDT Professional Network, 2004.
[12] Russell A., “The effective resistance and inductance of concentric main, and methods of computing the Ber and Bei and allied functions”, Philosophical Magazine 17, 1909, pp 524-552.
[13] Ridler N.M. and Medley J.C., “Improvements of traceability for impedance measurements at RF in the UK”, IEE Engineering, Science and Education Journal 6(1), February 1997, pp 17-24.
[14] Stratton J.A., “Electromagnetic theory”, McGraw-Hill Book Company Inc, New York and London, Chapter 9, 1941.
[15] Daywitt W.C., “First-order symmetric modes for a slightly lossy coxial transmission line”, IEEE Trans, MTT-38(11), November 1990, pp 1644-1651.
[16] Grigsby L. L., “Electric Power Generation, Transmission, and Distribution,” Boca Raton: CRC Press, 2012.
[17] Hudlička M., Zeier M, Pinter B., Celep M., “15RPT01 RFMICROWAVE A1.1.3 Mechanical model of the set of coaxial air line standards report”, May 2018
[18] Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). JCGM 100. First edition. September 2008 (available on the BIPM website: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)

ÖZGEÇMİŞ

Erkan DANACI

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 1991 yılında mezun olmuştur. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda sırasıyla 1996 yılında Yüksek Lisans ve 2002 yılında Doktora çalışmasını tamamlamıştır.

1992-2000 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisli Bölümü Devreler ve Sistemler Teorisi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 1998-2000 yılları arasında TÜBİTAK MAM BTAE’de Milli Savunma Bakanlığının bir projesi kapsamında yazı zamanlı araştırmacı olarak RF devre tasarım çalışmalarında bulunmuştur. 2000 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı’nda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2007-2014 yılları arasında TÜBİTAK UME Stratejik Planlama ve İş Geliştirme Birimi Sorumluluğu görevini yürütmüş, bunun yanında 2011-2014 yıllarında arasında TÜBİTAK UME Müdür İdari Yardımcılığı görevine vekalet etmiştir. 2014 yılından itibaren TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı’nda Başuzman Araştırmacı olarak RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil s-parametreleri, empedans ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmalarını yürütmektedir. Ayrıca Yapay Sinir Ağları ilgi alanındadır. EURAMET TC-IM Türkiye delegasyonu, EURAMET TC-IM FGNMID Türkiye delegasyonu ve her yıl düzenlenen Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı’nın Bilim Kurulu üyeliği görevlerini sürdürmektedir.

2002 yılında Kanada’da düzenlenen CPEM konferansına sunduğu çalışması ile Genç Bilim Adamı Ödülü almış, 3 makalesi, 2 kitapta bölüm yazarlığı ve 17 ulusal ve uluslararası bildirisi mevcuttur.

Murat CELEP

Trakya Üniversitesi Tekirdağ M.Y. Okulu'ndan 1992 yılında, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde 2004 yılında tamamlamıştır.

1995 yılında bir süre CEDETAŞ A.Ş.'de çalışmış ve 1997 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda göreve başlamıştır. RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil seviye güç, s-parametreleri, empedans, zayıflatma ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmakta olup aynı zamanda bu ölçümler için, ölçme sistemlerinin kurulması, karakterize edilmesi ve belirsizlik hesaplamalarının yapılması konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. Mikrodalga güç ve s-parametrelerinin uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır. 100 MHz - 1GHz frekans aralığında gerilim izlenebilirliğinin güç standartları üzerinden alınması için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda özgül soğurma oranı (SAR) ölçme sisteminin çalıştırılması, karakterize edilmesi ve SAR ölçümleri konusunda çalışmaktadır. Halen RF ve Mikrodalga Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Murat ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Beşikdüzü Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Haberleşme Bölümünden 2010 yılında onur öğrencisi derecesi ile mezun olmuştur. 2010-2012 yılları arasında cep telefonu distribütörlüğü yapan bir firmada cep telefonu onarım teknikeri olarak çalışmıştır. 2012-2013 yıllarında askerlik hizmetini yapmıştır. 2013-2017 yıllarında Siemens telefon santralleri kurulumu ve zayıf akım çözümleriyle ilgili teknik servis birimlerinde çeşitli projelere katkı sağlamıştır.

2017 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamıştır. RF ve Mikrodalga Laboratuvarında, mikrodalga güç, birincil ve ikincil seviye güç algılayıcısı kalibrasyonları ve HES boyutsal ölçümlerini yapmaktadır.

TÜBİTAK UME'DE 50 GHz'E KADAR RF GÜÇ ALGILAYICI KALİBRASYONLARININ DOĞRUDAN KARŞILAŞTIRMA TRANSFER METODU KULLANILARAK YAPILMASI

Erkan DANACI
Murat CELEP
Özlen TUNCEL
Murat ARSLAN

ÖZET

2015 yılından beri Yüksek frekanslı güç algılayıcı kalibrasyonlarında düşük belirsizlikle daha doğru hesaplamaya neden olan doğrudan karşılaştırmalı transfer metodu TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda uygulanmaya başlanmıştır. Doğrudan karşılaştırmalı transfer metodu, önceki kalibrasyon faktörü ölçüm (yerine koyma) metoduna göre daha karmaşık bir ölçüm düzeneği içermekle birlikte daha düşük belirsizlik değeri elde etmeye neden olmuştur. Bu çalışmada yeni ölçüm metodunun detayları verilirken, eskiden uygulanan yerine koyma yöntemi ile de karşılaştırmalı analizleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kalibrasyon faktörü, güç algılayıcısı, doğrudan karşılaştırmalı transfer metodu, yerine koyma metodu.

ABSTRACT

Since 2015, the direct comparison transfer method, which leads to more accurate calculation with low uncertainty in high frequency power sensor calibrations, has been started to be applied in TÜBİTAK UME RF and Microwave laboratory. The direct comparative transfer method included a more complex measurement mechanism than the former calibration factor measurement methods, but resulted in a lower uncertainty value. In this study, while the details of the new measurement method are given, comparisons are made with the previously applied substitution method.

Key Words: Calibration factor, power sensor, direct comparison transfer method, substitution method.

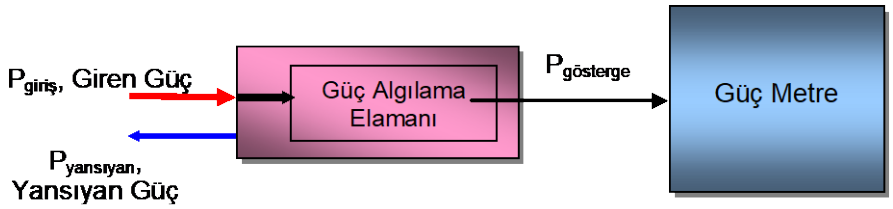
1. GİRİŞ

Yüksek frekanslarda iletişimin (GSM, wi-fi, zig bee, uzaktan kumanda sistemleri, v.b.) artması ile tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yüksek frekanslı cihaz üretimi ve kullanımı artış göstermiştir. Frekanslar yükseldikçe, işaret üreteçlerinden sağlanan güç seviyeleri de önem kazanmıştır. Güç seviyelerinin uluslararası standartlara uygun ölçümlerinin yapılabilmesi için dünyada birçok firma değişik frekans ve güç seviyeleri için güç algılayıcılar üretmişlerdir.

Güç algılayıcılar birçok kayıplar içermektedir. Bu kayıpların belirlenmiş olması güç algılayıcısının ölçtüğü değerin doğruluğu hakkında kullanıcıya bilgi vermektedir. Güç algılayıcıları kalibrasyon faktörü (KF) adı verilen bir parametre ile karakterize edilir ve bu parametre algılayıcının içindeki kayıpları ve doğruluklarını içerir [1, 2].

Güç algılayıcılarının KF'leri, çıkışındaki okunan gücün girişine uygulanan güce oranı şeklinde basitçe tarif edilmektedir (Eşitlik 1) (Şekil 1).

$$CF=\frac{P_{gösterge}}{P_{giriş}} \quad (1)$$



Şekil 1. Güç algılayıcısı ve güçleri

KF hesabı için güç algılayıcısının girişindeki ve çıkışındaki güç değerlerinin ölçümleri için birçok değişik ölçüm metotları kullanılırken [3-7] en yaygın olarak uygulanan metotlar aşağıda verilmiştir;

- Yerine koyma metodu (YKM)
- Doğrudan karşılaştırma transfer metodu (DKTM)

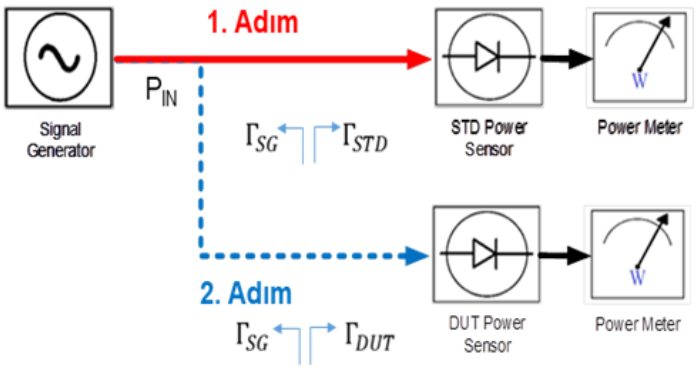
Bazı üretici firmalar KF ölçümü yapabilmek amacıyla özel olarak ölçüm cihazı düzeneğini kompakt olarak içinde bulunduran cihazlar da üretmişlerdir.

Yukarıda verilen her iki metodun birbirine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Her iki metodun da bir ölçüm yazılımına ihtiyaç duyuyor olması, kullanıcıları ilk başta yapılamayacak endişesi verse de geniş bir mikrodalga frekans spektrumunda çalışan güç algılayıcıların kısa sürede operatör hatası en aza indirgenmiş şekilde ölçülebilmesi için olmazsa olmaz gerekliliktir.

YKM yeni kurulmuş bir RF ve mikrodalga ölçümleri yapan laboratuvar için diğer metoda göre daha az devre elemanı ile uygulanabilirken, DKTM daha hassas ve doğru ölçümler için tercih edilen ancak birçok mikrodalga devre elemanı ile çalışılmasını gerektiren bir metottur.

1.1. Yerine Koyma Metodu

KF değeri bilinmeyen güç algılayıcısının iki adımda ölçümlerle KF değerinin hesaplanması prensibine dayalı ölçüm metodu YKM'dir [8, 9]. Bu metotta, KF değeri bilinen standart güç algılayıcısı (STD) ile KF değeri bilinmeyen güç algılayıcısı (DUT) sıralı olarak RF sinyal kaynağına bağlanarak ölçümler alınır. YKM düzeneğinde alınan ölçüm sonuçları ile KF Eşitlik 2'deki gibi hesaplanır.



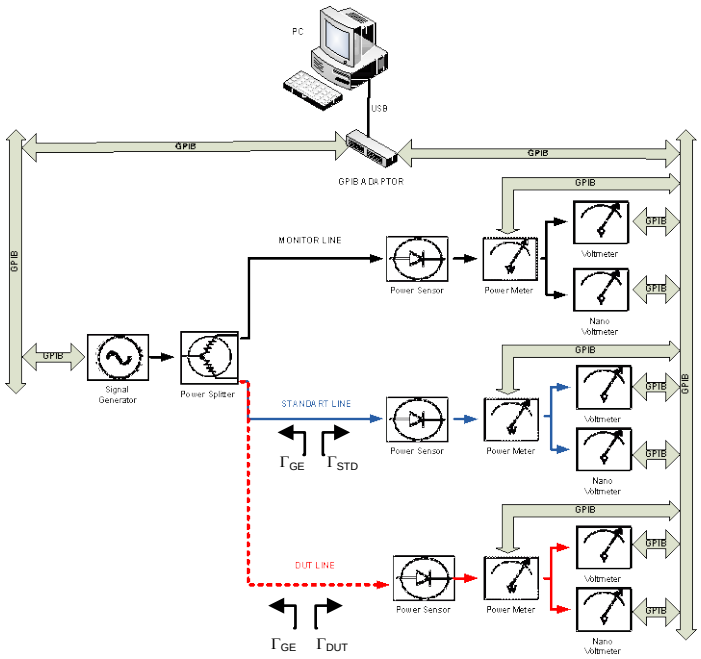
Şekil 2. YKM ile KF ölçüm düzeneği

$$KF_{STD}=\frac{P_{STD}}{P_{IN}} \quad ve \quad KF_{DUT}=\frac{P_{DUT}}{P_{IN}} => \quad KF_{DUT}=KF_{STD}\frac{P_{DUT}}{P_{STD}}\frac{|1-\Gamma_{DUT}.\Gamma_{SG}|^2}{|1-\Gamma_{STD}.\Gamma_{SG}|^2} \tag{2}$$

YKM'nin en büyük dezavantajlarında biri işaret kaynağının çıkış gücünün kaymasını içermemesidir. Ayrıca işaret kaynağının frekansa bağlı vektörel yansıma katsayı değerlerinin bilinmemesi ölçümdeki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan ölçüm hatalarının belirlenmesine engel oluşturmaktadır.

1.2. Doğrudan Karşılaştırma Transfer Metodu

DKTM'da, YKM'deki dezavantajları gidermek için işaret kaynağının önüne bir güç bölücü bağlanarak işaret kaynağının çıkışının sürekli başka bir güç algılayıcısı ile (MON) görüntülenmesi sağlanır [6]. Böylece işaret kaynağının kayma etkisi giderilebilmektedir. DKTM'a ait ölçüm düzeneğinin fonksiyon şeması Şekil 3'te verilmiştir. Güç bölücünün diğer koluna sırayla KF değeri bilinen standart güç algılayıcı (STD) ve KF değeri bilinmeyen güç algılayıcısı (DUT) bağlandığında hem bu güç algılayıcılarının ardındaki güç metrelerden hem de güç bölücünün diğer koluna bağlı güç algılayıcı ve güç metreden güçler okunarak kaydedilir. Bu tip çok cihazlı ve geniş bir frekans spektrumunda ölçümler için bu metotta özel olarak geliştirilmiş bir yazılım ve bir PC kullanılmalıdır.



Şekil 3. DKTM ile KF ölçüm düzeneği

DUT güç algılayıcısı frekans ve güç aralığına uygun izlenebilirlik zinciri içinde yer alan STD ve MON güç algılayıcılar, güç bölücü ve işaret kaynağının temini gereklidir.

Bu metotta kullanılan güç bölücünün çıkış kapısının eşdeğer empedansı belirlenebildiğinden, empedans uyumsuzluğunun vektörel olarak hesaplanması için YKM'de eksik olan veri de temin edilmiş olmaktadır. Şekil 3'te verilen ölçüm düzeneği ile elde edilen ölçüm verileri kullanılarak Eşitlik 3 ile bilinmeyen KF hesabı yapılmaktadır.

$$KF_{DUT}=KF_{STD}\frac{P_{DUT}}{P_{STD}}\frac{P_{mS}}{P_{mD}}\frac{|1-\Gamma_{DUT}.\Gamma_{GE}|^2}{|1-\Gamma_{STD}.\Gamma_{GE}|^2}$$
$$=KF_{STD}\frac{P_{DUT}}{P_{STD}}\frac{P_{mS}}{P_{mD}}\frac{\left(1+|\Gamma_{DUT}|^2.|\Gamma_{GE}|^2-2.|\Gamma_{GE}|.|\Gamma_{DUT}|.\mathrm{Cos}(\Theta_{GE}+\Theta_{DUT})\right)}{\left(1+|\Gamma_{STD}|^2.|\Gamma_{GE}|^2-2.|\Gamma_{GE}|.|\Gamma_{STD}|.\mathrm{Cos}(\Theta_{GE}+\Theta_{STD})\right)} \quad (3)$$

KF_{DUT} : DUT güç algılayıcısının Kalibrasyon Faktörü
KF_{STD} : STD güç algılayıcısının Kalibrasyon Faktörü
P_{DUT} : DUT güç algılayıcının güç metresinden okunan gücün ortalaması
P_{STD} : STD güç algılayıcının güç metresinden okunan gücün ortalaması
Pm_D : DUT güç algılayıcı ölçüm sistemine bağlı iken görüntüleme amaçlı kullanılan güç algılayıcının güç metresinden okunan gücün ortalaması
Pm_S : STD güç algılayıcı ölçüm sistemine bağlı iken görüntüleme amaçlı kullanılan güç algılayıcının güç metresinden okunan gücün ortalaması
Γ_{DUT} : DUT güç algılayıcısının yansıma katsayısı (karmaşık),
Γ_{STD} : STD güç algılayıcısının yansıma katsayısı (karmaşık),
Γ_{GE} : Güç bölücünün STD ve DUT bağlanan kapısının eşlenik yansıma katsayısı (karmaşık),
Θ_{DUT} : DUT güç algılayıcısının yansıma katsayısının fazı
Θ_{STD} : STD güç algılayıcısının yansıma katsayısının fazı
Θ_{GE} : Güç bölücünün STD ve DUT bağlanan kapısının eşlenik yansıma katsayısının fazı

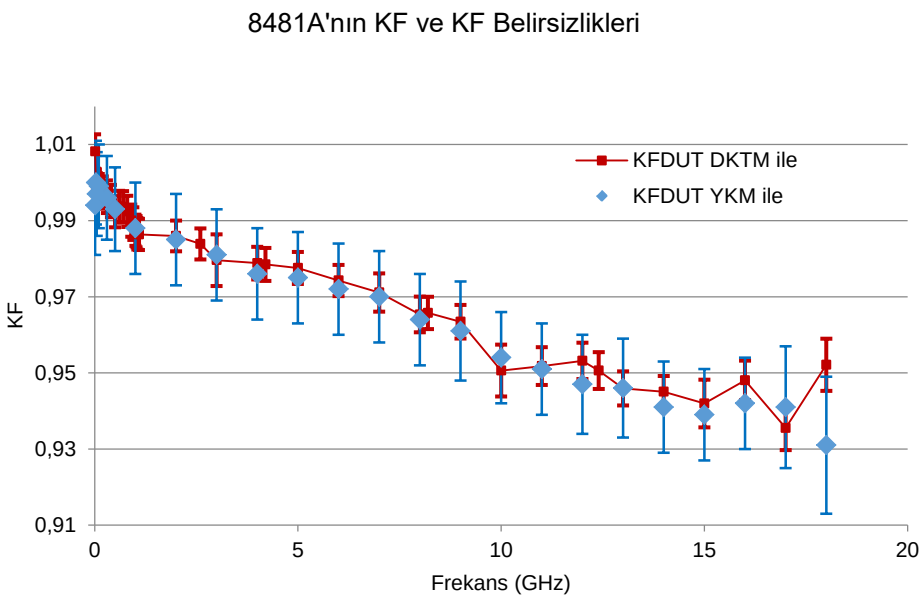
2. YKM ve DKTM ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

YKM ve DTKM ölçüm yöntemlerinin ikisi de kalibrasyon laboratuvarlarında güç algılayıcıların KF ölçümlerinde kullanılmaktadır. Yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 YKM ve DKTM avantaj ve dezavantajları

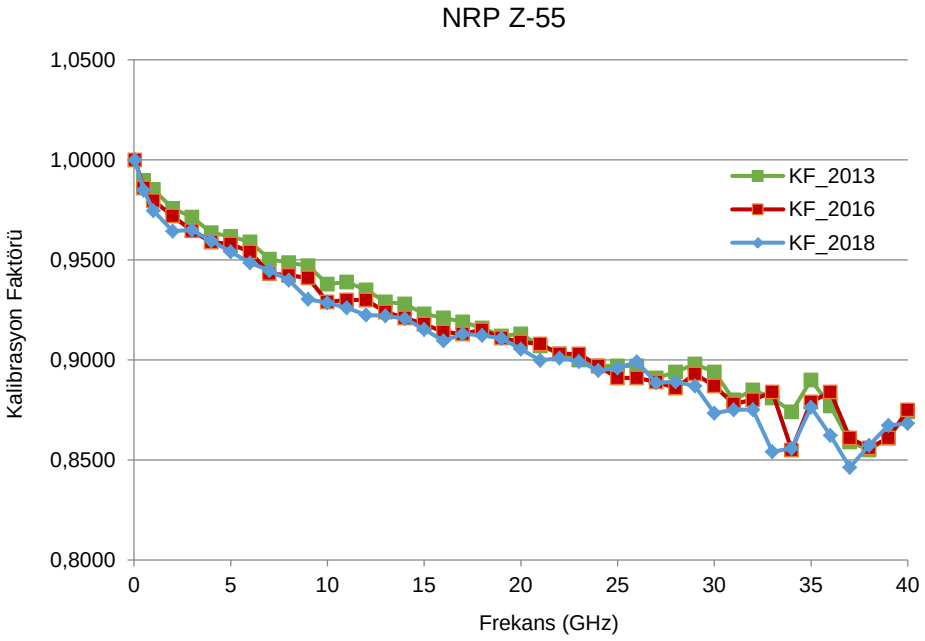
Metot	Avantajlar	Dezavantajlar
YKM	Daha az cihaz kullanılmaktadır	Yüksek belirsizlik elde edilmektedir
	Uygulaması kolaydır	İşaret kaynağının kayması göz ardı edilmektedir
		KF hesabında empedans uyumsuzluğunun etkisi hesaba katılmamaktadır
DKTM	YKM'ye göre daha düşük belirsizlik elde edilmektedir	Daha çok cihaz kullanılmaktadır
	KF hesabında empedans uyumsuzluğunun etkisi hesaba vektörel olarak katılmaktadır	Uygulaması zordur, yetenekli bir operatör gerektirir

TÜBİTAK UME'de 2015 yılından beri uygulanmakta olan DKTM ve daha önce uygulanan YKM ile laboratuvar ölçüm standartlarından HP 8481A'nın KF değerleri ve belirsizlikleri Şekil 4'de verilmiştir. YKM ve DKTM için TÜBİTAK UME'de geliştirilen yazılım kullanılmıştır [10]. Şekil 4'ten de görüleceği gibi DKTM belirsizlikleri daha düşük YKM belirsizlikleri daha yüksektir.



Şekil 4. HP 8481A'nın DKTM ve YKM karşılaştırmalı ölçüm sonuçları

Bu yöntem, sistemde kullanılan cihazların kalibrasyonları yapıldığı takdirde çok yüksek frekanslara kadar kullanılabilmektedir. TÜBİTAK UME'de hali hazırda 50 GHz frekansına kadar 2.4 mm konektör yapısındaki cihazların ölçümleri de yapılabilmektedir. Laboratuvar standartlarına ait bir tane ölçüm sonucu Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. R&S NRP Z55 yıllara göre KF değerleri

SONUÇ

TÜBİTAK UME, kendi geliştirdiği yazılımı kullanarak, DKTM ile güç algılayıcılarının KF değerlerinin kalibrasyonu yöntemini uygulamıştır. Bu metot ile KYM'ye göre KF'nin daha doğru ve daha düşük belirsizliklerde elde edildiği görülmüştür. Böylelikle TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga laboratuvarı hizmet verdiği sektörlere 50 GHz frekansına kadar daha doğru ve düşük belirsizlikle güvenilir hizmet sunmaya başlamıştır.

KAYNAKLAR

[1] Famton A., "Radio frequency & microwave power measurement", *IEE Electrical Measurement Series* **7**, Peter Peregrinus Ltd, London, UK (1990)

[2] Orford G.R., "RF power-review of current techniques for power sensor calibration", *Accreditation of RF Measurement, IEE Colloquium on*, pp:5/1–10 (1993)

[3] Weidman M.P., "Direct Comparison Transfer of Microwave Power Sensor Calibration", *NIST Technical Note 1379* (1996)

[4] Juroshek J. R., "NIST 0.05-50 GHz direct-comparison power calibration system", *CPEM Conference Proceeding*, pp.166-167, Sydney, Australia (2000)

[5] Yhland K., Judaschke J.R., Rausche F., Wingqvist C., Stenarson J., "Bilateral comparison on calibration factor of a 2.92 mm power sensor", *CPEM Conference Proceeding*, pp. 86-87, Maryland, USA (2012)

[6] Cai Y., Shan Y., Lin Z., Neo H., "Coaxial power sensor calibration with adaptor by direct comparison transfer", *CPEM Conference Proceeding*, pp. 90-91, Maryland, USA (2012)

[7] Wallis T.M., Crowley T.P., LeGolvan D.X., Ginley R.A., "A direct comparison system for power calibration up to 67 GHz", *CPEM Conference Proceeding*, pp. 726-727, Maryland, USA (2012)

[8] İnce, R., "Microwave Calibration Measurements", UME içi rapor, M1/96, December 1996

[9] İnce, R, "Microwave Calibration Measurements II", UME içi rapor, M3/97, April 1997

[10] Danacı E., Celep M., Tuncel Ö.,"Calibration Factor Measurement Software Validation Report", TÜBİTAK UME, December, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Erkan DANACI

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1991 yılında mezun olmuştur. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda sırasıyla 1996 yılında Yüksek Lisans ve 2002 yılında Doktora çalışmasını tamamlamıştır.

1992-2000 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisli Bölümü Devreler ve Sistemler Teorisi Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 1998-2000 yılları arasında TÜBİTAK MAM BTAE'de Milli Savunma Bakanlığının bir projesi kapsamında yazı zamanlı araştırmacı olarak RF devre tasarım çalışmalarında bulunmuştur. 2000 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2007-2014 yılları arasında TÜBİTAK UME Stratejik Planlama ve İş Geliştirme Birimi Sorumluluğu görevini yürütmüş, bunun yanında 2011-2014 yıllarında arasında TÜBİTAK UME Müdür İdari Yardımcılığı görevine vekalet etmiştir. 2014 yılından itibaren TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil s-parametreleri, empedans ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmalarını yürütmektedir. Ayrıca Yapay Sinir

Ağları ilgi alanındadır. EURAMET TC-IM Türkiye delegasyonu, EURAMET TC-IM FGNMID Türkiye delegasyonu ve her yıl düzenlenen Uluslararası Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı'nın Bilim Kurulu üyeliği görevlerini sürdürmektedir.

2002 yılında Kanada'da düzenlenen CPEM konferansına sunduğu çalışması ile Genç Bilim Adamı Ödülü almış, 3 makalesi, 2 kitapta bölüm yazarlığı ve 17 ulusal ve uluslararası bildirisi mevcuttur.

Murat CELEP

Trakya Üniversitesi Tekirdağ M.Y. Okulu'ndan 1992 yılında, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde 2004 yılında tamamlamıştır.

1995 yılında bir süre CEDETAŞ A.Ş.'de çalışmış ve 1997 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda göreve başlamıştır. RF ve Mikrodalga frekanslarında birincil ve ikincil seviye güç, s-parametreleri, empedans, zayıflatma ve gürültü ölçümleri üzerine çalışmakta olup aynı zamanda bu ölçümler için, ölçme sistemlerinin kurulması, karakterize edilmesi ve belirsizlik hesaplamalarının yapılması konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. Mikrodalga güç ve s-parametrelerinin uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır. 100 MHz - 1GHz frekans aralığında gerilim izlenebilirliğinin güç standartları üzerinden alınması için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda özgül soğurma oranı (SAR) ölçme sisteminin çalıştırılması, karakterize edilmesi ve SAR ölçümleri konusunda çalışmaktadır. Halen RF ve Mikrodalga Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Özlen TUNCEL

Uludağ Üniversitesi Bursa M.Y.O. Endüstriyel Elektronik Bölümü'nden 1997 yılında mezun olmuştur. 1997 yılı ile 2003 yılları arasında TÜBİTAK UME Özel Ölçümler Laboratuvarı'nda elektronik cihaz tasarım, üretim ve tamir çalışmalarında aynı zamanda klima sisteminin genel kontrol ve arıza onarımlarında bulunmuştur.

Ayrıca TÜBİTAK UME laboratuvarlarının gerçekleştirdiği, ulusal standartların oluşturulması ve geliştirilmesi kapsamında yer alan elektronik cihaz bazlı tasarım, üretim ve test projelerinde, 2003 ile 2006 yılları arasında ise Empedans Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen çeşitli test ve kalibrasyon hizmetlerinde görev almıştır.

2006 yılında RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamış, mikrodalga güç algılayıcısı üretim ve test, CDN, LISN test cihazları ölçme aparatlarının üretim ve test çalışmalarında bulunmuştur.

Halen aynı laboratuvarda gerçekleştirilen mikrodalga güç, s-parametreleri ve birincil - ikincil seviye güç algılayıcısı kalibrasyonlarının yapılmasında görev almaktadır. Diğer yandan EMRP, gürültü ve mikrokalorimetre ölçme sisteminin kurulması gibi ulusal ve uluslararası laboratuvar projelerinde yer almaktadır.

Murat ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Beşikdüzü Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Haberleşme Bölümünden 2010 yılında onur öğrencisi derecesi ile mezun olmuştur. 2010-2012 yılları arasında cep telefonu distribütörlüğü yapan bir firmada cep telefonu onarım teknikeri olarak çalışmıştır. 2012-2013 yıllarında askerlik hizmetini yapmıştır. 2013-2017 yıllarında Siemens telefon santralleri kurulumu ve zayıf akım çözümleriyle ilgili teknik servis birimlerinde çeşitli projelere katkı sağlamıştır.

2017 yılında TÜBİTAK UME RF ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda çalışmaya başlamıştır. RF ve Mikrodalga Laboratuvarında, mikrodalga güç, birincil ve ikincil seviye güç algılayıcısı kalibrasyonları ve HES boyutsal ölçümlerini yapmaktadır.

TS EN 60601 STANDARDI KAPSAMINDA BEBEK KUVÖZLERİNDE SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ

Aysun EROĞLU
Alev ÇORMAN TEYMUR

ÖZET

Yeni doğan yoğun bakım ünitelerinde yer alan bebek kuvözleri, prematüre bebeklerin sağlıklı gelişimleri için çeşitli hayati parametrelerin sağlandığı güvenilir ortamlardır. Bebek kuvözlerinde yer alan en önemli ölçüm parametreleri; sıcaklık, nem, hava akış hızı, ses seviyesi, oksijen miktarıdır. Bu parametreler içerisinde kritik önem taşıyan ölçüm büyüklüklerinden biri sıcaklıktır. Ülkemizde bebek kuvöz ölçümleri Avrupa Birliği Direktifleri doğrultusunda yayınlanan, "TS EN 60601 Elektrikli Tıbbi Donanım" standardı kapsamında gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma bahsi geçen standart doğrultusunda bebek kuvözlerindeki sıcaklık ölçümleri için gerekli ölçüm düzeneğinin nasıl kurulacağını ve ölçümlerde dikkat edilmesi gereken hususları içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bebek kuvözü, Ölçüm, Sıcaklık parametresi.

ABSTRACT

Infant incubators in newborn intensive care units are reliable environments for healthy development of premature babies where various vital parameters are provided. The most important measurement parameters in baby incubators are; temperature, humidity, air flow rate, sound level and oxygen amount. Among these parameters temperature is critically important. In our country, baby incubator measurements are carried out within the scope of "TS EN 60601 Electrical Medical Equipment" standard published in accordance with European Union Directives. This study involves to installation of the required measurement set up for temperature measurements in baby incubators according to the mentioned standard.

Key Words: Baby incubator, Measurement, Temperature parameter.

1. GİRİŞ

Sıcaklık; endüstride, tıpta, bilim, teknoloji alanında ve günlük yaşamda en çok ölçtüğümüz parametrelerden biridir. Endüstriyel bir tesisin çalışma sıcaklığı, radyatörlerde giriş ve çıkış sıcaklıkları, ilaçların depolanma sıcaklıkları ya da gıdaların iç sıcaklığı, hava durumu tahminlerinin aksine hassas ve doğru şekilde ölçülmelidir.

Endüstride neden sıcaklık ölçümlerine ihtiyaç duyulur?

1. Kontrol,
2. Gözlem,
3. Güvenlik ve enerji verimliliği.

Endüstriyel çalışmalarda ihtiyaç duyulan sıcaklık ölçümleri aynı hassasiyette sağlık alanında, teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanılan medikal cihazlar için de önem arz etmektedir. Sağlık alanında sıcaklık ölçümünün önemli olduğu medikal cihazlardan biri de kuvözdür.

Kuvözler; prematüre ya da sorunlu olarak doğan bebeklerin hayati fonksiyonlarını, yardım almaksızın devam ettirebilecek duruma gelmelerine yardımcı olarak, bebeğin durumunu izlemek için kullanılır. Kuvözlerde ısı performansı ve sıcaklığı, nem, oksijen, ışık ve gürültü kontrolü önemlidir. Sıcaklık parametresinin doğruluğu, kontrol altında tutulan prematüre bebek için kritik önem taşırken sağlık personeli açısından da yanılma olmaması, yanlış bir uygulama yapılmaması için kuvöz sıcaklık değerlerinden emin olunmalıdır. Bu da ancak doğru bir şekilde yapılan kuvöz ölçümleri sayesinde anlaşılabilir.

Kısaca “ölçüm bilimi” olarak tanımlanan metrolojinin ülkemizde gelişimi; 1986 yılında TÜBİTAK 'a bağlı Milli Fizik ve Teknik Ölçme Standartları Merkezi (MFÖSM) adı altında kurulan ve 1992 yılında ismi Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) olarak değiştirilen merkez ile başlamış ve gelişmiştir. Medikal metrolojinin kurulumu ise 2015 yılı itibarı ile TÜBİTAK UME bünyesinde gerçekleşmiştir. Günümüzde bu alandaki çalışmalar hızla devam etmektedir.

Ülkemizde medikal metroloji alanında akreditasyon ve kalibrasyon kavramlarının öneminin kavranması ile ölçüm hizmet kalitesinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu süreç içerisinde sağlık hizmetlerinde ihtiyaç duyulan ölçümlerin uluslararası standartlara en uygun şekilde yapılması ve doğru anlaşılması gerekmektedir.

Sağlığımızı yakından ilgilendiren birçok ölçüm cihazına ait referans ölçüm sistemi henüz ülkemizde kurulmamıştır. Sağlık sektöründeki cihazların ölçüm değerlerini belirlemek için uluslararası standartlar kullanılmaktadır.

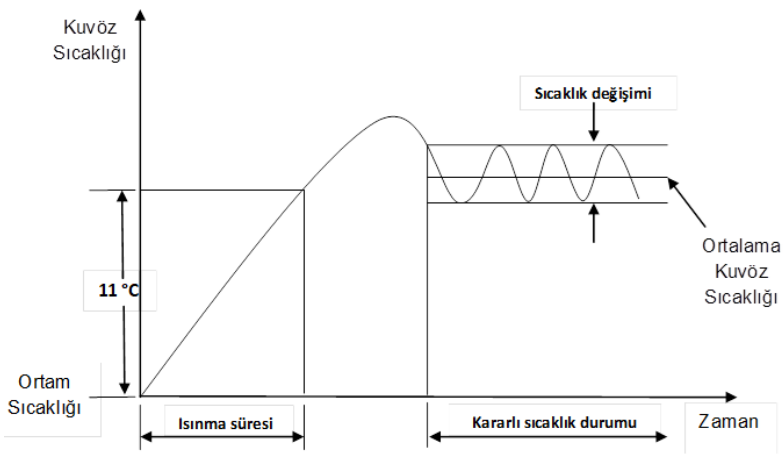
Ülkemizde kuvöz cihazlarının çalışmasına yönelik kontrol ya da ölçümler için kullanılan standart; 12.04.2012 tarihi itibarıyla, Türk Standartları Enstitüsünce yayınlanan TS EN 60601-2-19 “Elektrikli tıbbi donanım - Bölüm 2-19: Bebek kuvözlerinin temel güvenliği ve gerekli performansı için belirli özellikler” başlığı altında yer almaktadır.

Bu çalışma, TS EN 60601-2-19 standardı kapsamında kuvözlerde yapılması gereken sıcaklık ölçüm sistemlerinin kurulumu ve uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususları içermektedir.

2. KUVÖZ DE SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ

“TS EN 60601 Elektrikli Tıbbi Donanım” standardı kapsamında kuvöz içerisinde gerçekleştirilmesi gereken sıcaklık ölçümlerin anlaşılabilir olması için öncelikle standartta yer alan bazı teknik tanım ve terim kavramlarını doğru anlamak gerekir.

2.1. TANIMLAR & TERİMLER



Şekil 1. Kuvöz sıcaklık değişimi

Kararlı Sıcaklık Durumu: Şekil 2, M noktasındaki sıcaklık sensörüne ait ölçüm değerleri için, sıcaklığın 1 saatlik süre boyunca 1 °C 'den daha fazla değişmediğinde ulaşılan durumdur.

Ortalama Kuvöz Sıcaklığı: Kararlı sıcaklık durumunda, Şekil 2, M noktasındaki sıcaklık sensörünün, düzenli aralıklarla alınan tüm ölçüm değerlerine ait ortalama değerdir.

Ortalama Sıcaklık: Kararlı sıcaklık durumunda, Şekil 2 deki ölçüm sisteminde yer alan sıcaklık sensörlerinden herhangi biri için (A,B,C,D ya da M noktaları) düzenli aralıklarla alınan sıcaklık okuma değerlerinin ortalamasıdır.

Kontrol Sıcaklığı: Sıcaklık kontrol işlemi sırasında seçilen sıcaklık değeridir. Aksi belirtilmedikçe Kontrol sıcaklığı, 36 °C ± 1 °C olmalı ve daima ortam sıcaklığından en az 3 °C yüksek olmalıdır.

Kuvöz Sıcaklığı: Şekil 2 de bebeğin bulunduğu bölümdeki şilte yüzeyinin merkezinden, 10 cm yukarıda bulunan bir noktadaki (M noktası) hava sıcaklığıdır.

Cilt Sıcaklığı: Cilt sıcaklık sensörünün bebeğin üzerine yerleştirildiği bir noktadaki cilt sıcaklığıdır.

Cilt Sıcaklık Sensörü: Bebek cilt sıcaklığını ölçmek için tasarlanan sıcaklık algılama cihazıdır. Cilt sıcaklık sensörünün ölçme doğruluğu (referans sıcaklık değerinden farkı) en yüksek ± 0,3 °C olmalıdır.

Ortam Sıcaklığı: Standartta yer alan ortam sıcaklığı + 20 °C ve +30°C arasında olmakla birlikte, aksi belirtilmedikçe standarttaki deneyler için bahsi geçen ortam sıcaklık değeri, 21 °C ile 26 °C aralığında olmalıdır.

Bebek Parametreleri İle Kontrol Edilen Kuvöz: Sıcaklığı, cilt sıcaklık sensörüyle ölçerek kontrol sıcaklığına göre hava sıcaklığını otomatik olarak kontrol sağlayan kuvözdür.

2.2. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE ÖLÇÜM BÜYÜKLÜKLERİ

“TS EN 60601 Elektrikli Tıbbi Donanım” standardı kapsamında kuvöz içerisinde gerçekleştirilmesi gereken sıcaklık ölçümleri aşağıda yer almaktadır.

2.2.1. Kuvöz Sıcaklığının Kararlılığı

Kuvöz sıcaklığının, kararlı sıcaklık durumu esnasında ortalama kuvöz sıcaklığından farkı, 0,5 °C ‘den fazla olmamalıdır (Şekil 1). Kararlılık 1 saatlik süre boyunca 32 °C ve 36 °C ’lik kontrol sıcaklıklarında yapılan ölçme ile kontrol edilir.

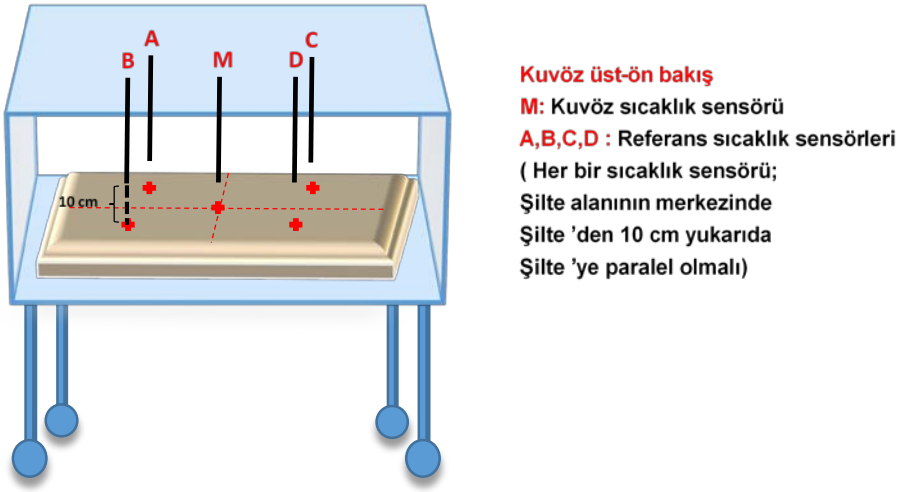
2.2.2. Kuvöz Sıcaklığının düzgün dağılımı

Herhangi bir kontrol sıcaklığında çalışan hava kontrollü kuvöz sıcaklığı ile şekil 2 ’deki A,B,C,D noktalarının her birindeki ortalama kuvöz sıcaklığının, normal kullanımdaki ortalama kuvöz sıcaklığından farkı, 0,8 °C ’den daha fazla olmamalıdır. Ayrıca bu sıcaklık farkı, eğik durumdaki şiltenin herhangi bir konumunda 1 °C ’den daha fazla olmamalıdır.

Uygunluk, aşağıdaki ölçüm sistemi ile kontrol edilir:

İzlenebilirliği olan referans termometre ile kalibre edilmiş sertifikalı sıcaklık sensörleri, şilte yüzeyine paralel ve şiltenin 10 cm yukarısında bulunan beş noktaya yerleştirilmelidir (Şekil 2; A,B,C,D ve M noktaları). M noktası şilte yüzeyinin merkezinden 10 cm yukarıda bir noktada bulunmalıdır. Diğer noktalar şilteyi enine ve boyuna göre iki parçaya ayıran çizgiler ile oluşturulan dört alanın merkezlerinden 10 cm yukarıda bulunmalıdır. Bu beş noktanın her birindeki ortalama sıcaklık, 32 °C ve 36 °C kontrol sıcaklıklarında ölçülmelidir.

Şekil 2 de yer alan A,B,C ve D noktalarının her biri için ölçülen ortalama kuvöz sıcaklığının, normal kullanımdaki ortalama kuvöz sıcaklığından farkı 0,8 °C 'den daha fazla olmamalıdır. Sıcaklık ölçümleri, bebek kuvözü şiltesinin tablasının eğim açılarının en uç iki değerinde ve yatay konumunda gerçekleştirilmeli ve bu noktalardaki sıcaklık farkı en fazla 1 °C olmalıdır.

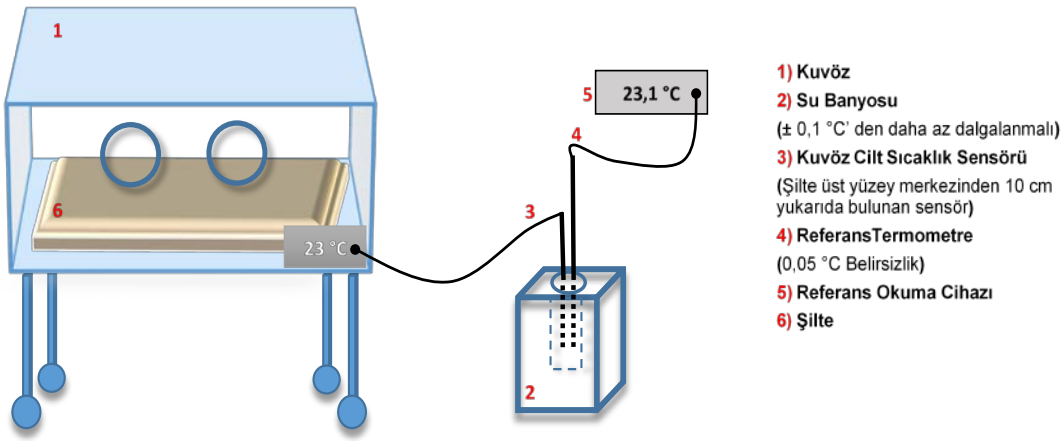


Şekil 2. Kuvöz hava sıcaklık sensörlerinin yerleşimi

2.2.3. Cilt Sıcaklık Sensörünün Doğruluğu

Cilt sıcaklık sensörüne ait doğruluğu belirlemek için Şekil 3 'de yer alan ölçüm sistemi kurulmadır. Ölçüm sisteminde kullanılacak su banyosuna ait yatay ve dikey eksen sıcaklık karakterizasyonu, izlenebilir referans termometreler ile ölçülerek, sertifikalandırılmalı ya da raporlanmalıdır. Standarda göre su banyo sıcaklık kararlığı ± 0,1 °C 'den daha iyi olmalıdır.

Cilt sıcaklık sensörüne ait doğruluk ölçümleri için, sıcaklık karakterizasyonu yapılmış su banyosu 36 °C sıcaklık değerine ayarlanmalıdır. İzlenebilir referans termometre ve cilt sıcaklık sensörü aynı daldırma derinliğinde yan yana olacak şekilde yerleştirilmelidir. Ölçüm sistemini oluşturan diğer tüm belirsizlik parametrelerinin göz önünde bulundurulmadığı durumda, cilt sıcaklık sensör parametrelerine ait toplam belirsizlik 0,05 °C 'den daha büyük olmamalıdır. Referans termometre ile cilt sıcaklık sensörü arasındaki sıcaklık farkı, 0,3 °C 'den daha fazla olmamalıdır.



Şekil 3. Kuvöz cilt sıcaklık ölçüm sistemi

2.2.4. Cilt Sıcaklığı ve Kontrol Sıcaklığı Arasındaki Doğruluk

Bebek parametreleri ile kontrol edilen kuvözde, şilte eğik yönde iken cilt sıcaklık sensörüyle ölçülen sıcaklık ile kararlı sıcaklık durumundaki kontrol sıcaklığı arasındaki fark 0,7 °C 'den daha fazla olmamalıdır.

Uygunluk, aşağıdaki ölçüm sistemi ile kontrol edilir:

Cilt sıcaklık sensörü, şilte yüzeyinin merkezinden 10 cm yukarıda serbest bir şekilde asılı tutulmalıdır. Cilt sıcaklığı, 36 °C 'lik kontrol sıcaklığında ölçülmelidir.

Alternatif deney yönteminin bu deneyle daha ilgili olduğu gösterilebilirse, imalatçı bu yöntemi, performans kuralını doğrulamak için kullanabilir.

2.2.5. Kuvöz Sıcaklık Göstergesinin Doğruluğu

Kuvöz sıcaklığına ait göstergenin doğruluğu, sadece kuvöz sıcaklığının kontrolü için kullanılan özel bir izlenebilir referans bir termometre ile test edilmelidir. Bu referans termometre, sadece kuvöz sıcaklığının ölçümü için kullanılmalı ve azami nem de çalıştırıldığında bile bebek kuvözünün kapağının açılmasına gerek kalmadan içeriden ya da dışarıdan gösterge ekranı kolayca okunabilecek şekilde olmalıdır. Kullanılacak olan ölçüm cihazı, kesinlikle civalı cam termometre olmamalıdır.

Kuvöz göstergesinden okunan sıcaklıkların ortalama değeri ile referans termometreden okunan ortalama sıcaklık değeri arasındaki sıcaklık farkı 0,8 °C 'yi aşmamalıdır. Referans termometre, 20 °C 'den, 40 °C 'ye kadar olan ölçme aralığına sahip ve ± 0,05 °C 'lik doğruluğa sahip bir termometre olmalıdır.

Herhangi bir cihazın sıcaklığa duyarlı bileşeni, hava sıcaklığının tutarlı olarak kuvöz sıcaklığından farklı olduğu bir noktaya yerleştirildiğinde, bu cihaz yukarıdaki kuralı karşılamak için özellikle bir sapma değeri ile kalibre edilebilir. Ancak, bu durumda yapılan özel kalibrasyonun bütün ayrıntıları beraberinde verilen dokümanlarda (ölçüm raporu, sertifika,…vs) tarif edilmelidir.

Uygunluk muayenesi, 32 °C ve 36 °C kontrol sıcaklıklarında yapılan ölçme işlemi ile kontrol edilir.

2.2.6. Kuvöz Sıcaklık Kontrol Aracının Doğruluğu

Bebek kuvözünün hava kontrollü kuvöz olarak çalıştırıldığı durumda, ortalama kuvöz sıcaklığından farkı ± 1,5 °C 'tan fazla olmamalıdır.

Uygunluk, 36 °C 'lik kontrol sıcaklığında ve kararlı sıcaklık durumunda ortalama kuvöz sıcaklığının ölçülmesi ile kontrol edilir.

2.2.7. Isınma Süresi

Et donanımının ısınma süresi standard içerisinde yer alan Madde 201.7.9.2.2 ile tarif edilen ısınma süresinden farkı % 20 'den fazla olmamalıdır.

Uygunluk aşağıdaki deneyle kontrol edilir:

KONTROL SICAKLIĞI ortam sıcaklığının 12 °C yukarısına ayarlandığı durumda, besleme gerilimi beyan edilen gerilime eşit olduğunda ve et donanım, hava kontrollü kuvöz olarak çalıştırıldığında, bebek kuvözü soğutma durumunda başlatılarak çalıştırılır. Kuvöz sıcaklığının 11 °C 'ye kadar yükselmesi için gerekli süre ölçülür (Şekil 1). Nem kontrol cihazı mevcut ise azami değere ayarlanmalıdır. Nemlendiricinin su kabının su seviyesi normal düzeyde olmalıdır. Böyle bir kaptaki suyun sıcaklığı, ortam sıcaklığına eşit olmalıdır.

2.2.8. Kuvöz Sıcaklığındaki Ani Artış

Kontrol sıcaklığının aşağıda verilen deneyde tanımlanan şekilde ayarlanmasından sonra kuvöz sıcaklığındaki ani artışı 2 °C 'yi aşmamalı ve kararlı sıcaklık durumu 15 dakika içinde yeniden elde edilmelidir.

Uygunluk, aşağıdaki deney ile kontrol edilir:

Bebek kuvözü, 32 °C 'lik kontrol sıcaklığında kararlı sıcaklık durumuna erişilinceye kadar hava kontrollü kuvöz olarak çalıştırılır. Daha sonra sıcaklık kontrol cihazı, 36° C 'lik kontrol sıcaklığına ayarlanır. Kuvöz sıcaklığındaki ani artış ve sıcaklığın 36 °C 'den ilk geçişinden, yeni bir kararlı sıcaklık durumuna erişmek için gereken süre ölçülmelidir.

3. SONUÇ

TS EN 60601 standardı kapsamında kuvöz sıcaklık ölçümleri adı altında yapılan çalışmada amaç, bebek kuvözleri için önemli olan parametrelerden sıcaklık parametresi ölçümlerinin, standardı referans alarak açıklanmasıdır.

Öncelikle standard kapsamında yapılması gereken sıcaklık ölçümlerinin doğru ve güvenilir olarak gerçekleştirilmesi amacıyla teknik tanım ve terimlere açıklık getirildi.

Ayrıca yine standard kapsamında yapılması gereken çeşitli sıcaklık ölçüm düzeneklerinde dikkat edilmesi gereken hususlara değinildi.

Sıcaklık ölçümünün önemli olduğu medikal cihazlardan olan kuvöz, yeni doğan yoğun bakımlarında sıcaklık parametresi kontrol altında tutulması gereken bir cihazdır. Sağlık personeli kuvözün doğru değerleri gösterdiğine güvenerek ayarlama yapmaktadır. Kuvözün ise ne kadar doğru ölçüm yapıp yapmadığı üretici firma tarafından verilen katalog ya da sertifika da verilmelidir. Üretici firma kuvöze ait ölçüm büyüklükleri ile ilgili çalışma yaparken, kuvözün tüm parametrelerini kontrollerden geçirmesi gerekmektedir. Yapılan kontroller ölçümlerle desteklenmelidir. Ölçüm sonuçları sertifikalanmalıdır. Sertifikası olan kuvözler pazara sunulmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] TS EN 60601-2-19 Elektrikli Tıbbi Donanım- Bölüm 2-19:Bebek Kuvözlerinin Temel Güvenliği ve Gerekli Performansı için Belirli Özellikler

ÖZGEÇMİŞ

Aysun EROĞLU

1997 yılı Muğla doğumludur. 2019 yılında PÜ. Denizli Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. "Elektrospining Yöntemiyle $Lafeo_3$ Nanoparçacık Katkılı Nanolif Üretimi" adlı bitirme tezini hazırlamış, hastane stajını Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde yapmış, endüstri stajını ise Etkin Tıbbi Cihazlar da yaparak stajlarını tamamlamıştır. İş yeri eğitimini TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Sıcaklık Laboratuvarında yapmıştır. 2019 Mayıs ayında lisans eğitimini tamamlamıştır.

Alev ÇORMAN TEYMUR

EGE Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünden 1997 yılında Teorik Fizikçi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl “Kütle Metrolojisine Giriş” adı altında tez çalışması yapmıştır.

1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Zaman Frekans Laboratuvarında göreve başlamış ve 1999 yılından bu yana TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında görevine devam etmektedir. Kontak Sıcaklığı alanında birincil ve ikincil seviye çeşitli sıcaklık ölçüm cihaz ve düzenekleri ile çalışmaktadır. Sabit nokta sıcaklıklarının oluşturulması, Isıl çift, Platin bazlı direnç termometre (SPRT, PT100, Pt200, ntc, ptc,…) kalibrasyonları, Etüv ve çeşitli sıcaklık kabin kalibrasyonları, yüzey sıcaklık ölçümleri üzerine çalışmakta olup, ölçme sistemlerinin kurulumu, karakterizasyonu ve belirsizlik hesaplamaları konusunda çalışmalar yapmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinin ulusal/uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır.

TERMAL KAMERA KALİBRASYONU VE VALİDASYONU İÇİN SUYUN ÜÇLÜ NOKTASI TEMELLİ SİYAHCİSİM

Yasin TOPAL
Ahmet YILANCI
Semih YURTSEVEN
Ali UYTUN
Hümbet NASİBLİ

ÖZET

Günümüzde termal kameraların, çeşitli endüstriyel ve araştırma uygulamalarında sıcaklık dağılımının belirlenmesinin yanı sıra hassas sıcaklık ölçümlerinde de kullanımı önemli ölçüde artış göstermektedir.

Genel olarak, termal kameralar test altındaki sahnenin nitelikli analizi için nispi bir sıcaklık dağılımına ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen termogramlar için yeterli uzaysal çözünürlük ve kabul edilebilir sıcaklık dağılımı özellikleri en önemli parametrelerdir. Fakat son yıllarda, kızılötesi ışınım sensörlerinin gelişmesi ile termal kameralar mutlak sıcaklık ölçümlerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Bu nedenle termal kameraların mutlak ve Uluslararası Sıcaklık Ölçeği' ne (ITS-90) izlenebilir kalibrasyonu söz konusudur. Bu durum özellikle, termal kameraların tıpta kullanımında belirli bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, termal kameraların uzun ve kısa süreli kararlılığını takip etmek için mutlak ve ITS-90'a izlenebilir sıcaklık kalibrasyonu gereklidir.

Bu çalışmada, termal kameraların mutlak ve izlenebilir kalibrasyonları ve validasyonu için geliştirilen geniş alanlı suyun üçlü noktası (SÜN) temelli siyahcisimden bahsedilecektir. Söz konusu siyahcismin tasarımı ve üretimi tamamen TÜBİTAK UME'ye aittir. Referans ışınım kaynağı olarak emisivite değeri 0,9995'in üzerinde olan bakır kavite kullanılmaktadır. Bu çalışmada, UME referans SÜN hücresi ile SÜN temelli siyahcisim hücresinin karşılaştırması ve karakterizasyonu yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Termal kamera, Termogram, Kalibrasyon, ITS-90, Suyun üçlü noktası.*

ABSTRACT

Nowadays, the use of thermal imagers in absolute temperature measurements along with retrieving of relative temperature distributions in industrial and research applications is significantly increasing.

In general, thermal imagers are used in applications where a relative temperature distribution is required for a qualified analysis of the scene under the test. The main requirement for the thermograms is to show the relative temperature distribution of the scene by revealing the corresponding temperature differences (and/or gradients) at a given spatial resolution.

However, in recent years the developments in infrared and thermal radiation sensors have been maturated the use of thermal cameras in absolute temperature measurements. Therefore, absolute and International Temperature Scale (ITS-90) traceable temperature calibrations of the thermal imagers are necessary. On the other hand, such calibrations are useful to trace the long and short time stabilities of the thermal cameras.

In this study, we describe a triple point of water (TPW) based blackbody developed for absolute and traceable calibration and validation of thermal imagers. The design and construction of this blackbody

belong to TÜBİTAK UME. A copper cavity with an emissivity value of above 0,9995 is used as the reference radiation source. In this study, a comparison and characterization of the TPW based blackbody are presented.

Key Words: *Thermal cameras, Thermograms, Calibration, ITS-90, Triple point of water*

1. GİRİŞ

Termal kameralar, hızlı tepki sürelerinin yanı sıra tek ölçümde iki boyutlu alanda (termal kameraların görüş alanı) sıcaklık dağılımının mutlak değerlerini algılayabilme yetenekleri nedeni ile hem endüstriyel uygulamalarda hem de bilimsel araştırmalarda noktasal sıcaklık ölçerlere göre daha karmaşık bir yapıya ve ileri teknolojiye sahiptir. Ayrıca, günümüzde termal kameralara dayalı ölçümlerin çeşitli endüstriyel ve araştırma uygulamalarından, klinik tıpta titiz ölçümlere kadar ciddi anlamda geliştiği açıkça görülmektedir [1].

Önceleri, termal kameraların çıktısı olan termogramlar için yüksek uzaysal çözünürlüğün yanı sıra iyi derecede sıcaklık farkı çözünürlüğü birçok çalışma için yeterli olmaktaydı. Bunun da nedeni termal kameraların yaygın kullanımında test altındaki sahnenin nitelikli analizi için nispi bir sıcaklık dağılımına ihtiyaç duyulmasıydı. Ayrıca, bu çalışmalar, yeterli uzaysal çözünürlüğe ve kabul edilebilir sıcaklık dağılımına sahip termogramları gerektirmektedir. Fakat, günümüzde kızılötesi ışınım sensörlerinin gelişmesi ile birlikte en iyi dinamik sıcaklık algılayıcıları olarak tanımlayabileceğimiz termal kameraların, mutlak ve ITS-90'a izlenebilir sıcaklık kalibrasyonunun yapılması zorunlu hale gelmektedir [2-4]. Ayrıca, termal kameraların uzun ve kısa süreli kararlılığını takip etmek için mutlak ve Uluslararası Sıcaklık Ölçeği' ne (ITS-90) izlenebilir sıcaklık kalibrasyonu gereklidir. Şu anda, (ITS-90), sıcaklık ölçümleri için uluslararası kabul görmüş bir standarttır [5]. Genel olarak, ITS-90'ın dünya çapında yaygınlaştırılması, ulusal metroloji enstitüleri veya onaylı ölçüm kuruluşları tarafından sağlanmaktadır.

Geçtiğimiz yüzyılın ortalarında geliştirilen ilk termal kameralar, çok yüksek maliyetli ve birkaç metrelik büyük boyutlarda (destek düzenekleriyle birlikte) düşük bir çözünürlüğe (hem sıcaklık hem de uzaysal) ve çok sınırlı uygulama alanlarına (genellikle askeri amaçlar için) sahiplerdi. Yeni nesil termal kameralara baktığımızda daha düşük maliyetli ve daha küçük boyutlara sahip olduğundan cep telefonlarına bile kolayca entegre edilebilmektedirler. Öte yandan, termal kameraların çıktısı olan termogramlar her piksel için sıcaklık değerini gösterir. Kullanılan dedektöre, tipine (soğutulmuş veya soğutulmamış), dizi büyüklüğüne hatta uygulama alanına vb. bağlı olarak çeşitli termal kameralar mutlak sıcaklık kalibrasyonları için farklı yaklaşımlar gerektirmektedir [1].

Genel olarak, hassasiyeti arttırmak için termal kameraların tam çalışma aralığı dar bant çalışma aralıklarına bölünür. Termal kameraların kullanıldığı alanlarda, test altındaki sahnenin sıcaklığına bağlı olarak çalışma aralığı belirlenir. Çoğu görüntüleyici için, klinik sıcaklık aralığını (25 °C - 40 °C) kapsayan çalışma aralığı, yaklaşık -20 °C ile 120 °C arasındadır. Sonuç olarak, termal kamera kalibrasyonlarının doğruluğunu arttırmak ve ilgili belirsizlikleri azaltmak için, Machin ve diğerlerinin çalışmasında [6] açıklanan referans kaynakları tarafından kapsanan aralığın dışında çalışan, referans kaynaklarına da ihtiyaç vardır. Uytun ve Nasibov'un çalışmasında [7], 273,16 K (0.01 °C) nominal çalışma sıcaklığına sahip geniş alanlı suyun üçlü noktası (GASÜN) hücresi temelli siyahcisim kaynağı geliştirilmiştir ve uygulamalar yapılmıştır.

Bu çalışma, endüstri ve araştırma uygulamalarına yönelik termal kamera kalibrasyonu ve validasyonu için suyun üçlü noktası temelli siyahcisim ile alakalı ölçümleri içermektedir. İlk olarak, GASÜN siyahcisim kaynağının tasarımı ve bakımı sunulmuştur. Ardından, deneysel ölçümlerin sonuçları bölüm 3'te tartışılmıştır. Son olarak, yapılan çalışmaların bulguları sonuç kısmında verilmiştir.

2. SİYAHCİSİM TEMELLİ GENİŞ ALANLI SUYUN ÜÇLÜ NOKTASI HÜCRESİ

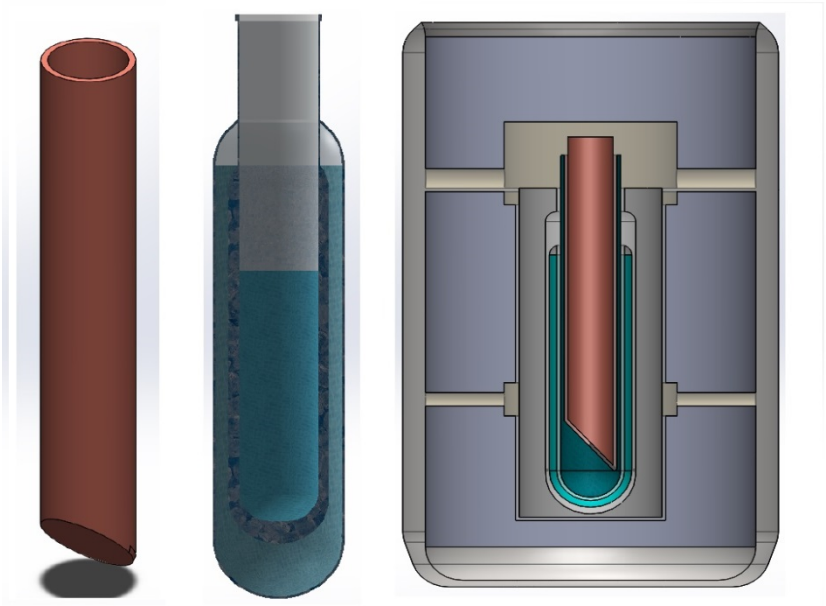
2.1. Tasarım

a. Kavite Tasarımı

GASÜN siyahcisim kavite tasarımı, Şekil 1.a'da görüldüğü gibi, 40 mm çapında ve 40 cm uzunluğunda bir silindir bakır borudan ve 30 ° konik kesikten oluşmaktadır. Kavitenin izotermal koşullar ve boyanmamış iç yüzey salınımı, 8-14 μm dalga boyu aralığında 0,9995 olarak hesaplanmıştır.

b. Hücre Tasarımı

Suyun üçlü noktası (SÜN) hücresi, gösterildiği gibi borosilikat camdan yapılmıştır (Şekil 1 b). 80 mm' lik bir kabuk çapına sahiptir. Kavite'nin yerleştirilmesi için iç oyuğun çapı yaklaşık 48 mm' dir ve kavite ile oyuk duvarları arasındaki boşluk damıtılmış su ile doludur. Kavitenin, hücre içerisindeki suyun yoğuşması ve daha kolay temizlenmesini kolaylaştırması için pürüzsüz yollara sokulduğu ve hücreden çıkarıldığı not edilmelidir. Hücre yüksek saflıkta ve gazsız su (üçlü damıtılmış) ile doldurulmaktadır. GASÜN, Şekil 1.c' de gösterildiği gibi, özel tasarımlı bir ev yapımı termos içerisine yerleştirilmiştir.



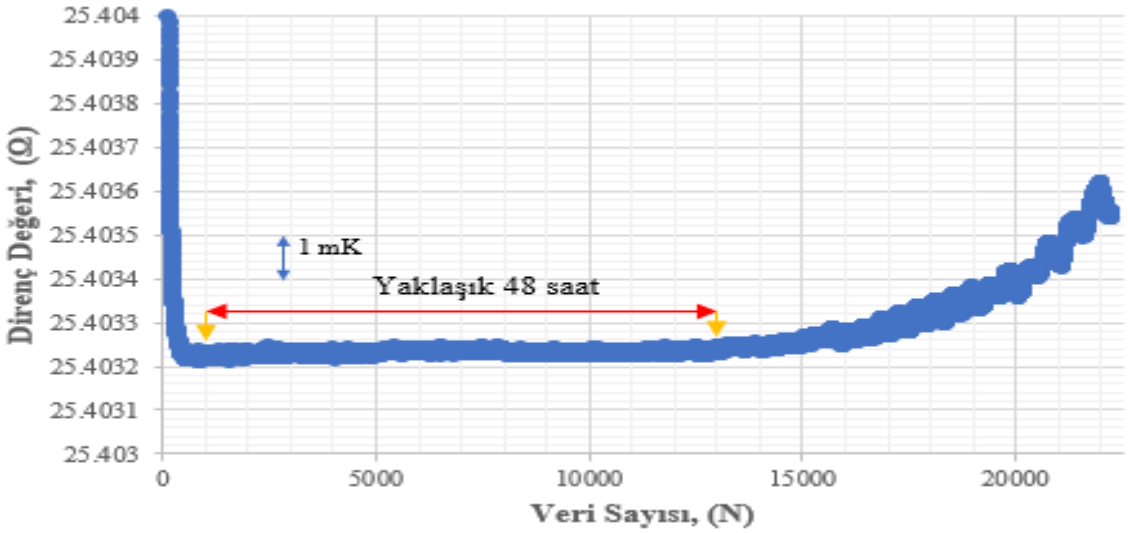
a) **b)** **c)**

Şekil 1. a) Bakır kavite, **b)** SÜN hücresi, **c)** ITS-90 referans SÜN sıcaklığının (yani, 0,15 °C) gerçekleştirilmesi için bir tertibat (termos)

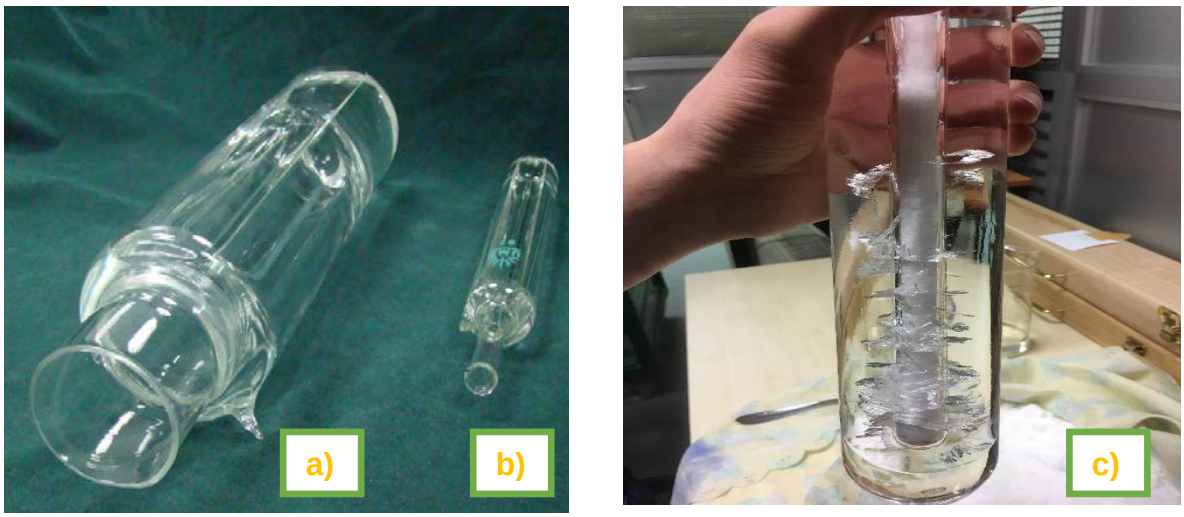
2.2. SÜN Hücresinin Bakımı

Üçlü nokta'nın, belirli maddelerin erime ve donma faz geçişlerine karşılık gelen bir sıcaklık değeri, referans sıcaklık noktaları olarak ITS-90 sıcaklık ölçeğinde belirtilmektedir [5]. Bunlar arasında, SÜN, ITS-90 ölçeğinin gerçekleşmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu durumda, üç saf su fazı, yani katı (buz), sıvı ve buhar fazları termodinamik denge durumunda bir arada bulunmaktadır. ITS-90'daki 273.16 K (0,01 °C) değer bu durumun sıcaklığına atanmıştır. 20 Mayıs 2019 Dünya Metroloji Gününde resmen yürürlüğe giren, sıcaklığın SI (The International System of Units) biriminin yeniden tanımlandığını belirtmekte fayda bulunmaktadır –Kelvin artık, Boltzmann sabiti ($k=1{,}380649\times10^{-23}$ $J.K^{-1}$) kullanılarak tanımlanmaktadır [8].

SÜN hücresi genellikle, ölçek gerçekleştirmede ve standart platin dirençli termometrelerin (SPRT) kalibre edilmesi için; yani, SPRT'nin 0,01 ° C'de direncinin belirlenmesi için kullanılır. Bu nedenle, dünyadaki metroloji enstitülerinde yaygın olarak kullanılan SÜN hücresinin iç çapı, SPRT'nin çapına göre tasarlanmıştır. UME Sıcaklık Laboratuvarı 1992 yılından beri kendi SÜN hücrelerini tasarlamaktadır. Halen, UME' nin birincil seviye sıcaklık ölçeğini oluşturmak için farklı SÜN hücreleri vardır. Mevcut çalışmada, iç çapı 8 mm ve daldırma derinliği 230 mm olan SÜN hücresi kullanıldı. Mevcut çalışmadaki ölçümler çerçevesinde hem UME referans SÜN hücresi hem de GASÜN siyahcismi kuru buz yöntemi ile hazırlanır [9] (Şekil 3.c). Referans hücre bakım banyosunun içine yerleştirilir ve 0.006 °C (± 0.001) sıcaklıkta tutulur. UME referans SÜN hücresi ve GASÜN hücresinin karşılaştırmalı incelemesi, bir SPRT (Hart Scientific, 5681, 1306) ve bir MI6015T DC direnç köprüsü ile gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma, ilgili hücrenin içine yerleştirilerek ve SPRT'nin direnci ölçülerek yapılmıştır. Olası belirsizlikleri ve hataları azaltmak için SPRT'nin direnci, 23 °C (± 0.02) sıcaklıkta tutulan ayrı bir banyoya yerleştirilmiş olan referans direncine (Tinsley 100Ω) orantılı olarak ölçülmüştür. Ölçümlere göre referans SÜN hücresi ve GASÜN hücresi arasındaki sıcaklık farkı 0,37 mK'den az bulunmuştur (Şekil 2) (Tablo 1).



Şekil 2. GASÜN Hücresi ile alınan plato ölçümü.



Şekil 3. a) GASÜN Hücresi **b)** UME Referans SÜN Hücresi **c)** Referans hücre hazırlanması

Tablo1. Referans SÜN Hücresi ve GASÜN Hücresi

SÜN	Ortalama değer/Ohm	Standart Sapma / mK
3.a)	25.403233	0.06
3.b)	25.403196	0.04

3. DENEYSEL SONUÇLAR

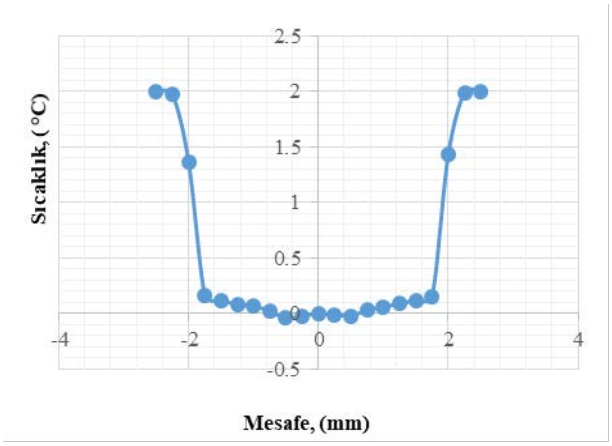
İzlenebilirliği UME tarafından sağlanan transfer standart radyasyon termometresi (TRT), doğrulama ölçümlerinde, gümüş donma noktasının altındaki sıcaklık noktaları için kullanılır. Termometrenin özellikleri Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Transfer Standart Radyasyon Termometresi

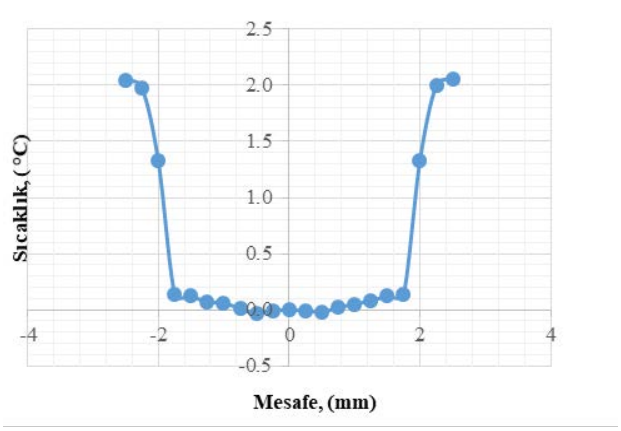
Cihaz	HEITRONICS TRT 4.82
Sıcaklık Aralığı	-50°C…1000°C
Bant Genişliği	8µm - 14µm
Odak Uzaklığı	39 cm
Spot Boyutu	6.8mm @ 380mm

3.1. Yüzey Taraması

GASÜN temelli siyahcisim kavitenin açıklığı boyunca sıcaklık dağılımı TRT tarafından ölçülmüştür. TRT cihazı, 3 boyutlu X-Y-Z hareket düzlemi üzerine sabitlenmiştir. Sonra TRT'yi kavitenin orta noktası baz alınarak soldan sağa yatay yönde ve ters yönde hareket ettirerek açıklık yüzey taraması gerçekleştirilmektedir. Benzer şekilde, dikey açıklık yüzey taraması TRT'yi aşağıdan yukarıya ve tam tersi yönde de hareket ettirerek gerçekleştirilmektedir. Her yönde ölçümler iki kez tekrarlanmaktadır. Şekil 4 ve 5'te, GASÜN boyunca yatay ve dikey olarak taranan kavite'nin açıklığındaki sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. GASÜN radyasyon kaynağının, maksimum sapmasının ± 0,1 °C' yi geçmediği kavite açıklığı boyunca homojen bir sıcaklık dağılımı ve homojen sıcaklık dağılımına sahip alanın çapının da 30 mm'den fazla olduğu görülmektedir. Önceki çalışmamızın sonuçlarına göre, TRT'nin 30 mm' nin üzerindeki kaynak boyutunun etkisi dikkate alınmayacak kadar küçüktür (TRT'nin çözünürlüğünden azdır). Bu nedenle, mevcut deneyler için, GASÜN radyasyon kaynağının kullanılmasıyla elde edilen sıcaklık değerleri, kaynak boyutu etkisinde herhangi bir düzeltme olmadan karşılaştırılabilir. Şekil 6 ve Şekil 7'de, GASÜN' nın "kısa" ve "uzun" süreli kararlılığı gösterilmektedir.



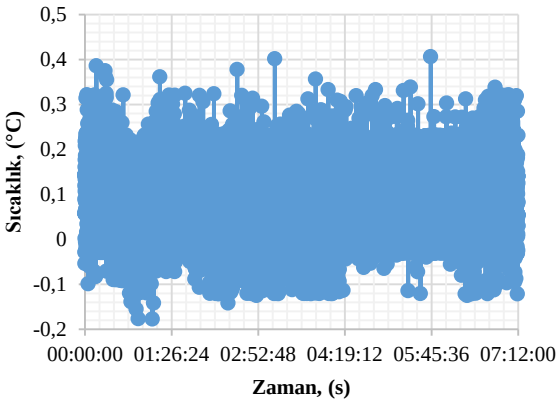
Şekil 4. 0 °C sıcaklık noktasında kavitenin açıklığındaki sıcaklık dağılım grafiği, yatay eksen.



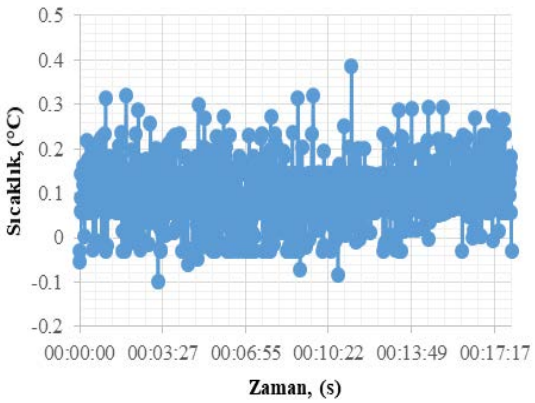
Şekil 5. 0 °C sıcaklık noktasında kavitenin açıklığındaki sıcaklık dağılım grafiği, dikey eksen.

3.2. Kararlılık Ölçümleri

GASÜN' de TRT ile kaydedilen verilerin analizi bir saat içinde gerçekleştirilmiştir. TRT okumasının hesaplanan standart sapma değeri, GASÜN için 0,07 °C' dir.

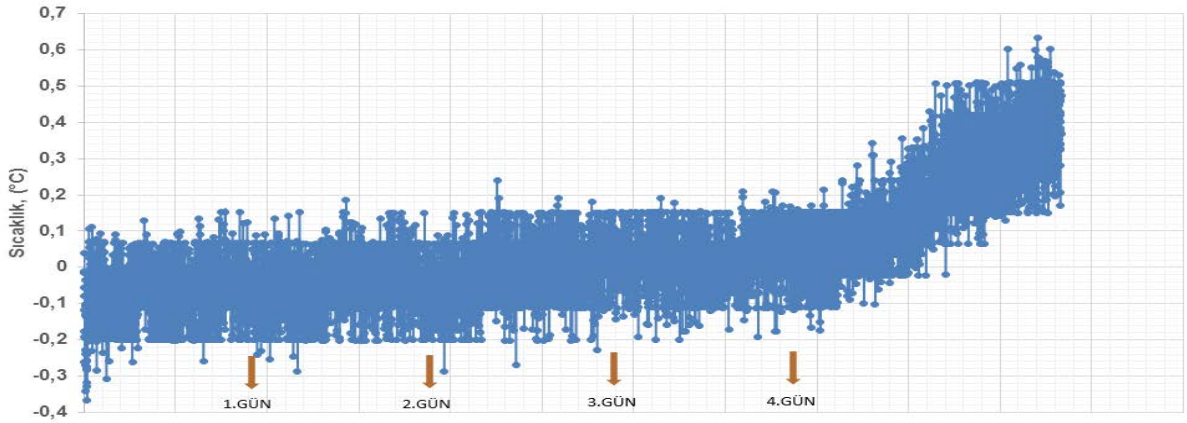


Şekil 6. Plato esnasında TRT tarafından kaydedilen GASÜN' nın uzun süreli kararlılığı (yaklaşık 7 saat).



Şekil 7. Plato esnasında TRT tarafından kaydedilen GASÜN' nın kısa süreli kararlılığı (yaklaşık 15 dakika).

Tüm bu ölçümlerden sonra GASÜN içerisindeki siyahcisim kavite çıkarılarak, GASÜN içerisindeki su seviyesine kadar kesilmiştir. Ardından alınan ölçümlerin bir önceki ölçümlere göre daha kararlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, hücre içerisindeki buz erimeden yaklaşık 5 gün dayanmaktadır. Şekil 8'de görüldüğü gibi 4. gün sonlarında hücre erimeye başlamış ve sıcaklık artmıştır. Bu ölçüm sonucunda standart sapma değeri 0.07 °C olarak ölçülmüştür.

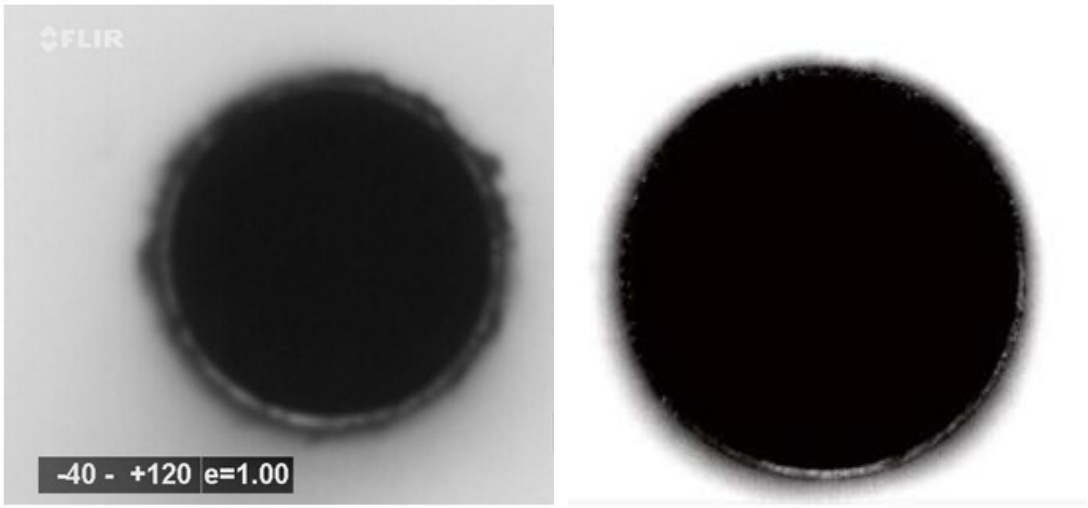


Şekil 8. Kavite kesildikten sonra alınan plato ölçümü.

Tablo 3, mevcut ölçümlerde kullanılan termal kameraların (sırasıyla P25 ve CG640 olarak gösterilen) temel parametrelerini göstermektedir. Her iki kamera da GASÜN ile 0 °C'de kalibre edildi ve sonra karşılaştırıldı. Tüm ölçümlerde kameraların emisivite değeri 1.00 olarak ayarlanmıştır. Şekil 9, GASÜN siyahcisminin, FLIR ThermaCAM P25 ve COX CG640 kamera kullanılarak elde edilen termogramları göstermektedir. Aynı şekilde emisivite değerinin azaltıldığında sıcaklık değerinin arttığını gösteren termogramlar Şekil 10'da verilmiştir. Kalibrasyon ölçümlerinde FLIR ThermaCAM P25 kamera -40 °C ile +120 °C sıcaklık aralığında kullanılırken, COX CG640, -20 °C ile +120 °C sıcaklık aralığında kullanılmıştır.

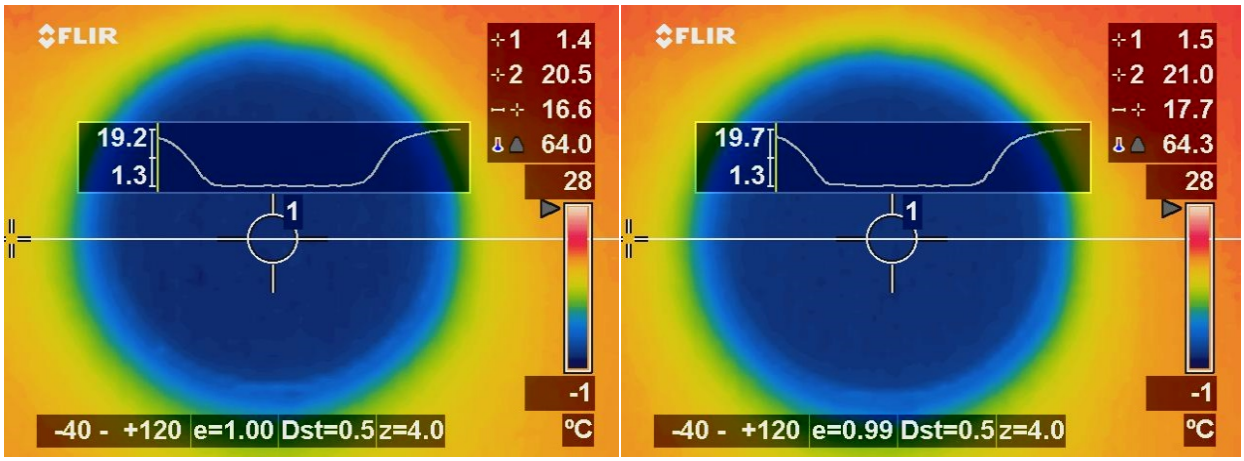
Tablo 3. Kalibrasyon altında termal kameralar

Cihaz	**FLIR ThermaCAM P25**	**COX CG640**
Sıcaklık Aralığı	-40°C - +120°C 0°C - +500°C +1000 °C' e kadar, ayarlanabilir	-20°C ~ 120°C Yüksek sıcaklık belirleme modu: 0°C ~500°C
Spektral Aralık	7.5µm-13µm	8µm-14µm
Çözünürlük (Piksel)	320 x 240 piksel	640×480 piksel
Ölçüm Yöntemi	Görüntü merkezinde sabit nokta	Görüntü merkezinde sabit nokta



a) **b)**

Şekil 9. GASÜN'den alınan örnek kavite termogramları **a)** FLIR ThermaCAM P25, **b)** COX CG640



Şekil 10. FLIR ThermaCAM P25 ile alınan GASÜN termogramları.

SONUÇ

GASÜN termal kameraların (klinik uygulamalarda kullanılanlar dahil) kalibrasyonu için tasarlanmıştır ve geçerliliği incelenerek kabul edilmiştir (doğrulanmıştır). Bu ITS-90' a izlenebilir referans kaynağı, termal kamera kalibrasyonları için [10]' da tarif edilen ek sabit nokta siyahcisim olarak da düşünülebilir. Taşınabilir büyüklük, bakım kolaylığı ve sahada kolay kullanım (sadece distile su ve kuru buz gerekmektedir), bu cihazı termal kameraların kalibrasyonu ve validasyonu için çok cazip kılmaktadır. Tasarlanan bu siyahcisim ile UME referans SÜN hücresi arasında nispeten uzun bir sabit nokta plato süresi (40 saatten fazla) ve -0.37 mK mutlak sıcaklık farkı bulunmaktadır. Öte yandan, transfer standart radyasyon termometresi ile kaydedilen sinyalin standart sapma değeri, bu siyahcisim için yaklaşık 0,07 °C olarak ölçülmüştür. Ardından aynı kavite kesildikten sonra uzun süre içindeki buz erimeden durumunu korumaya devam eden siyahcisim yine aynı standart sapmaya sahipken sıcaklık değeri yaklaşık -0,02 °C olarak ölçülmüştür. Geniş bir kavite alanı (40 mm'den fazla) ve yüksek emisivite değeri (0.995'ten fazla), termal kameraların ve transfer standart radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu ve validasyonu için çok yönlü bir araç durumundadır. Çapı 60 mm' den daha büyük, tabanında konik kesikli bir eğim içeren silindir kavite ile ileri çalışmalar yapılacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "UME Araştırmalarının Yenilenmesi ve Geliştirilmesi" programı 2017K120940 projesi ve "Nicelikli Termal Görüntüleme Kalibrasyon Sistemi" G1SI-YOG0009 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Topal Y., Yılancı A., Yurtseven S., and et. al., " Triple Point of Water Cell Based Reference Radiation Source for Medical Thermography Applications" MeMeA-2019, İstanbul,Turkey, to be published.

[2] Bojkovski J., Fischer J., Machin G., Pavese F., Peruzzi A., Renaot E., Tegeler E., "A roadmap for thermal metrology," Int. J. Thermophysics, , pp 30, (1), 1-8. 2009.

[3] Filtz J.-R., et al, "A European Roadmap for Thermo-physical Properties Metrology", Int. Journal of Thermophysics, vol. 36, pp. 516-528. (2015).

[4] Lane B., Whitenton E. P. "Calibration and Measurement Procedures for a High Magnification Thermal Camera," NISTIR 8098, http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.8098.

[5] Preston Thomas H. -, "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)", Metrologia, vol. 27, s. 3-10, Canada 1990.

[6] Machin G., Simpson R., Broussely M., " Calibration and validation of thermal imagers, " QIRT Journal, vol. 6, No. 2, pp. 133-147, February 2009.

[7] Uytun A., Nasibov H., "A large-area triple point of water blackbody for thermal camera calibrations, " TEMPMEKO-2019, Chingdu, China, to be published.

[8] "Implementing the new kelvin 2, " www.vtt.fi/sites/ink2

[9] Uytun A., Doğan A. K., Uğur S., "Construction and Characterisation of the UME Made Water Triple Point Cells, " XVII IMEKO World Congress, Metrology in the 3rd Millennium, Croatia, June 2003.

[10] Simpson R. C., McEvoy H. C., Machin G., Howell K., vd. , " In- Field-of-View Thermal Image Calibration System for Medical Thermography Applications, " International Journal of Thermophysics, vol. 29, pp. 1123-1130, June 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Yasin TOPAL

1992 yılı Balıkesir doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Bilimleri Şubesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Misafir Araştırmacı olarak görev yapmaktadır.

Ahmet YILANCI

2000 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2004 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde Yüksek Mühendis, 2008 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2002-2009 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak ve 2009-2013 yılları arasında Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmıştır. 2013-2018 yılları arasında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde Yrd. Doç. Dr. olarak görevine devam etmiştir. 2018 yılından beri Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı'nda Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Enerji ve fotovoltaik sistemler üzerinde çalışmaktadır.

Semih YURTSEVEN

1991 yılı Giresun doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Metroloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Araştırmacı olarak görev yapmaktadır.

Ali UYTUN

1997 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1998 yılında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Araştırmacı olarak göreve başlamıştır. Şu anda Uzman Araştırmacı olarak halen TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında görev yapmaktadır. 2009 yılından beri sıcaklık ve nem ölçümleri konusunda TÜRKAK teknik denetçisi ve baş denetçi olarak görev almaktadır. Sıcaklık sabit noktaları, suyun üçlü noktası, standart platin direnç termometresi, direnç termometreleri, ısılçift, cam termometreleri ve benzeri cihazların kalibrasyon ve ölçümleri üzerinde çalışmaktadır.

Hümbet NASİBLİ

1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2000 yılında Azerbaycan Bilim Akademisi Fotoelektronik Enstitüsünde Deneysel Fizik Teknikleri ve Bilimsel Cihazlar konusu üzerine çalışmış ve PhD. ünvanını almıştır. 1992-2001 yılları arasında Fotoelektronik Enstitüsünde Lazer Spektroskopisi bölümünde Optik Mühendisi olarak görev almıştır. 2001-2004 yılları arasında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Uzman Araştırmacı olarak görev almıştır. 2004-2016 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE' de Başuzman Araştırmacı olarak görev almıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Başuzman Araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Uygulamalı Lazer Fiziği, kızılötesi teknolojiler, optik ve termal görüntü işleme, sıcaklık ve optik metrolojisi için cihazlar ve sensörler üzerine çalışmaktadır.

SICAKLIK KONTROLLÜ HACİMLERİN KALİBRASYONUNDA RADYASYONDAN KAYNAKLI BELİRSİZLİK BİLEŞENİNİN İRDELENMESİ

Ali UYTUN
Murat KALEMCİ
Mücahit KORKMAZ
Elif AVİNCA
Pervin TÜZÜN

ÖZET

Ülkemizdeki kalibrasyon laboratuvarlarının çoğu "Sıcaklık Kontrollü Hacimlerin Kalibrasyonu" başlığında akredite olmuşlardır. Bu alandaki kalibrasyonlar, EURAMET rehber dokümanının da (Guidelines on the Calibration of Temperature and/or Humidity Controlled Enclosures, Cg-20) atıfta bulunduğu TS EN 60068-3-5, TS EN 60068-3-11 ve DKD-R5-7 standartlarına göre gerçekleştirilmekte ve belirsizlik hesaplamaları bu dokümanlara göre yapılmaktadır. Belirsizlik bileşenlerinden biri olan radyasyon etkisi, kabinlerin duvar yapıları, duvar sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki fark, sensörlerin emisivite değerleri ile ilişkilidir. Bu yayında farklı iki sıcaklık kabininde, iki farklı sıcaklık sensörü seti kullanılarak, birinci tip sıcaklık kaynağında 100 °C ve 200 °C ölçümleri, ikinci tip sıcaklık kaynağında ise 50°C ve 100 °C ölçümleri alınmıştır. İki sıcaklık sensörü seti, bir adet kalkanlı ve kalkansız T tipi ısılçift ve ile bir adet kalkanlı ve kalkansız Pt-100 sıcaklık sensöründen oluşmaktadır. Bu çalışmada hem duvarların radyasyon etkisine katkısı, hem de sıcaklık sensörlerinin radyasyon etkisini nasıl algıladıkları görülecek ve bu etkiden kaynaklanan belirsizlik değeri ölçüm sonuçları temel alınarak hesaplanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık kontrollü hacimler, radyasyon etkisi, kalibrasyon, belirsizlik

ABSTRACT

The scopes of the most of the accredited calibration laboratories involve the service related to the calibration of temperature-controlled volumes. The calibration of temperature-controlled volumes are carried out according to the TS EN 60068-3-5, TS EN 60068-3-11 and DKD-R5-7 standards which also EURAMET Cg-20 ((Guidelines on the Calibration of Temperature and/or Humidity Controlled Enclosures) refers to and the calibration uncertainties are evaluated by following these documents.

One of the uncertainty parameters is due to the error arising from the radiation effect. Radiation effect is related to the wall structure of enclosure, the temperature difference between the air temperature and wall temperature and also emissivity of the sensors.

In this study, two different temperature-controlled volumes have been calibrated using two different sets of temperature sensors. The first volume has been characterized at 100 ° and 200 °C whereas the second one was calibrated at 50 °C and 100 °C. The temperature sensor sets contain two type T thermocouples and two Pt-100 thermometers, one being shielded whilst the other one not. This paper will illustrate how the enclosure walls contribute the radiation effect and also how and to what extent the thermometers sense the radiation effect. The uncertainty arising from the radiation effect will be assessed based on these measurement results.

Key Words: Temperature-controlled volumes, Radiation effect, Calibration, Uncertainty.

1. GİRİŞ

Akredite olan birçok sıcaklık laboratuvarı kapsamlarında, Sıcaklık Kontrollü Hacimlerin Kalibrasyonu başlığı yer almaktadır. Aslında bu kapsam ölçümü için, Euramet rehber dokümanın [1] olması, bu rehber dokümanın atıfta bulunduğu standartların (TS EN 60068-3-5 [2], TS EN 60068-3-11 [3] ve DKD-R5-7 [4]) açık bir şekilde ölçüm metodunu ve belirsizlik hesap yöntemini açıklaması laboratuvarın işlerini kolaylaştırmaktadır.

Rehber dokümanda, bir kontrollü sıcaklık hacmin kalibrasyonu için, belirsizlik bütçesinde değerlendirilmek üzere asgari olarak aşağıda verilen parametrelerin saptanması gerekliliği belirtilmiştir:

- ✓ Hava sıcaklığı/nemin belirtilen kalibrasyon hacminde uzaysal dağılımı
- ✓ Hava sıcaklığı/nemin örnek zaman periyodu süresince zamansal kararlılığı
- ✓ Kalibrasyonda kullanılan çalışma standardı(referans) ile ilişkili belirsizlikler
- ✓ Sıcaklık sensörünün emisivite değeri farklılığından, sensör boyutundan kaynaklanan ve kabindeki hava ile kabinin duvarları arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan radyasyon etkisi (belirli sıcaklıklarda bu en büyük belirsizlik parametresi olabilmektedir.)
- ✓ Kabin içindeki hava, ölçüm probları ve yük arasındaki zamana bağlı sıcaklık farkları,
- ✓ Havadaki ya da kabindeki tamponun (sıvı, blok) içine yerleştirilmiş probların sıcaklık değişikliklerine duyarlılığı
- ✓ Kabin içindeki yüklemenin hava sıcaklığının ve neminin uzaysal ve zamansal dağılımına etkisi
- ✓ Ortam koşullarının etkisi
- ✓ Göstergelerin çözünürlüğü

Kalibrasyon laboratuvarlarının ölçüm prosedürleri ve/veya talimatları, bu parametrelerin belirsizliğe nasıl katkı yaptığını tanımlayarak, belirsizlik hesaplamalarını içermektedir.

Bu yayında, radyasyon etkisi olarak ele alınacak belirsizlik bileşeni irdelenmiştir. Sıcaklık kontrollü hacimler, oda sıcaklığının üzerindeki bölgelerde kullanıldığı zaman, genellikle de oda sıcaklığı üzerinde kullanılmaktadırlar; duvar sıcaklığı hava sıcaklığında daha düşük olmaktadır. Radyasyon kayıpları nedeniyle hava sıcaklığı, kullanışlı hacimde kullanılan bir termometreden veya test edilen nesneden daha yüksektir. Ayrıca sıcaklık kontrollü hacimdeki termometrenin sıcaklığı ve test edilen nesnenin sıcaklığı önemli ölçüde farklı olabilir. Eğer nesnenin emisivitesi veya ışıma miktarı (ε), termometreninkinden farklı ise, büyük farklar dikkate alınmalıdır.

Belirlenecek hava sıcaklığı ile bir termometrenin sıcaklığı arasındaki fark, termometre yüzeyinin yayılmasına, boyutuna ve sensörün konumuna, sensör üzerine akan havanın hızına ve duvar sıcaklığına bağlıdır.

Sıcaklık ortamı olarak kullanılan kontrollü sıcaklık hacimlerinde radyasyon etkisi, hacmin orta noktasında bulunan termometrenin yanına düşük emisivite değerine sahip bir termometre veya termometre üzerine radyasyon kalkanı olan başka bir termometre konarak belirlenebilir. Belirlenen bu etki sertifikada mutlaka belirtilmelidir. DKD-R5-7 standardına göre radyasyon etkisi aşağıdaki dört işlemden biriyle tahmin edilmektedir:

1. Radyasyon etkisinin belirlenmesi, kontrollü sıcaklık hacimlerde çalışma alanının orta noktasındaki sıcaklığın, emisivite değeri yüksek olan bir termometre (ε> 0,6) ve emisivite değeri düşük olan bir termometre (ε<0,15) kullanılarak ölçülmesi ile gerçekleştirilebilir.

Cilalanmış nikel yüzeyli (düşük emisivite) bir termometrenin yanı sıra teflon yüzeyli (yüksek emisivite) bir termometrenin kullanılması önerilmiştir. Yani termometre çiftlerinin önemli ölçüde farklı emisivite kaplamaları (altın veya karartılmış yüzeyler) ile oluşturulmaları ve kullanılmaları gereklidir.

Her iki termometre yüzeyinin emisivite değeri yüksek doğrulukta bilinmelidir. Özellikle düşük emisivite değerine sahip termometre yüzeylerinin oksidasyonu veya pürüzlülüğünden kaçınılmalıdır. Düşük emisivite değerine sahip termometre ile alınan sıcaklık ölçümleri, yaklaşık hava sıcaklığını gösterir. İki termometre arasında tespit edilen fark, radyasyon etkisinin bir ölçüsüdür.

2. Hava sıcaklığı, bir radyasyon kalkanı kullanarak duvar etkisinden korunan bir termometre ile de ölçülebilir.

Termometre üzerine, hava teması da sağlanacak şekilde, bir radyasyon kalkanı tasarımı ve dizaynı yapılarak, ölçümler alınabilinir. Radyasyon kalkanı monte edildiğinde, termometre yaklaşık olarak hava sıcaklığını ölçer ve radyasyon kalkanı kaldırıldıktan yada kalkan olmayan diğer bir termometre ile ölçülen sıcaklık, “radyasyon sıcaklığı”, yani radyasyonun etkisi altındaki sıcaklık olarak ölçülür. İki termometre arasında tespit edilen fark, radyasyon etkisinin bir ölçüsüdür.

3. Duvar sıcaklığının ölçümü ve düşük emisivite değerine sahip bir termometre (BKNZ. 1.) veya radyasyon kalkanı olan bir termometre (BKNZ. 2.) kullanılarak, yaklaşık olarak hava sıcaklığı ölçümü ve maksimum radyasyon etkisinin tahmin edilmesini sağlar.

4. 0 ° C ile 50 ° C arasındaki sıcaklıklarda, radyasyon etkisinin metrolojik olarak belirlenmesi gerekli değildir ve ölçüm belirsizliğine maksimum 0,3 K katkı sağlayacağı varsayılabilir.

Radyasyon kuralına göre, radyasyon etkisi yüksek sıcaklıklarda orantılı olarak artar. Oda sıcaklığının altında bu etki terstir fakat etkisi oldukça küçük ve çoğu zaman ihmal edilebilir düzeydedir. Sıcaklık kontrollü hacimin modeline bağlı olarak, 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda birkaç kelvin farklılıklar mümkündür.

Bu çalışmada, farklı iki sıcaklık kabininde, iki farklı sıcaklık sensörü seti kullanılarak, birinci tip sıcaklık kaynağında 100 °C ve 200 °C ölçümleri, ikinci tip sıcaklık kaynağında ise 50°C ve 100 °C ölçümleri alınmıştır. İki sıcaklık sensörü seti, bir adet kalkansız T tipi ısılçift ve bir adet kalkanlı yeni bir T tipi ısılçift ile bir adet kalkansız Pt-100 sıcaklık sensörü ve kalkanlı Pt-100 sıcaklık sensöründen oluşmaktadır. Her iki kontrollü sıcaklık kaynağından belirlenen sıcaklıklarda her iki sıcaklık sensörleri ile ölçümler alınmış ve ölçüm sonuçları ve belirsizlik hesaplamaları ölçümler başlığında verilmiştir.

2. Ölçümler

2.1 Ölçümde Kullanılan Cihazlar

Ölçümler sırasında kullanılan cihaz bilgileri aşağıdaki Tablo1 de verilmiştir. Ölçüler iki adet kontrollü sıcaklık kaynağında (etüv, iklimlendirme kabini) gerçekleştirilmiştir. Referans cihaz olarak ise çoklu okuma sistemi olarak adlandırılan ve on adet T tipi ısılçift (bir adet radyasyon etkisi için dizayn edilen) ve iki adet direnç termometresi (bir adet radyasyon etkisi için dizayn edilen) bağlı olan bağlı olan sıcaklık okuma cihazdır. Çoklu okuma sistemi ve bağlı olan termometreler öncelikle ölçüm noktalarında sıvı banyolarda kalibre edilmiştir. Her bir termometrenin düzeltme değerleri belirlenmiştir ve ölçümler sırasında düzeltme değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Kalibrasyonu yapılan kontrollü sıcaklık hacim cihaz bilgileri

Cihaz Adı	Üretici Firma	Seri No	Ölçüm Noktaları	Boyut (yaklaşık)
Etüv	Carbolite	20-603452	150 °C	46X65x41
İklimlendirme Kabini	Weiss	59226017690010	-20 °C ve 100 °C	100x100x100
Sıcaklık Okuma sistemi	Fluke 1586A	38190021	-80 °C ile 200 °C	---

2.2. Etüv ve İklimlendirme Kabinin Sıcaklık Dağılım Ölçümleri

Ölçümler için termometreler, TS EN 60068-3-5 standardında uygun olarak, kontrollü sıcaklık hacimlerine yerleştirilmiştir. Orta noktaya yerleştirilen termometrenin yakınına radyasyon etkisi için kullanılacak ısılçift (kalkanlı) ve PT-100 (kalkanlı) termometreleri yerleştirilmiştir. Ayrıca orta merkezde bulunan kalkanlı PT-100 termometresinin farkını görmek için ise yine normal bir PT-100 yerleştirilmiştir. Yani ölçümler toplam on iki adet termometre ile gerçekleştirilmiştir.

Her iki kabin için alınan ölçümlerdeki datalar kullanılarak, TS EN 60068-3-11 standardına uygun olarak belirsizlik hesaplamaları yapılmıştır. TS EN 60068-3-11 standardında bulunan örnek belirsizlik tablosunda yer almayan radyasyon etkisi belirsizlik bileşeni, Cg-20 rehber dokümanında yönlendirdiği DKD R5-7 standardına göre değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca, ölçümler kontrollü sıcaklık kaynakları içinde yükleme yapılmadan, boş durumdayken yapılmıştır. Bu sebeple yükleme etkisinden kaynaklanan belirsizlik göz önüne alınmamıştır.

Tablo 2'de, her bir sıcaklık kaynağında alınan her bir sıcaklık noktasında ısılçift ve direnç termometreleri için kalkanlı ve kalkansız termometre olarak sıcaklık farkları verilmiştir. Bu değerler radyasyon etkiden kaynaklı olduğu düşünülerek, belirsizlik hesaplaması için bu değerler kullanılmıştır.

Tablo 2. Radyasyon etkisi için kullanılan termometre farkları

Sıcaklık Kaynağı	**Ölçüm Sıcaklık Değerleri/°C**	**Isılçift Sıcaklık değerleri/°C**			**Direnç Termometre sıcaklık değerleri/°C**		
		Kalkansız	**Kalkanlı**	**Fark**	**Kalkansız**	**Kalkanlı**	**Fark**
İklimlendirme Kabini	50.00	49.60	49.90	**-0.30**	49.81	49.79	**0.02**
	100.00	98.74	98.50	**0.24**	98.76	98.81	**-0.05**
Etüv	100.00	101.11	101.27	**-0.16**	102.30	102.17	**0.13**
	200.00	199.71	199.86	**-0.15**	200.63	200.41	**0.21**

Her iki sıcaklık kaynağı için ortak olarak belirlenen 100 °C ölçüm noktası için belirsizlik hesabı Tablo 3'te verilmiştir. Radyasyon etkisi, kalkanlı T tipi ısılçift ve kalkansız ısılçift farkı alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. 100 °C de etüv ve iklimlendirme kabini için belirsizlik hesabı

Sıcaklık kaynakları		**Etüv**		**İklimlendirme Kabini**	
	Belirsizlik kaynağı	**Standart Belirsizlik**	**Belirsizlik katkısı**	**Standart Belirsizlik**	**Belirsizlik katkısı**
		$u(x_i)$	**$u_i(y)$**	**$u(x_i)$**	**$u_i(y)$**
Referans cihaz	Referans termometre belirsizliği	0.065	0.004225	0.065	0.004225
	Tekrarlanabilirlik	0.01	0.0001	0.01	0.0001
	Histerisiz	0.0289	0.0008352	0.0289	0.0008352
	Sıcaklık etkisi	0.086	0.007396	0.086	0.007396
	Ref termometre Drift	0.0577	0.0033293	0.0577	0.0033293
	Doğrusallık	0.0115	0.0001323	0.0115	0.0001323
	Çözünürlük	0.00288	8.294E-06	0.00288	8.294E-06
Sıcaklık Kaynağı	Sıcaklık Dağılımı	1.1595667	1.3446	0.41646	0.173438
	Sıcaklık Dalgalanması	1.1558427	1.336	0.07273	0.00529
	Ortalamanın sapması	0.0694602	0.00483	0.02252	0.0005074
	Radyasyon etkisinden kaynaklanan belirsizlik	**0.09**	0.0081	**0.14**	0.0196
Toplam Belirsizlik / °C			**1.65**		**0.46**
Genişletilmiş Belirsizlik (k=2) / °C			**3.30**		**0.92**

Tablo 2'de hesaplanan her bir fark değeri (radyasyon etkisinden kaynaklanan) ve standardın ölçüm yapmadan kabul değerleri kullanılması sonucu için belirsizlik hesaplamaları yapılarak sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Radyasyon etkisi sonlarına göre genişletilmiş belirsizlik değerleri

Sıcaklık Kaynağı	**Ölçüm sıcaklık değerleri /°C**	**Radyasyon etkisi[1]**	**Radyasyon etkisi[2]**	**Radyasyon etkisi[3]**
		Genişletilmiş Belirsizlik (k=2) /°C		
İklimlendirme Kabini	50.00	0.53	0.44	0.40
	100.00	1.46	**0.93**	0.89
Etüv	100.00	3.48	**3.29**	3.29
	200.00	3.84	3.67	3.67

[1]Radyasyon etkisi değerleri olarak ölçümler yapılmadan, rehber dokümanda verilen 50 °C'de 0,3 °C 100 °C ve 200 °C'de ise 1,0 °C alınmıştır.
[2] Radyasyon etkisi, T tipi ısılçift sensörleri, kalkanlı ve kalkansız farkı olarak alınmıştır.
[3]Radyasyon etkisi, direnç termometreleri, kalkanlı ve kalkansız farkı olarak alınmıştır.

Tablo 2 ve Tablo 4'te görüleceği gibi radyasyon etkisi kabin sensörlerin yapısına, emisivite değerine, kabin duvarına bağlı olarak değişmiştir. İklimlendirme kabinin 100 °C ölçümlerine bakıldığında, rehber dokümanın belirlediği kabul değere göre hesaplanan belirsizlik değeri 1,46 °C olarak hesaplanmıştır. Kalkanlı ve kalkansız yapılan termometre farkları ile bulunan değerle kullanıldığında belirsizlik değerleri, yaklaşık 0,92 °C (ısılçift ile alınan ölçümler) ve 0,89 °C (direnç termometresi ile alınan ölçümler)'ye kadar düşmüştür. Yüksek sıcaklık etüv ölçümlerinde ise bu farlılıklar sıcaklık dalgalanması ve dağılımdan kaynaklanan belirsizlik parametrelerinde büyük olmasından dolayı farklı çıksa bile büyük bir etki görülmemiştir.

SONUÇ

Bu yayında farklı iki sıcaklık kabininde, iki farklı sıcaklık sensörü seti kullanılarak, birinci tip sıcaklık kaynağında 100 °C ve 200 °C ölçümleri, ikinci tip sıcaklık kaynağında ise 50°C ve 100 °C ölçümleri alınmıştır. İki sıcaklık sensörü seti, bir adet kalkansız T tipi ısılçift ve bir adet kalkanlı yeni bir T tipi ısılçift ile bir adet kalkansız Pt-100 sıcaklık sensörü ve kalkanlı Pt-100 sıcaklık sensöründen ölçümler alınmış ve sıcaklık farkları Tablo 2'de verilmiştir.

100 °C'de her iki sıcaklık kabini için belirsizlik hesabı Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 4'te ise her iki kabinde her iki set sıcaklık sensör farkının değişiminden dolayı belirsizlik hesaplamaları sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında rehber dokümanında ölçüm alınmadan kabul değerleri ile hesaplanan belirsizlik değerlerinin yüksek çıktığı, radyasyon etkisi belirlenerek alınan ölçümler sonucunda hesaplanan belirsizlik değerlerinin daha düşük çıktığı görülmüştür.

Yüksek sıcaklık etüv ölçümlerinde ise bu farlılıklar sıcaklık dalgalanması ve dağılımdan kaynaklanan belirsizlik parametrelerinde büyük olmasından dolayı farklı çıksa bile genişletilmiş belirsizlik hesaplamalarında büyük bir etki görülmemiştir.

KAYNAKLAR

[1] Calibration of temperature controlled enclousures , EURAMET cg-20, Version 5.0 (09/2017)
[2] TS EN 60068-3-5 Çevre şartlarına dayanıklılık deneyleri -Bölüm 3-5: Yardımcı doküman ve kılavuz -Sıcaklık deney odalarının performansının doğrulanması, 2018
[3] TS EN 60068-3-11 Çevre deneyi- Bölüm 3-11- Destek dokümantasyonu ve kılavuz- iklim deney odalarındaki şartlara ait ölçme belirsizliğinin hesaplanması, 2014
[4] DKD R5-7 Calibration of Climatic chambers, 02-2019

ÖZGEÇMİŞ

Ali UYTUN

1997 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1998 yılında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Araştırmacı olarak göreve başlamıştır ve halen bu görevini sürdürmektedir. 2009 yılından beri sıcaklık ve nem ölçümleri konusunda teknik denetçisi ve baş denetçi olarak TÜRKAK denetimlerinde görev almaktadır. Birçok yurt dışı ve yurt içi araştırma projelerinde yürütücü ve/veya proje çalışanı olarak görev almıştır. Sıcaklık sabit noktaları, suyun üçlü noktası, standart platin direnç termometresi, direnç termometreleri, ısılçift, cam termometreleri, nem ölçümleri ve benzeri cihazların kalibrasyonları, eğitimleri, danışmalık hizmetleri çalışma konularından bazılarıdır.

Murat KALEMCİ

1972 yılı İzmir doğumludur. Bornova Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden 1996 yılında mezun olmuştur. 1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü'nden Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2011 yılında ise Yeditepe Üniversitesi'nden Doktor ünvanı almıştır. 1998 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Sıcaklık Laboratuvarında çalışmaktadır. 2011 yılından bu yana Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olup, TÜBİTAK UME'nin EURAMET TC-T ve BIPM CCT nezdinde temsilciğini yapmaktadır. Ayrıca TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde denetçi olarak görev yapmaktadır.

Mücahit KORKMAZ

1994 yılı Manisa doğumludur. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Bölümünden 2014 yılında mezun olmuştur. 2014 yılında Vestel Beyaz Eşya A.Ş. Test ve Ar-Ge Laboratuvarı'nda test teknikeri olarak göreve başlamıştır. 2017 yılı Ocak ayından itibaren UME Sıcaklık Laboratuvarında teknisyen olarak görev yapmaktadır.

Elif AVİNCA

2017 yılında İstanbul Üniversitesi Fizik bölümünü bitirmiş ve aynı yıl Pedagojik Eğitimini de tamamlamıştır. 2013 yılında Sakıp Sabancı Üniversitesi'nde ince film kaplamaları ile ilgili Nanoteknoloji Laboratuvarı'nda staj yapmıştır. Şubat 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fizik bölümünde Yüksek Lisans çalışmalarına başlamıştır. Yüksek Lisans tez çalışmalarını TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarı'nda sürdürmektedir.

Pervin TÜZÜN

Haziran 2017'de Pamukkale Üniversitesi Hastaneleri Biyomedikal Cihaz Teknolojisi üzerine staj yapmıştır. Şubat 2018'de Gebze Teknik Üniversitesi Nanoteknoloji Enstitüsünde ince film kaplamaları ve analiz yöntemleri üzerine staj yapmıştır. Nisan 2018'de bir EU projesi olan UNINANO projesi adı altında İtalya – Povo FBK kurumunda 10 günlük nano malzeme üretim ve karakterizasyon çalışmaları eğitimine katılım göstermiştir. 2019'da TÜBİTAK UME de dört aylık uzun dönem stajını Sıcaklık Grubu Laboratuvarı'nda icra etmiştir. Haziran 2019'da Pamukkale Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği bölümünü bitirmiştir.

SI REVİZYONU; AMPERİN YENİDEN TANIMLANMASI VOLT ve OHM BİRİMLERİNE ETKİSİ

Mehedin ARİFOVİÇ
Saliha TURHAN

ÖZET

Uluslararası Birimler Sistemi'ndeki (SI) değişiklik kapsamında tanımı değişen 4 temel birimden biri de elektriksel akım birimi olan amper'dir. Amper yedi temel SI biriminden biri olmasına rağmen, tanımına göre gerçekleştirilmesindeki güçlük ve düşük doğruluk sebebiyle, pratikte, yüksek doğrulukta kuantum standartları ile gerçekleştirilen gerilim birimi "Volt" ve direnç birimi "Ohm" üzerinden elde edilmiştir. Amper, yeni tanımı ile evrensel bir sabit olan elektrik yüküne (e) bağlanmıştır. Amperin yeniden tanımlanması, pratikte amperin gerçekleştirilmesinde bir değişiklik getirmemek ile birlikte, yeni bir paradigma açmış ve özellikle yeni tanımına göre gerçekleştirmesi noktasında bilim insanlarına önemli görevler yüklemiştir. Bu bildiride, amper birimin kısa tarihçesi, yeni tanımı ve ölçüm bilimine etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amper, Uluslararası Birimler Sistemi, metroloji, elektriksel ölçümler, kuantum standartları, evrensel sabitler

ABSTRACT

The last change of the international system of units (SI) included 4 base units, including the ampere, unit for the electrical current. The ampere, whose practical implementation according to the existing definition was complicated and performable with low accuracy, in practice was realized with high accuracy through quantum standards for voltage unit Volt and resistance unit Ohm. With new definition ampere is related to the elementary charge (e), one of the fundamental constants of nature. Although it does not bring a significant change in the current measurement methodology, the redefinition of ampere has opened up a new paradigm and has imposed important tasks on scientists, particularly in the practical realization of the new definition. In this paper, the brief history of the ampere, its new definition and the effect of the last change on the metrology are given.

Key Words: Ampere, international system of units, metrology, electrical measurements, quantum standards, universal constants

1. GİRİŞ

Bilim, teknoloji, endüstri ve uluslararası ticaret alanında farklı ölçüm birim sistemlerinin kullanılmasının yarattığı karmaşayı önlemek için bir uluslararası birimler sisteminin oluşturulması, 1960 yılında yapılan 11. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM) görüşülmüş ve "SI" olarak ifade edilen "Uluslararası Birimler Sistemi (Système International d'Unités-SI)" kabul edilmiştir. SI sistemi; 7 temel birim ile, bu temel birim üzerinden türetilmiş birimlerden oluşmaktadır. SI, 1960 yılında CGPM tarafından resmi olarak kabul edildiğinden bu yana bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak birkaç kez revize edilmiştir.

Yapılan revizyonların en önemli sebebi, ölçüm birimlerinin yapay nesneler yerine, doğal olaylara bağlı evrensel sabitlere göre tanımlanma eğilimidir. Bu bağlamda en önemli adım, 1960 yılında, zaman birimi saniye'nin, gezegenimizin kendi etrafına değişken dönüş frekansı yerine, sezyum atomunun sabit radyasyon frekansına bağlanarak tanımlanması ile atılmıştır. 1983 yılında ise, uzunluk birimi metre, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (BIPM) tarafından saklanan uluslararası uzunluk prototipi yerine ışık hızı sabiti (c) üzerinden tanımlanmıştır.

Tüm SI birimlerinin, zamandan ve konumdan bağımsız olarak sabit olmaları nedeniyle evrensel sabitler ile tanımlanması yaklaşımı, bu evrensel sabitlerin değerlerinin yüksek doğrulukta belirlenmesini gerektirmiştir. Bu alanda uzun yıllar yapılan çalışmalar ile elde edilen başarılı sonuçlar, SI sisteminde köklü bir değişim için şartların olgunlaştığını göstermiştir.

Nitekim Kasım 2014'te gerçekleşen 25. Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM), 7 temel SI birimlerinden olan kilogram, amper, kelvin ve mol birimlerinin de sırasıyla Planck, elektrik (elementer) yükü, Boltzmann ve Avogadro evrensel sabitlerine bağlı olarak yeniden tanımlanması tasarısı kabul edilmiştir. Bu karar, CGPM kararlarında talep edilen şartları yerine getirmek ve deneysel doğruluklara ulaşmak için metrolojinin farklı alanlarında dünya çapında eşzamanlı işbirlikleri gerektirmiştir.

13-16 Kasım 2018'de gerçekleşen 26. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM), revize SI tasarısı onaylanmıştır. Yeni tanımlar, 20 Mayıs 1875'de imzalanan Metre Konvansiyonu'nun 144. yıldönümü olan 20 Mayıs 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

SI revizyonunda, günlük yaşamda algılanabilir bir etkinin olmamasına ve birimlerin önceki tanımlarıyla yapılan ölçümlerin ölçüm belirsizlikleri içinde geçerli kalmasına dikkat edilmiştir. Ulusal metroloji enstitüleri dışında az sayıda kullanıcı bu değişiklikleri fark ederek ve etkilenmektedir.

Temel olarak SI'daki revizyon, eski temel birim tanımlarının kaldırılması ve yedi tanımlayıcı evrensel sabitin sayısal değerlerinin kabulüdür. SI sisteminde tanımlanan yedi evrensel sabit ve karşılık gelen değerlerin tanımladıkları yedi ölçüm birimi aşağıda verilmiştir:

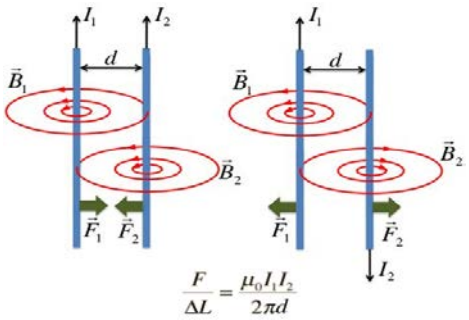
Tanımlayıcı Sabit	Sembol	Sayısal Değeri	Birimi
Cs'nin aşırı ince geçiş frekansı	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
Vakumda ışık hızı	c	299 792 458	m s^{-1}
Planck sabiti	h	6,626 070 15 × 10^{-34}	J s
Elektrik (Elementer) yük	e	1,602 176 634 × 10^{-19}	C
Boltzmann sabiti	k	1,380 649 × 10^{-23}	J K^{-1}
Avogadro sabiti	N_A	6,022 140 76 × 10^{23}	mol^{-1}
Işıksal etki	K_{cd}	683	lm W^{-1}

Bu yedi evrensel sabit, hem temel birimler hem de türetilmiş birimler olmak üzere SI birimlerine doğrudan SI izlenebilirliğini sağlamak için kullanılabilir. Buna bağlı olarak artık temel ve türetilmiş birimler arasında temel bir ayırım söz konusu değildir. Bununla birlikte tarihsel devamlılık ve pedagojik amaçlar için temel birim ve türetilmiş birim kavramlarının korunmasına karar verilmiştir.

2. AMPER'İN TARİHÇESİ

Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Oersted 1820 yılında elektrik akımının manyetik etkisini keşfederek, o zamana kadar iki farklı alan olarak görülen elektrik ve manyetizmanın, aslında aynı olayın iki farklı yansıması olduğunu göstermiştir. Bu keşif üzerine Fransız bilim insanı André-Marie Ampère, elektrik akımının manyetik özeliklerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir (Şekil 1). Akımın geçtiği iki paralel tel arasında akımların yönüne bağlı olarak birbirini çeken veya iten, aralarındaki mesafe

kısalınca veya uzunlukları artınca artan bir kuvveti deneysel olarak tespit etmiş ve klasik amper kanunu olarak bilinen ilişkiyi formülize etmiştir. Bilime katkılarından dolayı, 1791 yılında akım birimine onun adı verilmiştir. Amper kanunu, 1960 yılından 20 Mayıs 2019 yılına kadar amper tanımının temelini oluşturmuştur. Elektriksel ölçümler ile ilgili bir diğer önemli buluş Alman fizikçi Ohm tarafından 1827 yılında gerçekleştirilmiştir. Ohm kanunu olarak bilinen kanun, çok basit bir şekilde gerilim, akım ve elektriksel direnci ilişkilendirir ve günümüze kadar elektriksel ölçümlerinde en çok kullanılan formül olmuştur.



Şekil 1. André-Marie Ampère ve klasik amper kanunu

19. yüzyıldaki elektrik teknolojisinin gelişimi ile birlikte, özelikle telgrafın icadı ve ilgili saha testleri doğru ve güvenilir elektriksel ölçümlere ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla farklı ülkelerde çeşitli birimler ortaya çıkmıştır. Birimlerin birliğini sağlamak için 1861 yılında İngiliz Bilim Geliştirme Derneği'nin önerdiği 3 elektriksel birim, 1893 yılında Uluslararası Elektrik Kongresi'nde benimsenmiş ve uluslararası olarak adlandırılmışlar. Bu birimler, elektrik akımı için "Uluslararası Amper", elektrik gerilimi için "Uluslararası Volt" ve elektrik direnci için "Uluslararası Ohm"dur. İlk yapılan tanımlarına göre, "Uluslararası Amper" gümüş voltametre olarak adlandırılan bir elektrokimyasal cihaz ile, "Uluslararası Volt" kimyasal yapıdaki Weston hücrenin ürettiği gerilimi ile ve "Uluslararası Ohm" ise belirli boyutlara sahip cam boru içinde yerleştirilen cıvanın direnci ile tanımlanmışlardır.

Gümüş voltametre, gümüş nitrat çözeltisinde iki gümüş plakadan oluşur (Şekil 2a). Voltametreye uygulanan akımın geçmesi sonucunda, anotta çözülen gümüş katotta birikir. "Uluslararası Amper", gümüş voltametre üzerinden geçen, gümüş nitrat çözeltisinden saniyede tam olarak 0,001118 gram gümüş biriktirecek akım olarak tanımlanmıştır. Ölçümün başında kütlesi ölçülen katot, ölçüm bittiğinde tekrar ölçülür ve akımın uygulandığı süre göz önünde bulundurularak akım hesaplanır. Gümüş voltametre ile yapılan akım ölçümlerinin doğruluğu, çözeltinin içeriği, elektrotların gümüş saflığı ve kullanım durumu, ortam şartları gibi parametrelere bağlı olup, farklı voltametreler arasında ciddi uyumsuzluklara sebep oluyordu. Diğer taraftan, gerilim ölçümleri için kullanılan Weston hücreleri ve direnç ölçümleri için referans rezistörler çok daha kararlı ve uyumlu sonuçlar veriyordu. Bu sebeple ölçüm bilimciler kullanmadan önce gümüş voltametrelerini, Ohm kanunu ile Weston hücre ve standart dirençler kullanılarak kalibre ediyorlardı. Bu durum "Uluslararası Amper"in tanımının sorgulanmasına ve yeni arayışlarına yol açmıştır.

CGPM, 1921 yılında uzunluk, kütle ve zaman birimlerinden oluşan uluslararası MKS sistemine mevcut tanımı ile amperi dördüncü temel birim olarak dâhil edilmiş ve MKSA sistemini kabul etmiştir. Ancak, mevcut amper tanımı yeterince doğru olmadığı ve değiştirilmesi gerektiği konusunda bilim dünyasında fikir birliği sağlanmıştır. Yeni arayışların ilk somut adımı 1933 yılında CGPM tarafından atılarak, amperin tanımı gümüş voltametre yerine diğer temel birimlerine dayandırılarak yapılmasını önerilmiştir. Bu tavsiye 1935 yılında Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Kurulu (CIPM) tarafından onaylanmıştır. Ancak çalışmalara İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra devam edilebilmiş ve 1948 yılında, André-Marie Ampère'nin orijinal deney çalışmalarına dayandırılan amperin yeni tanımı kabul edilmiştir.

1948 yılında kabul edilen amper tanımı şu şekildedir:

Amper, sonsuz uzunlukta ve ihmal edilebilir dairesel kesitli iki doğrusal iletkenden, vakum altında birbirlerine göre paralel ve 1 m mesafede iken, bu iletkenler arasında metre başına $2x10^{-7}$ MKS kuvvet birimi (Newton) oluşturan ve zamanla değişmez sabit akımdır.

a) Gümüş Voltametre

b) Amper Balans

Şekil 2. Amper tanımı için kullanılan standartlar

Bu tanım ile amper, kilogram, saniye ve metre temel birimlerine bağlanmıştır. Tanımdan da görüleceği gibi, bu tanımın pratikte gerçekleştirilmesini imkânsız kılan bazı varsayımlar mevcuttur. Bununla birlikte, bu prensiple çalışan amper balansı (Şekil 2b) olarak adlandırılan düzenekler, 20 yüzyılın başında kullanılmaya başlanmıştır. Amper balansı düzeneğinde akım, geçtiği iki bobin arasında oluşan kuvvet, terazinin diğer koluna yerleştirilen bir kütlenin çekim kuvvetiyle dengelenerek hesaplanır. Amper balansının en önemli kusuru, akım hesabına katılması gereken bobinlerin geometrisi ve sabitliği olup, bu sebeple akım ancak 10^{-5} mertebesinde ölçülebiliniyordu. Diğer taraftan, çok daha basit yöntem olan Ohm kanunu ile gerilim ve direnç üzerinden ölçülen akım aynı doğruluğu sağlıyordu.

1980'lere gelindiğinde ise, Volt ve Ohm kuantum fiziğin şemsiyesi altında girmiş ve Volt Josephson etkisi [1] üzerinden, Ohm ise Kuantum-Hall etkisi üzerinden sırasıyla 10^{-9} ve 10^{-8} gibi çok düşük belirsizlikler ile gerçekleştirilebilmeye başlanmıştır. Ohm kanunu kullanarak bu iki birim üzerinden amper de artık 10^{-7} belirsizlik ile ölçülebiliniyordu. Bu durum, SI sisteminde, amperin temel birim, Volt ve Ohm'un türetilmiş birim olarak tanımlanmalarına rağmen, pratik uygulanmaları arasında tezatlık oluşturmuş ve amper'in SI tanımının artık geçerliliğinin kalmadığını göstermiştir.

4. AMPER'IN YENI TANIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

CGPM tarafından kabul edilen ve 20 Mayıs 2019 tarihinde yürürlüğe giren revize SI'da amperin yeni tanımı şu şekilde yapılmıştır:

Amper, "A" sembolü ile gösterilen elektrik akımını ifade eden bir SI birimidir. Amper, birim elektrik yükünün (e) sabit sayısal değeri 1,602 176 634 × 10^{-19} C alınarak tanımlanır. Burada C birimi A·s'ye eşit olup, saniye (s) de $\Delta\nu_{Cs}$ olarak tanımlanır.

Basit olarak amper, saniyede geçen 6,241509 × 10^{18} elektrik yükü ifade eder. Böylece, amper, elektron yükü (e) ve saniyeyi tanımlayan $\Delta\nu_{Cs}$ evrensel sabitlerine bağlanmıştır. Amperin yeni tanımındaki netliğe rağmen, yeni tanım amperi gerçekleştirmeyi kolaylaştırmamaktadır. Zira, çok yüksek sayıdaki elektronların son derece hassas bir şekilde sayılmasını gerektirmektedir.

SI Brochure Appendix 2: "*Mise en pratique for the definition of the ampere and other electric units in the SI"* [3] dokümanında, yeni amper'in gerçekleştirilmesi için üç teknik önerilmektedir:

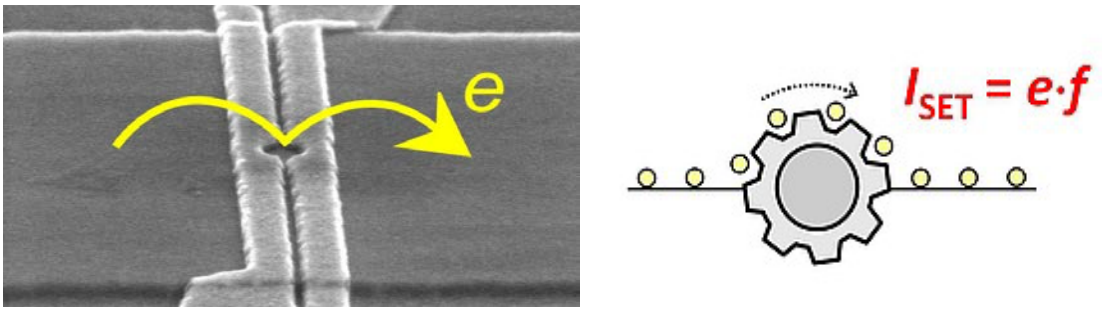
1. Ohm yasası ile; A = V / Ω birim ilişkisi, türetilmiş Volt (V) ve Ohm (Ω) SI birimlerinin sırasıyla Josephson ve Kuantum Hall etkilerine dayanan pratik gerçekleştirmeleri,
2. Tek Elektron Taşıma (SET) veya benzeri cihaz ile; A = C / s birim ilişkisi, SI amper tanımında verilen e değeri ve SI temel birimi saniye'nin (s) gerçekleştirilmesi,
3. $I = C \cdot \mathrm{d}U/\mathrm{d}t$ ilişkisi ile; A = F·V/s birim ilişkisi ve Volt (V) ve Farad (F) SI türetilmiş birimleri ile SI temel birimi saniye'nin (s) pratik gerçekleştirmeleri.

SET yöntemi üzerine çalışmalar, mevcut bazı teknik sınırlamalara rağmen, yoğun olarak devam etmekte olup, son yıllarda kapsamı iyileştirilmiş ve gelecekte iyileşmenin devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu sebeple bu teknik *Mise en pratique* olarak verilmiştir.

Bununla birlikte, birinci ve üçüncü teknik, TÜBİTAK UME dâhil, birçok metroloji enstitüsünde halen kullanılmaktadır.

4.1. Tek Elektron Taşıma (SET) Tekniği

SET tekniği, yeni amperin tanımına en uygun teknik ve doğal yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Bu teknik, elektron pompası olarak adlandırılan nano boyuttaki aygıtın üzerinden zaman birimde geçen elektronların sayılması prensibine dayanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Elektron pompa prensibi

SET prensibiyle çalışan aygıt, iki elektrotun elektrik durumu manipüle eder; Elektron önce kaynağından elektrotlar arasında bulunan adacığa alınır ve sonra drenaj kısmına transfer edilir. Tek elektronun transfer hızı elektrotların manipülasyonu için kullanılan ve her elektron transferi için sinyal sekansını üreten sinyal jeneratörün çalışma frekansına bağlıdır. Böylece, elektron pompasından geçen akım zaman içinde transfer edilen elektron sayısına eşit olacaktır. Bu mekanizma mükemmel işlemesine rağmen, en büyük problem zaman biriminde yeterli sayıda elektronu geçirmek olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, 100 MHz frekansı ile çalışan bir elektron pompasının ürettiği akım 1 pA olup, kullanılabilir bir akım standardı için oldukça düşük ve yetersiz bir değerdir. Birçok ölçüm bilimci, bu yöntemle 1 µA değerine ulaşılmasının pratik uygulama için yeterli olacağını öngörmektedir. Günümüzde elektron pompaları ile ulaşılan değer nA mertebesinde olup hedeften halen 1000 kat küçüktür. Bu anlamda, yeni amperin tanımı üzerinden, doğrudan elektron sayımı ile gerçekleştirilmesinde alınacak daha çok mesafe olduğu görülmektedir.

SET sistemlerinin 1 µA ulaşmasından sonra, ""kuantum metroloji üçgeni" olarak tabir edilen ve SET ile gerçekleştirilen Amper, Josephson etkisi ile gerçekleştirilen Volt ve Kuantum Hall etkisi ile gerçekleştirilen Ohm birimlerinin, her birinin diğer ikisi üzerinden denetlenebileceği bir sistem kurulması amaçlanmaktadır.

4.2. Ohm Yasası Tekniği

SI amper'in önceki tanımına göre elde edilmesi oldukça zor ve düşük doğrulukta olmasından, yeni tanımına göre ise SET tekniğin halen istenen düzeye ulaşmamasından dolayı, pratikte amper, halen en yüksek doğrulukla gerilim birimi Volt ve direnç birimi Ohm üzerinden elde edilmektedir.

Teorisi Dr. Brian Josephson tarafından oluşturulmuş olan "Josephson etkisi" [1] ve von Klitzing tarafından tanımlanmış olan "Kuantum-Hall etkisi" [2], günümüzde bir çok metroloji enstitüsünde sırasıyla SI Volt ve SI Ohm birimlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. TÜBİTAK UME'de Josephson Gerilim Standardı 1997 yılından beri ve Quantum Hall Direnç Standardı ise 1999 yılından bu yana SI Volt ve SI Ohm birimlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır [5].

Mevcut Volt ve Ohm birimleri, kuantum standartları olan Josephson Gerilim Standardı ve Kuantum-Hall Direnç Standardı üzerinden 10^{-8} seviyelerinde gerçekleştirilmektedir. SI amper, Kuantum-Hall sistemi kullanarak ölçülen direncin üzerinden geçen akımın oluşturduğu gerilimin Josephson Gerilim Standardı ile ölçülmesi suretiyle elde edilir. Bu teknik ile, SI amper, 1 µA – 100 A aralığında 10^{-7} belirsizlik ile gerçekleştirilebilmektedir.

4.3. Kapasitör Şarjı Tekniği

$I = C \cdot \mathrm{d}U/\mathrm{d}t$ ilişkisi, kapasitör şarjı tekniği, belirli zaman aralığında uygulanan test akımın kapasitör plakaların üzerinde oluşturduğu gerilimin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu teknik düşük akım ölçümleri (<1 µA) için uygun olup, elde edilen en iyi belirsizlik değeri 10^{-5} mertebesindedir.

TÜBİTAK UME tarafından üretilen Düşük DC Akım Kaynağı, 1 fA-100 pA aralığında SI akım ölçümlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir [4].

5. SI REVİZYONUNUN VOLT VE OHM BİRİMLERİNE ETKİSİ

Sı Volt'un gerçekleştirilmesinde kullanılan Josephson Gerilim Standardı, sezyum atomik saati ile 10^{-14} seviyesinde elde edilebilen frekansı DC gerilim ile ilişkilendiren bir sistemdir. Bu gerilim-frekans ilişkisi, $V_J = n\,(h/2e)f$ formülü ile ifade edilir. Burada h Planck sabiti, e elektrik yükü, f frekans, n ise bir tam sayıdır.

SI Ohm'un gerçekleştirilmesinde kullanılan Kuantum-Hall Direnç Standardının temeli ise, $R_{QHE} = (h/e^2)/n$ formülü ile ifade edilen Kuantum-Hall etkisine dayanmaktadır. Burada h Planck sabiti, e elektrik yükü, n ise bir tam sayıdır.

1 Ocak 1990'da CIPM tarafından, $2e/h$ oranı Josephson sabiti ($K_{J\text{-}90}$) olarak adlandırılarak değeri 483 597,9 GHz/V, h/e^2 oranı ise von Klitzing sabiti ($R_{K\text{-}90}$) olarak adlandırılarak değeri 25 812,807 Ω olarak sabit kabul edilmiştir (konvansiyonel sabit).

Revize SI sisteminde, h ve e sabitlerinin gerçek değerleri (true value) belirlenmiş ve $K_{J\text{-}90}$ ve $R_{K\text{-}90}$ sabitleri yürürlükten kaldırılmıştır. Buna bağlı olarak K_J ve $R_{K\text{-}}$ değerleri dolayısıyla SI Volt ve SI Ohm değerleri değişmiştir.

Josephson Sabiti ve von Klitzing Sabiti'nin yürürlükten kaldırılan konvansiyonel eski değerleri ve revize SI'da tanımlanan yeni değerleri aşağıda verilmiştir.

Josephson Sabiti ($2e/h$) (GHz/V)		**von Klitzing Sabiti (h/e^2) (Ω)**	
$K_{J\text{-}90}$	K_J	$R_{K\text{-}90}$	R_K
483 597,9	483 597,84 8 416 984	25 812,807	25 812,807 459 3045

Josephson Sabiti ve von Klitzing Sabitinin önceki değerlerine göre bağıl değişimleri (d) sırasıyla yaklaşık $1{,}0667\times10^{-7}$ ve $1{,}7793\times10^{-8}$ dir. Buna göre, Josephson sabitindeki söz konusu değişim gerilim ölçümlerinde yaklaşık $1{,}0667\times10^{-7}$ oranında bir ofset etkisi getirirken, von Klitzing Sabitindeki değişim ise direnç ölçümlerinde $1{,}7793\times10^{-8}$ oranında bir ofset etkisi getirmiştir. Bu durum, Josephson Gerilim Standardı ve Kuantum-Hall Direnç Standardı ile gerçekleştirilen ölçümlerde, değişikliğin yürürlüğe girdiği 20 Mayıs 2019 sonrası bir ofset düzeltmesini gerekli kılmıştır.

Josephson Sabiti ve von Klitzing Sabitindeki bağıl değişimler dikkate alındığında, gerilim ve ilgili büyüklükler için 0,107 µV/V, direnç ve ilgili büyüklükler için ise 0,018 µΩ/Ω civarında bir düzeltme söz konusudur. Bu etkiler birinci seviyedeki ölçümlerde etkili olup, diğer elektriksel ölçümlerin üzerinde kayda değer etkisi olmamaktadır.

CIPM Elektrik ve Manyetizma Danışma Kurulu (CCEM) tarafından revize SI'ın uygulanmasına dair hazırlanan rehberde [6], ulusal metroloji enstitüleri ve onların kullanıcıları için, revize SI sistemine geçişte gereksiz çabaları önlemek ve kritik ölçümler için izlenebilirliğin sürdürülmesini sağlayarak "Revize SI" sistemine sorunsuz bir geçişi sağlamak için asgari eylemler tanımlanmıştır.

Bu rehbere göre, genel olarak, mevcut k = 2 kapsam faktörü için genişletilmiş bağıl belirsizliğe (U) sahip herhangi bir ölçüm veya cihaz için aşağıdaki eylemler tanımlanmıştır;

Durum	Eylem
$2{,}5\,d \leq U$	Bir sonraki kalibrasyona (veya ölçüm) kadar herhangi bir işlem yapılması gerekmez. Önceki kalibrasyon verileri hala metrolojik olarak geçerlidir ve bu verilerin uygulama günü ile bir sonraki kalibrasyon tarihi arasında herhangi bir şekilde kullanılması önemsiz bir etkiye sahip olmalıdır (yeniden tanımlama güvenilirlik aralığının olasılığı %95'ten %87'ye değişmektedir). Bu durum, 2,5×10^{-7}'den daha büyük bağıl belirsizliğe sahip gerilim ve ilgili ölçüm büyüklükleri ile ilgili bir eylem gerekmediğini gösterir. Benzer şekilde, 5×10^{-8}'den daha büyük belirsizliğe sahip direnç ve ilgili büyüklükler için de herhangi bir eylem gerekmez. Bu kriter, elektriksel güç gibi bileşik büyüklükler için de kolayca genişletilebilir ve elektriksel cihazların çoğu için uygulanabilir.
$U < 2{,}5\,d$	İzlenebilirlik için bir sayısal düzeltme veya standardın bir sonraki kullanımından önce yeniden kalibre edilmesi gerekir. Bu kriter, tüm kuantum standartlarının yanı sıra, Zener gerilim standartları ve yüksek doğruluklu direnç ve kapasitans standartları gibi bazı birincil seviye ölçüm standartları için de geçerlidir. Ayrıca, bu ölçümleri kontrol eden veya ölçüm sonuçlarını istatistiksel olarak izlemek için kullanılan yazılımlar için de bu kriter uygulanmalıdır. Josephson Gerilim Standardı ve Kuantum Hall Direnç Standardı ölçümlerinde ve yazılımlarında kullanılan $2e/h$ ve h/e^2 sabit değerleri aşağıdaki gibi güncellenmelidir. $2e/h$ = 483 597,848 416 984 GHz/V h/e^2 = 25 812,807 459 3045 Ω

Görüldüğü gibi, gerilim için sayısal bir düzeltme veya yeniden kalibrasyon gerektiren durumlar, ancak 0,25 µV/V seviyesinden daha düşük belirsizliğe sahip, DC gerilim standartlarının Josephson Gerilim Standardı ile kalibrasyonu için söz konusu olup, diğer ölçümlerde herhangi bir eylem gerekmemektedir. Josephson Gerilim Standardı ile kalibre edilen bir standardın belirtilen tarihteki gerilim değeri ise, 20 Mayıs 2019 tarihi sonrasında aynı belirsizlik ile 0,1067x10^{-6} oranında daha büyük olduğu dikkate alınmalıdır.

Benzer şekilde direnç için sayısal bir düzeltme veya yeniden kalibrasyon gerektiren durumlar, ancak 0,05 µΩ/Ω seviyesinden daha düşük belirsizliğe sahip, DC direnç standartlarının Kuantum Hall Direnç Standardı ile kalibrasyonu için söz konusu olup, diğer ölçümlerde herhangi bir eylem gerekmemektedir. Sonuç olarak, direnç için 0,018 µΩ/Ω'lık bir değişim, yalnızca ulusal metroloji enstitülerinde muhafaza edilen üst düzey çalışma standartlarının kalibrasyonlarında etkili olabilir.

SONUÇ

20 Mayıs 2019 tarihinde ölçüm bilimi açısından çok önemli bir değişim gerçekleştirilmiş ve revize SI yürürlüğe girmiştir. Bu değişimden nasibini alan SI amper, evrensel sabit olan elektrik yükü (e) üzerinden tanımlanmıştır. Her ne kadar bu değişiklik amperin elde edilmesi ve pratik ölçümlerinde önemli bir fark yaratmasa da, yeni tanım ölçüm bilimi insanları önüne önemli görev getirmiştir; amperin yeni tanımına göre elde edilmesi, gerçekleştirmesi.

Bununla birlikte revize SI evrensel sabitlerin değerlerini de düzenlemiş ve bunlara bağlı olan 1990 yılında tanımlanmış olan konvansiyonel Josephson ve von Klitzing sabitlerini yürürlükten kaldırmıştır. Revize SI'da, Josephson Sabiti ve von Klitzing Sabitindeki bağıl değişimler dikkate alındığında, gerilim ve ilgili büyüklükler için 0,107 µV/V, direnç ve ilgili büyüklükler için ise 0,018 µΩ/Ω civarında bir değişiklik söz konusudur. Bu değişime bağlı olarak, 20 Mayıs 2019 sonrasında DC gerilim değerleri aynı belirsizlik ile 0,107 µV/V, direnç değeri ise yine aynı belirsizlik ile 0,018 µΩ/Ω oranında artmıştır. Bu artışın, birinci seviyedeki ölçümlere etkisi önemli olup, diğer elektriksel ölçümler üzerinde kayda değer etkisi olmamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Josephson B. D., "Possible new effects in superconductive tunnelling", Phys. Letter 1, 251–3, 1962

[2] K. v. Klitzing; G. Dorda; M. Pepper, "New method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance", *Phys. Rev. Lett*., **45**(6), 494–497, 1980

[3] BIPM, "The International System of Units (SI Brochure)", 9th edition, 2019, https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/.

[4] Erkan, Ö., Gülmez, Y., Hayırlı, C., Gülmez, G., Turhan, E. "Reference Ultralow DC Current Source between 1 fA and 100 pA at TÜBİTAK UME", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 68:6, 2201-2207, 2019

[5] S. Selcik (Turhan), B. Akyel and P. Gutmann, "The 10V Fixed Frequency Josephson Junction Voltage Standard at UME", CPEM 1998 Conf. Digest, p. 556 - 557, June 1998.

[6] CCEM, "CCEM Guidelines for Implementation of the 'Revised SI', Version 1.0, 8/12/2017, https://www.bipm.org/utils/common/pdf/CC/CCEM/ccem_guidelines_revisedSI.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Mehedin ARİFOVİÇ

1997 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Gerilim Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Elektronik alanında yüksek lisans çalışmasını tamamlamıştır. Halen UME Gerilim Laboratuvarında laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır. Birincil seviyede elektriksel ölçümler, referans cihazlar yapımı ve ölçüm otomasyonu konularında çalışmaktadır.

Saliha TURHAN

1992 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Gerilim Laboratuvarında çalışmaya başladı. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını tamamlayarak Elektronik ve Haberleşme Yüksek Mühendisi unvanını aldı. 2007 yılından bu yana UME Kalite Yönetim Temsilcisi Yardımcılığı görevini de yürütmektedir. Birinci seviyede DC ve düşük frekans gerilim ölçüm sistemleri, kalibrasyonları ve belirsizlik hesaplamaları, laboratuvarlararası karşılaştırmalar ile TS EN ISO/IEC 17025 standardı uygulamaları konularında çalışmaktadır.

KARARLILIĞI YÜKSEK YARI-İLETKEN DAC'IN KUANTUM VOLTMETRE İLE KALİBRASYONU

Tezgül COŞKUN ÖZTÜRK
Sarp ERTÜRK
Ali TANGEL
Mehedin ARİFOVİÇ

ÖZET

Bu makalede, UME'de yüksek hızlı akım-elektroniği ile kurulan Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı, yine yüksek örnekleme hızına sahip ADC ile birlikte kullanılarak oluşturulan Kuantum Voltmetre tanıtılmıştır. Ultra kararlı yarı iletken DAC'ın genliği kurulan Kauntum Voltmetre ile 625 Hz'e kadar kalibre edilmiştir. Bu çalışma ile yükleme etkileri olmadan, kuantum doğruluğunda genlik kalibrasyonlarının yapılabildiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gerilim Metrolojisi, Josephson Gerilim Standartları, DAC, ADC Statik Kazanç, Dinamik Kazanç, Kuantum Voltmetre

ABSTRACT

In this article, the Quantum Voltmeter which is formed by using Programmable Josephson Voltage Standard which is established with high speed current electronics and also with high sampling rated ADC in UME is introduced. The amplitude of the ultra-stable semiconductor DAC is calibrated up to 625 Hz with the established Quantum Voltmeter. It has been shown that with this study, quantum accurate amplitude calibrations can be performed without loading effects.

Key Words: Voltage Metrology, Josephson Voltage Standards, DAC, ADC Static Gain, Dynamic Gain Office

1. GİRİŞ

1962'de, Brain Josephson, cooper çiftlerinin iki süper iletken arasına yerleştirilmiş ince bir yalıtkan engelin içinden tünellendiğinde, kendine özgü davranışlarını eşitlik (1)'deki gibi öngördü [1] ve 1963'te Josephson'un teorisi kanıtlandı [2], [3]. İlerleyen yıllarda gerilimin, frekansın ve fiziksel sabitlerin bir tamsayı çarpımı ile orantılı olduğu gerilim-frekans ilişkisini kanıtlayan birçok deney [4] yapıldı. Deneyler, denklemin birleşme yerinin geometrisinden ve malzemesinden, mikrodalga ve manyetik alanın gücünden bağımsız olduğunu gösterdi [4]. Bu denklemde V_J, Şekil 1'de gösterilen JE'i uygun dc ve ac akımlar ile sürüldüğünde (öngerilimlendiğinde) eklem üzerindeki gerilim düşümüdür. f, h ve e sırasıyla ; AC akımın frekansı, Plank ve elektron yükü sabitleridir ve n bir tam sayıdır. Böyle bir denklemin varlığı, frekans büyüklüğünün doğruluğu ve kararlılığında gerilim birliği vaat etmekteydi.

$$V_J = n.f.h/2e \quad (V) \qquad (1)$$

Bu denklemin kanıtı metrologları, Josephson sabiti (K_J) olarak bilinen 2e/h sabitini ölçmeye teşvik etti. K_J'nin 20 Mayıs 2019 tarihine kadar kullanılan değeri, 1990'da 0,4 ppm belirsizliği olan bir karşılaştırmanın ardından kabul edildi ve K_{J-90} ile belirtildi [5], [6]. Bu mutlak belirsizliğine rağmen, K_{J-90}

için sabit bir değerin kabul edilmesi ile birlikte, dünyadaki gerilim birliğini ilk önce tek Josephson Eklemleri (JE) ile 0,01 ppm seviyesine, daha sonra seri bağlı JE dizileri ile 0,001 ppm seviyesine çıkarıldı [7].

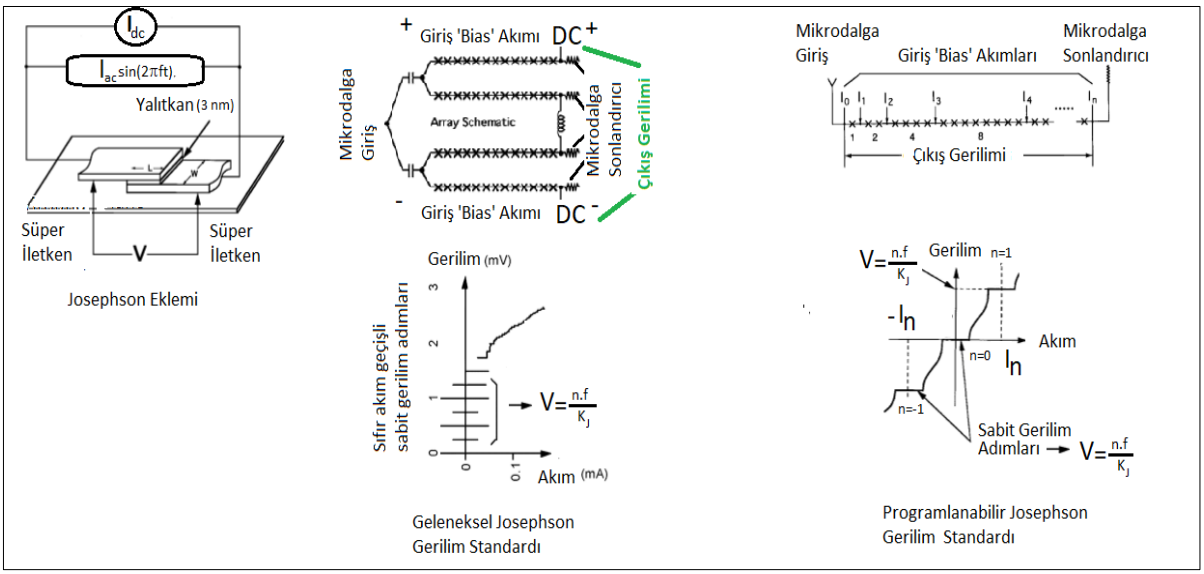
20 Mayıs 2019 tarihi itibarıyla K_J sabitinin daha düşük belirsizlikle belirlenmiş yeni değeri kullanıma alınmıştır [8]. Bu değer bir dizi ölçüm sonucunda büyüklüğü belirlenen plank sabiti ve elektron yükünün değerleri kullanılarak elde edilmiştir [9]. 20 Mayıs 2019 tarihinde yeni birim sisteminin yürürlüğe girmesi ile birlikte, artık K_J sabiti SI birim istemini temsil etmek yerine doğrudan gerçekleştirmek için kullanılmaktadır.

Her enstitünün ölçebilme yeteneklerini gösteren CMC'lerdeki (Capability of Measurement Capacity) gerilim büyüklükleri bu değişimden etkilenmeyecektir çünkü, CMC'lerde nadiren K_J'nin mutlak değerinin kullanıldığı elektriksel ölçümler vardır [9].

JE'lerini seri bağlamak, osilayonları sönümlenmemiş/zayıfça-sönümlenmiş kapasitif JE'lerinin kullanılmasıyla mümkün olmuştur. Bu tür eklemlerle, Şekil 1'deki dc akım sıfır iken eşitlik (1)'deki n'nin tam sayı katlarında (n = 0, ± 1, ± 2, ± 3, ⋯) gerilim adımlarını gözlemlemek mümkündür [10]. 1981'de, aynı elektriksel özelliklere sahip eklemlerin üretilememesi nedeniyle bu sıfır akım geçişli gerilim adımlarına sahip eklemler (Şekil. 1, eklemin akım-gerilim eğrisi) Josephson Gerilim Standartları (JGS) teknolojisine olanak tanıyordu ve Geleneksel JGS (GJGS) olarak adlandırılıyordu. Geleneksel JGS'nin doğal ancak istenmeyen iki etkisi vardı. Bunlar: 1) Farklı adımlar arasında hızlı bir şekilde değişiklik yapmak mümkün değildi ve 2) gürültü adımları rastgele değiştirmekteydi [7].

1995 yılında, Programlanabilir JGS (PJGS) olarak adlandırılan Şekil 1'deki eklemin dc akımı değiştirerek farklı gerilim adımları elde edilen kararlı başka bir JVS türü önerilmiştir [7]. Bu standartta, JE'lerinin osilasyonları sönümlenmiştir ve eşitlik (1)'deki n, 0 ya da ± 1 olabilmektedir. JE dizilerinin gruplanmasıyla ve dc akımının gruplanan bölümlerde bağımsız olarak uygulanabilmesi ile farklı kuantum gerilimleri üretilebilmiştir. 1995'te eklem üretiminde ve mikrodalga güç dağıtım teknolojilerindeki gelişmeler nedeniyle, PJGS teknolojisi mümkün olmuştur [7].

Bu yeni standart, GJGS'nın istenmeyen ancak bu standardın doğal özelliği olan iki problemini çözmektedir. PJGS'nin bir kuantum adımından diğerine hızlı geçme yeteneği nedeniyle adım basamak yaklaşımıyla kuantum dalgalar da sentezlenebilmektedir. Kuantum dalgalar sentezleyebilme yeteneği nedeniyle PJGS elektrik metrolojisinin temelini oluşturmaktadır [11], [12].



Şekil 1. Josephson Eklemi, Sürülmesi ve Mikrodalga Güç Uygulandığında DC Akım-Gerilim Eğrileri [5]

Kurulu AC gerilim metrolojisi DC gerilim Metrolojisi kadar Kuantum doğruluktan yararlanamamaktadır. AC-DC transfer standartları en düşük 3 μV/V belirsizlikle kalibre edilebilmelerine rağmen AC gerilim kaynakları en düşük 11 μV/V belirsizlikle kalibre edilmektedir [13]. AC-DC transfer standartlarının izlenebilirliğini AC gerilim büyüklüğüne aktarma işleminden kaynaklanan ilave belirsizlik kaynakları AC gerilim kaynaklarının belirsizliğini arttırmaktadır. Belirsizlik kaynaklarından biri de yükleme etkileridir.

Yükleme etkilerini PJGS ile birlikte örnekleme hızı yüksek bir ADC'nin birleşiminden oluşan kuantum voltmetre ile ihmal edilebilecek düzeye indiren ve ayrıca doğrudan AC gerilimi yeni SI [9] sistemine bağlayan sistem [14]'de önerilmiş ve [15,16,17]'de gerçekleştirilmiştir. Bu bildiride öncelikle, [14]'deki ile aynı prensipte çalışan ve TÜBİTAK UME'de kurulan sistem tanıtılmış ve bu sistemle kalibre edilen kararlı DAC'ın ölçüm sonuçları sunulmuştur.

2. SİSTEM BİLEŞENLERİ

Kuantum Voltmetre, PJGS Sistemi ile onunla eşzamanlı çalıştırılan yüksek örnekleme hızına sahip bir ADC'den oluşmaktadır. Şekil 2'de Kuantum voltmetrenin bir DAC kalibrasyonu esnasındaki bağlantı şeması, Şekil 3'de ise aynı kalibrasyon esnasında çekilen resmi verilmiştir. Aşağıda kısaca tanıtılan PJGS sistemi ayrıntılarıyla [18]'de anlatılmıştır.

PJGS'nin kalbi, aşırı sönümlenmiş JE'leri, çip üstü kapasiteler ve mikrodalga dağıtım mimarisinden oluşan Süper-iletken Tüm-Devredir (STD) [19]. Entegre devre Q-Wave ve QuADC [20] projelerindeki iş-birliği içinde PTB'den (Almanya Metroloji Enstitüsü) ödünç alınmıştır. Tümdevrede, süper iletken olarak Neobyum (Nb) kullanılmıştır. Nb'nin süper iletkenlik sıcaklığı 9.2 K'dır. 9.2 K'ın altındaki sıcaklık ortamı, bir Dewar'daki sıvı helyum tarafından sağlanmıştır. Dewar, bir dış vakum katman ve içi sıvı helyum olan bir diğer katman olmak üzere iç içe kaplardan oluşan sıcaklık yalıtımlı bir kaptır. Helyum gazının sıvılaştığı sıcaklık 4.2 K'dır.

Şekil 2'de gösterilen bir taşıyıcı üzerindeki entegre devre, prop adı verilen bir aygıt ile sıvı helyum içine daldırılır. Bu prop [18]'de anlatıldığı gibi UME'de üretilmiştir. Probun görevi, STD'yi sıvı helyum içine batırmanın yanı sıra, Şekil 1'de gösterilen ac ve dc akımları STD'ye iletmektir. Süperiletkenliğin dış manyetik alanlardan etkilenmesini önlemek için, STD manyetik bir kalkan ile çevrelenir.

Mikrodalga kaynak, Şekil 1'de gösterilen yüksek frekanslı ac işaretleri uygular. Adımların kararlı çalışması için STD antenine ulaşması gereken mikrodalga güç, yaklaşık 50 mW civarındadır. Mikrodalga kaynağının fazını kilitlemek ve böylece frekans doğruluğunu arttırmak için kararlılığı yüksek olan bir rubidyum veya sezyum osilatör kullanılır. Şekil 3'deki resimde görülen mikrodalga kaynak [18]'de anlatıldığı gibi TÜBİTAK bünyesinde üretilmiştir.

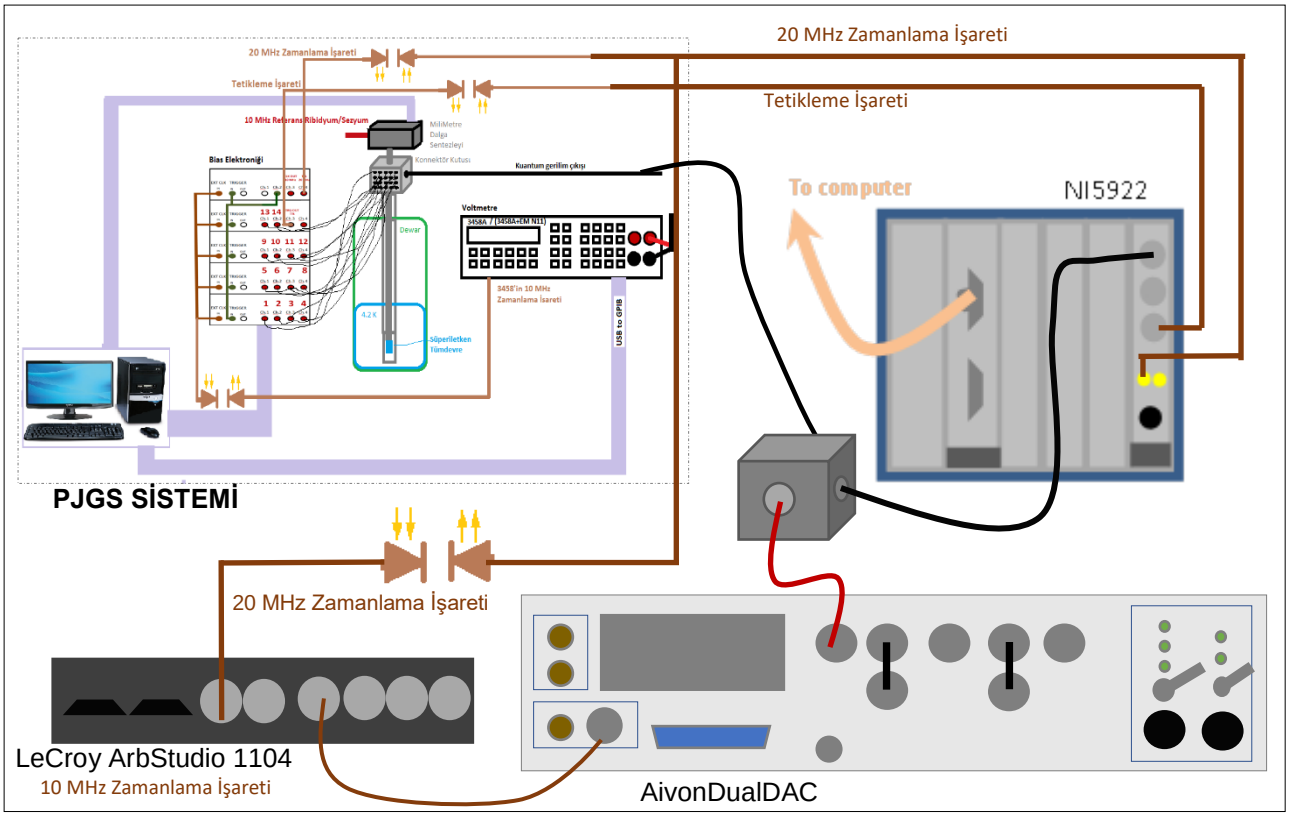
Şekil 1'de gösterilen dc akım, her bir JE dizisi için ön-gerilimleme ('bias') elektroniği tarafından sağlanır.

Kullanılan STD'de 14 bağımsız JE dizisi vardır. Akım-elektroniği de 14 adet farklı kanala sahiptir. Her bir kanal, kısa dönem kararlılığı 30 μV/V olan DAC'lar ve DAC'lara seri bağlı 50 Ω değerindeki dahili dirençlerden oluşur ve [18]'de ayrıntılarıyla anlatıldığı gibi kalibre edilir. Bu akım elektroniği içinde yer alan her bir kanala ayrılmış özel hafızalar kullanılarak, aynı anda herhangi bir şekle sahip olan işaretler üretilebilir. Her kanal 50 Ω yükte 12 V tepe tepe gerilimi sağlayabilmektedir. DAC'lar, her kanal için en az 1 GS / s örnekleme hızıyla en az 16 bit çözünürlükte işaret üretebilmektedir. Kanallar birbirleriyle eş zamanlı olarak ve harici zamanlama ve tetikleme işaretleriyle çalıştırılabilmektedir. Kanallar arasındaki senkronizasyon (gecikme), 50 GHz Modüllü örneklemeli osiloskop Agilent 86100B kullanılarak 3 ns'den küçük olarak ölçülmüştür. Elektroniğin yazılım aracılığıyla kontrolü, Şekil 2'de gösterildiği gibi optik olarak izole edilmiş bilgisayar bağlantısı üzerinden sağlanmaktadır. PJGS kontrol yazılımı, LabView uygulama geliştirme programı kullanılarak UME'de yazılmıştır. [18]'de yazılımın kullandığı formüller verilmiştir ve aynı zamanda STD ve akım-elektroniğinden oluşan devre üzerinden bu formüllerin nasıl elde edildiği anlatılmıştır.

PJGS geriliminin, kuantum doğruluğundan yararlanabilmek için, topraktan bağımsız üretilmesi gerekir: Bu nedenle, senkronizasyon işaretleri optik "verici" üzerinden optik işaretlere ve daha sonra optik "alıcı" üzerinden tekrar elektrik işaretlere dönüştürülerek iletilmektedir. Bu işlem, UME'de üretilen ve [18]'de anlatılan optik alıcı-verici sistemleri ile gerçekleştirilir.

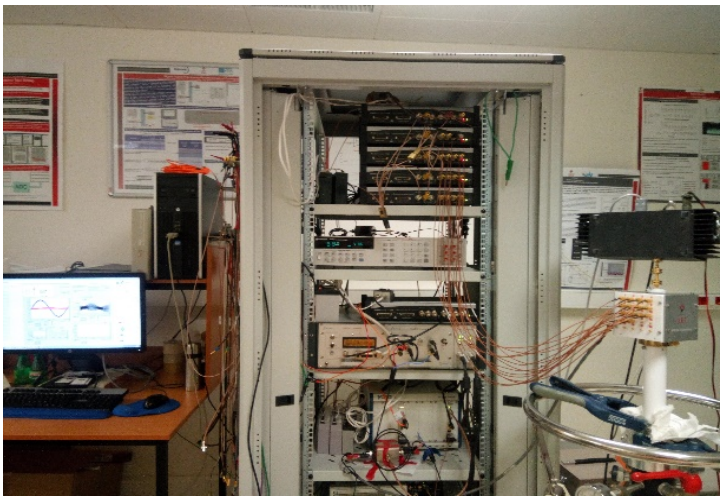
Üretilen Josephson geriliminin kuantum adımda olup olmadığını kontrol eden 28 bitlik bir multimetre (voltmetre) de sistemin bir parçası olarak kullanılır. Bilgisayardaki yazılım DAC'ların gerilimini hesaplar ve hesaplanan gerilim bilgilerini DAC'lardan oluşan ön-gerilimleme (akım) elektroniğine yükler, multimetre ise ölçüm verilerini alır. Bilgisayar, akım-elektroniği ve multimetre arasındaki iletişim, uzun mesafeli bilgisayar iletişimi için üretilmiş olan optik 'hub'lar kullanılarak gerçekleştirilir. Sistem Şekil 2'de gösterilmiştir.
PJGS Sistemi kuantum voltmereyi gerçekleştirebilmek için iki adet ilave işaret üretmektedir. Bu işaretler 20 MHz frekansındaki zamanlama (Clock) ve ölçümleri başlatmak için tetikleme işaretidir. Sistemdeki ADC ve DAC'ların hepsi cihazlar arasındaki akım döngülerinden kaynaklanan gürültüleri önlemek için bağımsız akülerle çalıştırılmıştır.

Fark ölçümlerinde kullanılan hızlı ADC, PJGS elektroniği tarafından sağlanan 20 MHz harici zamanlama işareti ile çalıştırılmaktadır. Üretilen kuantum adımı ile, ADC ile alınan fark ölçümlerini eşleştirebilmek için ölçümleri başlatma işaretine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu iki işaret de optik alıcı verici sistemi ile PJGS sisteminden ADC'ye iletilmektedir.



Şekil 2. Kurulan Kuantum Voltmetre ile DAC'ın Bağlantı Şeması

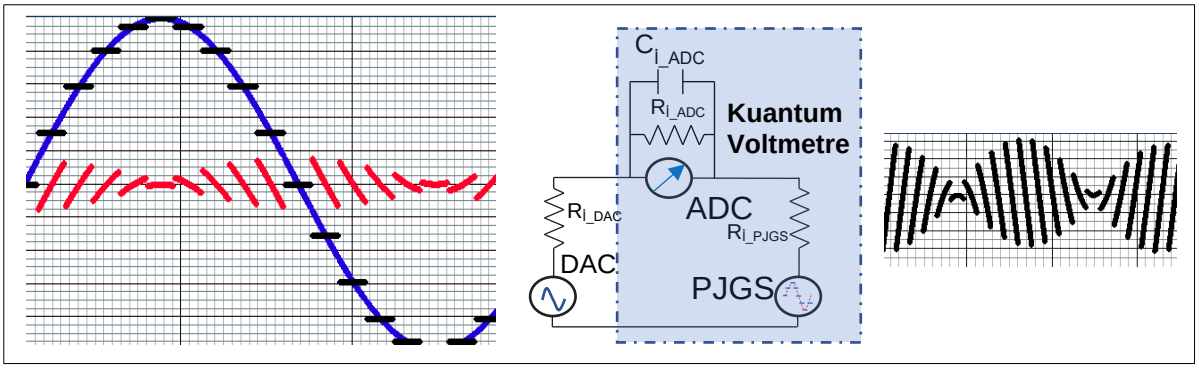
Kuantum Voltmetreyle kalibre edilen kararlılığı yüksek DAC [21]'de anlatıldığı gibi DDS (Direct Digital Synthesis, Doğrudan Sayısal Sentez) prensibi ile çalışmaktadır. Bu DAC da harici zamanlama işareti ile çalıştırılabilmektedir ancak harici frekansı 10 MHz'dir. PJGS ile kalibre edilen DAC arasındaki faz farkı ve ölçüm esnasında oluşan faz kaymaları ölçüm belirsizliğini etkilemektedir. Düşük ölçüm belirsizliği için, bu DAC da ilave işaret üretici kullanılarak PJGS ile eş zamanlı çalıştırılmıştır. İlave işaret üretecine zamanlama işareti, cihazların ekranları arasındaki akım döngülerinden kaynaklanacak gürültüleri bertaraf edebilmek için yine optik alıcı verici kullanılarak aktarılmıştır.



Şekil 3. Kurulan Kuantum Voltmetre ile DAC'in Ölçüm Esnasındaki Fotoğrafı

2. ÖLÇÜMLERİN ALINMASI

Şekil 2'de bağlantı şeması ve Şekil 3'de fotoğrafı görülen sistemin elektrik devresi şeması Şekil 4 'deki gibi basitleştirilebilir. Üretilen kuantum işaret, ölçülecek işaretin değerine ve fazına ne kadar yakınsa bir fark ölçer olarak kullanılan ADC'nin ölçtüğü gerilim o kadar küçük olur. ADC'nin ölçtüğü gerilim ne kadar düşük ise fark ölçerin kazanç hatası ve kararlılığının ölçüm belirsizliğine etkisi o ölçüde düşük olur. Her iki gerilim üretecinin değerlerinin yakın olmasının getirdiği bir diğer fayda da ölçüm sisteminin kalibre edilen cihazdan akım çekmemesidir. Bu durum yükleme hatalarını ihmal edilebilecek düzeylere indirmektedir.



Şekil 4. Ölçüm Sisteminin Elektrik Devre Şeması ve İşaretleri

Ölçümlerin alınmasının ilk adımı PJGS sistemini hazırlamaktır. Bu hazırlık işlemleri ayrıntılarıyla [18]'de verilmiştir ve 'bias' elektroniğinin kalibrasyonu, çipin soğutulması, her soğutmaya özgü olabilen uygun mikrodalga frekans ve gücün bulunması, bulunan optimum mikrodalga frekansına ve gücüne bağlı olarak değişen her bir eklem grubunun (segmentin) öngerilimleme ('bias') akımlarının bulunması ve bu akımların yazılıma girilmesinden oluşmaktadır.

PJGS Sistemi hazırlandıktan sonra kalibre edilecek DAC'ın genlik ve frekans bilgisinin yanı sıra kaç adımda kuantum referans işaretinin üretileceği PJGS yazılımına girilir. Adım sayısının artması fark ölçerin ölçeceği fark işaretini küçültürken daha çok gerilim adımın kuantum durumunda olup olmadığını kontrol etmeyi gerektirir. Bu bildirideki ölçümlerde adım sayısı 20 veya 32 olarak seçilmiştir.

Hazırlanan PJGS yazılımının ‘ADC Lineerite’ adlı segmesinden sistemin bir parçası olan multimetrenin doğrusallık ölçümleri [22]’deki gibi gerçekleştirilir. Bu işlemle her bir adımın kuantum olup olmadığı yine [22]’de anlatıldığı gibi kontrol edilir. Statik koşullarda gerçekleştirilen bu ölçümlerde [20]’deki tümdevrenin, her bir adım için en az 400 µA akım aralığı olup olmadığı kontrol edilir.

Daha sonra PJGS sistemi AC gerilim üretecek şekilde çalıştırılır. Bu çalıştırma için PJGS sistemi içindeki dahili tetikleme işareti (PJGS elektroniğinde gösterilen yeşil hat) bağlanır. Yüksek hızlı ADC’ye PJGS’den dağıtılan zamanlama ve tetikleme işaretleri bağlanır. PJGS’nin çıkışı 28 bitlik voltmetreden sökülerek doğrudan yüksek hızlı ADC’nin girişine bağlanır. Yüksek hızlı ADC’nin de kazancı dinamik koşullarda belirlenir. Bu kazanç belirleme işlemi esnasında ölçümün dinamik akım aralıklarının en az 100 µA olup olmadığı da kontrol edilir.

Daha sonra kalibre edilen DAC ile PJGS’nin, Şekil 2’de gösterilen diferansiyel kutusu aracılığıyla, düşük potansiyelleri kısa devre edilir, yüksek potansiyelleri ise yüksek hızlı ADC’nin birinci kanalına uygulanır. Bütün bağlantılar öncesinde STD üzerinde manyetik akı tuzaklamalarını önlemek için mikrodalga güç kapatılır, bias elektroniği önce sıfır akıma ayarlanır sonra kapatılır.

Bütün bağlantılar tamamlandıktan sonra PJGS çalıştırılır. Kalibre edilen DAC’ın fazı, fark ölçer minimum tepe-tepe gerilimini okuyuncaya kadar, ilave işaret üreteci aracılığıyla kaydırılır. PJGS’nin bir kuantum adımdan diğerine geçişi esnasında, adımların sağında ve solunda kuantum olmayan geçici dalgalanmalar oluşmaktadır. Bu dalgalanmalar esnasında alınan örnekler, ölçüm sonucu hesaplanırken değerlendirmeye alınmamalıdır. Değerlendirmeye alınmayacak olan adımların sağdan ve soldan toplam süresi 40 µs civarındadır. Kuantum adımların sağından ve solundan silinecek örneklerin sayısına, bu süre ve ADC’nin örnekleme frekansı dikkate alınarak karar verilir ve bu sayı yazılıma girilerek ölçüm başlatılır.

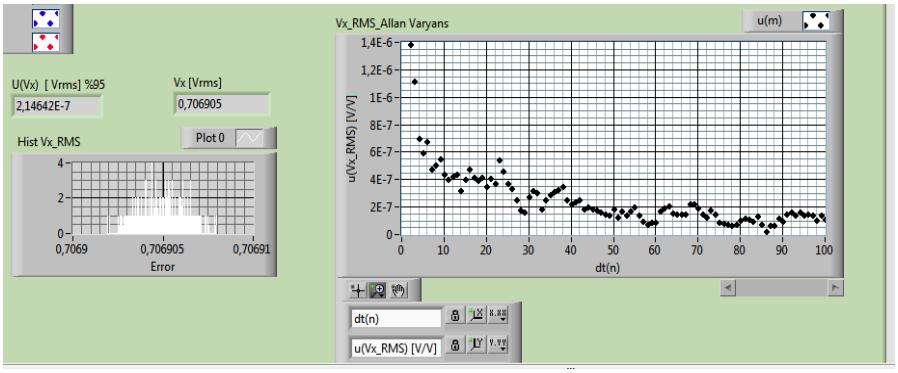
Kuantum olmayan örnekler yazılım tarafından silinir. Kalan örneklerin kazanç hataları düzeltilir. Kuantum voltmetre yazılımı, ölçülen işaretin etkin (RMS) değerini ve periyot sayısına bağlı olarak ölçülen RMS değerin istatistiklerini Şekil 5’deki gibi ekranında göstermektedir. Bu çıktıların yanı sıra yazılım, zaman ve o zamana karşılık kuantum doğrulukla ölçülen işaretin örneğini çıktı dosyası olarak üretmektedir. Bu çıktı dosyası kullanılarak sayısallaştırılan işaretin, etkin değerinin yanı sıra, fazı ve harmoniği gibi başka dalga parametreleri de değerlendirilebilmektedir.

3. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4’de mavi ile gösterilen sinüzoidal işaret DAC çıkışının kuantum voltmetre ile ölçülen değeridir. Bu işaret, her bir noktada kırmızı ile gösterilen ADC işareti ile siyah ile gösterilen kuantum işaretler toplanarak elde edilmiştir. Şekil 4’ün en sağında ADC ile elde edilen işaretin zamana bağlı oluşan deseni görülmektedir. Bu desenin tepe değeri DAC’ın ürettiği işaretin eğiminin en büyük olduğu sıfır geçişlerinde oluşmaktadır. Bu desenin genliği PJGS’nin adım sayısı arttırılarak, DAC’ın ürettiği işaretle PJGS’nin ürettiği işaret arasındaki faz ve genlik farkı azaltılarak düşürülebilir. ADC ile ölçülen işaretin genliğinin azalması, yükleme hatalarını, ADC’nin kazancı ve kazancının kararlılığından kaynaklanan belirsizlikleri ihmal edilebilir seviyelere düşürmektedir.

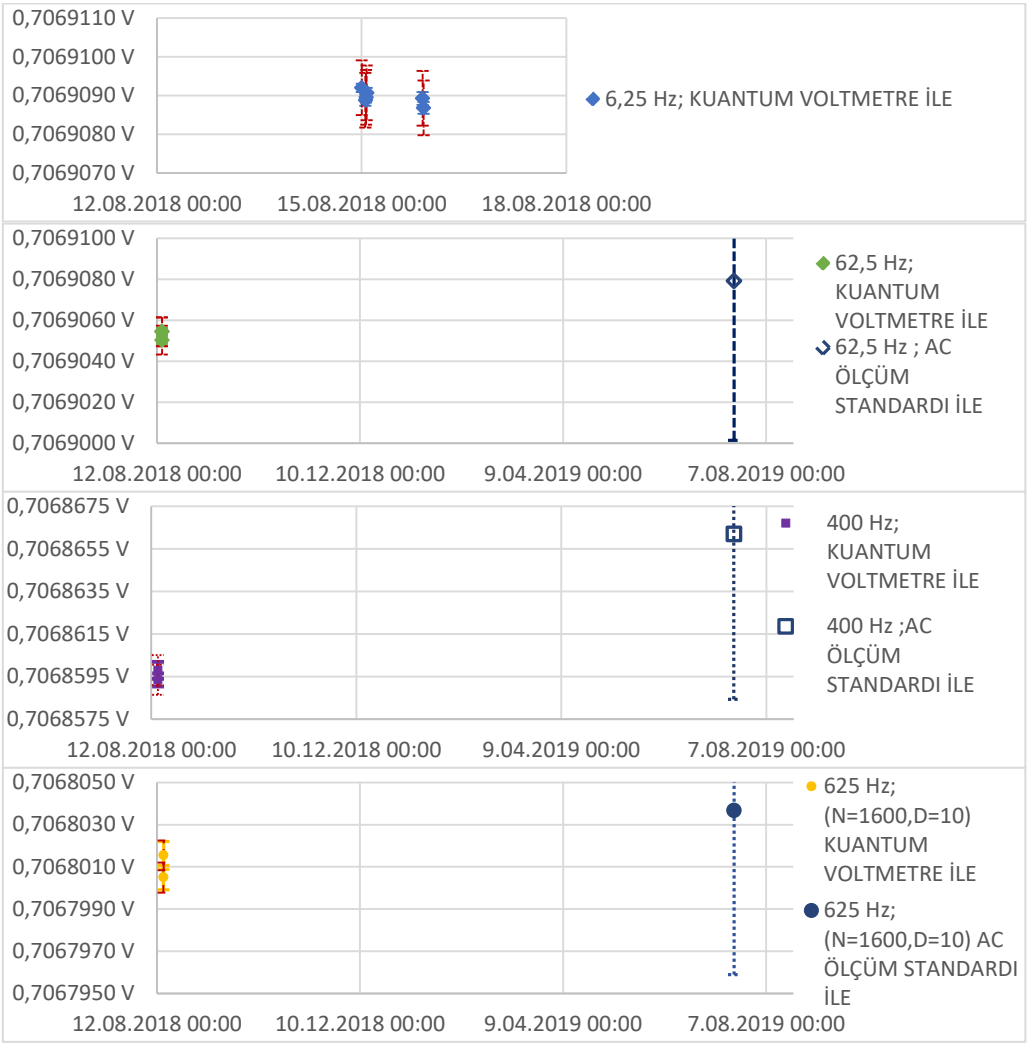
Kuantum Voltmetre ile DAC’ın, 6,25 Hz, 62,5 Hz, 400 Hz ve 625 Hz frekanslarında, referansının 0,141136 değerine ayarlandığı 0,707 Vrms anma genliğine sahip gerilimleri ölçülmüştür. Ölçümlerde kullanılan ile aynı modeldeki bir diğer DAC, [23]’de raporlanan karşılaştırmada kullanılmıştır. Karşılaştırma esnasında DAC’ın kısa dönem kararlılığı 1 µV/V, uzun dönem kararlılığı ise (6 aylık) sırasıyla yukarıdaki ilk üç frekans için 2 µV/V, 2 µV/V ve 4 µV/V olarak ölçülmüştür [23].

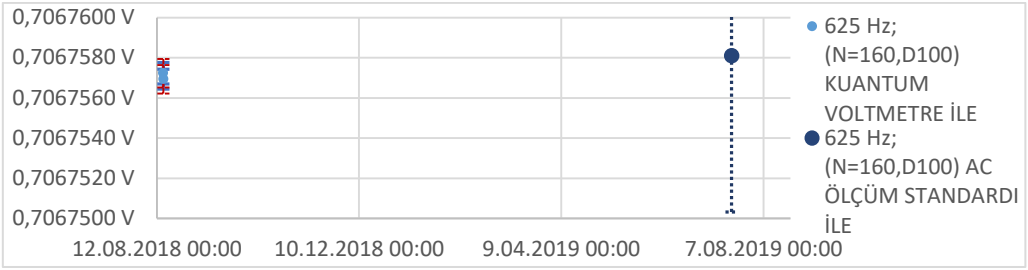
Önceden belirlenen periyot sayısı kadar ölçüm alındıktan sonra yazılım, periyot sayısına bağlı olarak RMS formülü kullanılarak hesaplanan RMS değerinin Allan Varians’ını Şekil 5’deki gibi ekranında göstermektedir. Ölçümün 1 µV/V altındaki bu A tipi belirsizliği kuantum voltmetrenin çalıştırılabildiğinin göstergelerinden biridir.



Şekil 5. Kuantum Voltmetre Yazılımının 62,5 Hz Ölçümü Esnasında Ürettiği İstatistik Sonuçlar

Şekil 6'da Kuantum voltmetreyle fraklı frekanslarda ve farklı tarihlerde alınan ölçümler özetlenmiştir. Alınan ölçümler, ölçüm sonuçlarının AC kaynağın kısa dönem kararlılığı içinde olduğunu göstermektedir. Ölçüm sonuçlarıyla aynı renkteki hata çubukları ölçüme ait A tipi belirsizliği göstermektedir. Kırmızı renkli hata çubukları ise DAC'ın üretici tarafından beyan edilen kısa dönem kararlılığını göstermektedir. 10 Hz üzerindeki işaretler aynı zamanda AC Ölçüm Standardı ile ölçülmüştür ve Şekil 6'daki grafiklerde lacivert renkli işaretçilerle gösterilmiştir. Lacivert renkli hata çubuklarıyla UME'nin CMC'lerde beyan edilen belirsizlikleri gösterilmiştir.





Şekil 6. Kuantum Voltmetre ile Alınan Ölçümler ve Bu Ölçümlerin Kurulu AC Gerilim Ölçüm Teknikleriyle Karşılaştırılması

SONUÇ

Bu bildiride AC gerilim ölçümlerini doğrudan yeni SI'a izlenebilir kılan UME'de kurulan kuantum voltmetre tanıtılmıştır. Kauntum voltmetrenin ölçüm devresi verilerek, fark ölçerin kazanç ve iç empedansının ölçüm sonucunu ve kaynağı nasıl etkilemediği gösterilmiştir. Kurulan kauntum voltmetre ile ölçüm alma prosedürü ayrıntılarıyla anlatılmıştır. Kauntum voltmetreyle kararlılığı yüksek, başka bir deyişle A tipi ölçüm belirsizliği düşük ölçümlerin alınabileceği gösterilmiştir. Ultra kararlı yarı iletken DAC'ın genliği, kurulan Kauntum Voltmetre ile 625 Hz'e kadar kalibre edilmiştir. Ölçümler AC Ölçüm Standardı ile de tekrarlanmıştır. Alınan ölçümler sunularak ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta ultra kararlı DAC'ların, kuantum voltmetreyle, daha düşük belirsizliklerle kalibre edilebileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] B. D. Josephson, "Possible new effects in superconductive tunneling," *Phys. Letters*, vol. 1, no. 7, pp. 251-253, 1962.

[2] Anderson P. and R. J. M., "Probable observation of the Josephson superconducting effect," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 10, no. 6, pp. 230-232, 1963.

[3] S. Shapiro, "Josephson currents in superconducting tunneling: The effect of microwaves and other observations," *Phys. Letters*, vol. 11, no. 2, pp. 80-82, July, 1963.

[4] P Pöpel and R., "The Josephson effect and voltage standards," *Metrologia*, vol. 29, no. 2, pp. 153-174, 1992.

[5] V. Sienknecht and T. Funck, "Realization of the SI unit volt by means of a voltage balance," *Metrologia*, vol. 22, no. 3, pp. 209-212, 1986.

[6] B. N. Taylor, T. J. Witt, " New International Electrical Reference Standards Based on the Josephson and Quantum Hall Effects" *Metrologia*, vol. 26, no. 1, pp. 47-62, 1989

[7] B. N. Taylor, T. J. Witt, " New International Electrical Reference Standards Based on the Josephson and Quantum Hall Effects" *Metrologia*, vol. 26, no. 1, pp. 47-62, 1989

[8] CCEM, "Guidelines for Implementation of the 'Revised SI' ", Version 1.0, 08.12.2017

[9] N. Fletcher, G.Rietveld, J. Olthoff, I. Budovsky, M. Milton "Electrical Units in the New SI: Saying Goodbye to the 1990 Values", *NCSLI Measure*, Vol. 9, Iss. 3, 2014

[10] R. L. Kautz, "On a proposed Josephson effect voltage standard at zero current bias," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 36, no. 5, pp. 386-388, 1980.

[11] R. Behr, O. Kieler, J. Kohlmann, F. Müller, L. Palafox, "Development and metrological applications of Josephson arrays at PTB," *Meas. Sci. Technol.*, vol.23 , no. 12, pp. 124002 (19 pp) , 2012.

[12] J. Lee, R. Behr, B. Schumacher, L. Palafox, M. Starkloff, A. C. Böck, and P. M. Fleischmann, "From AC quantum voltmeter to quantum calibrator," presented at Conf. on Precision Electromagnetic Measurements, Ottawa Canada, 10-15 July, 2016.

[13] http://www.ume.tubitak.gov.tr/tr/laboratuvarlarimiz/laboratuvar-altyapisi-7

[14] ”R.Behr, et al. “Direct Comparison of Josephson Waveforms Using an AC Quantum Voltmeter”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Issue 56, p. 235-6,2007
[15] A. Rufenacht, C. J. Burroughs, and S.P.Benz 2008, “Precision Sampling Measurements Using Programmable Josephson Voltage Standard”, Rev. Sci. Instrum., 044704 (79)
[16] J. Lee at al., “ An ac quantum voltmeter based on a 10 V Programmable Josephson Array”, Metrologia, Issue 50, p. 612-622, 2013
[17] M. S. Kim et al., “Analog to digital conversion for low frequency waveforms based on the Josephson Voltage Standard” Meas.Sci.Technology,115102(21),2010
[18] Coskun Ozturk, T., Erturk, S., Tangel, A., Gedik, A., Yogun, M., Celep, M. "Establishing Programmable Josephson Voltage Standard and Maintaining its Quantum Accuracy", International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications, 8:1 (2019) : 19-25
[19] F. Mueller, R. Behr, T. Weimann, L. Palafox, D. Olaya, P. D. Dresselhaus, and S. P. Benz, “1 V and 10 V SNS programmable voltage standards for 70 GHz,” *IEEE Trans. Appl. Supercond*., vol. 19, no. 3, pp. 981-986, Jun. 2009.
[20] EMPIR (2015). “QuADC: Waveform metrology based on spectrally pure Josephson voltages.” [Online] Available: https://www.ptb.de/empir/quadc-project.html
[21] Nissila, J. and at all, “Stable Arbitrary Waveform Generator as a Transfer Standard for ADC Calibration” Conf. on Prec. Electromagnetic Meas, (CPEM 2016) Ottawa, 10-15.07.2016,
[22] Coskun Ozturk, T., Erturk, S., Tangel, A., Arifovic, M., Turhan, S. "Metrological Measurements Using Programmable Josephson Voltage Standard ", IEEE Xplore, 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO 2017 , -:- (2018) : 1117-1121
[23] M. Sira,, J.D.d Aguiler,., T. Coskun Ozturk, J.Lee, R. Behr, , J.Nissila, "Comparison of Sampling Voltage Measurements of Multi-Tone Signals", 2018 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2018), -:Article number 8501071 (2018) : 2 s

ÖZGEÇMİŞ

Tezgül COŞKUN ÖZTÜRK

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. ABD’da 2004 yılında tamamlamıştır.

2002 yılında TÜBİTAK UME Gerilim Laboratuvarı’nda göreve başlamıştır. Burada “Yüksek Doğruluklu Kalibratörlerin AC İşaret Kaynağının Doğrudan Sayısal Sentez Tekniği ile Gerçekleştirilmesi” konulu yüksek lisans çalışmasını tamamlamıştır. Halen UME Gerilim Laboratuvarı’nda birincil seviyede DC oran, gerilim ve akım standartların oluşturulması, muhafazası ve kalibrasyonu konularında çalışmaktadır. Uzmanlık alanı DC ve düşük frekans gerilim, akım ve direnç ölçüm/kalibrasyonları ve belirsizlik hesaplamalarıdır. Endüstriye eğitim, kalibrasyon ve test hizmetlerinin verilmesinde, ulusal ve uluslararası karşılaştırmalarda görev almaktadır.

2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. ABD’da doktora öğrenimine başlamıştır. Şu anki ilgi alanları AC Josephson Gerilim Standartlarının Kurulumu ve bu standartların kullanıldığı elektriksel ölçümlerdir.

Sarp ERTÜRK

1995 yılında Ankara, Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Elektrik-Elektronik Mühendisliği derecesini aldı. 1996 ve 1999 yıllarında Essex Üniversitesi'nden Elektronik Sistemler Yüksek lisans ve doktora dereceleri aldı. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi'ne Yrd. Doç. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde 2008 yılında aynı bölümde Profesör Dr. derecesini aldı.

Başlıca uzmanlığı: Görüntü İşleme, Sinyal İşleme, Uzaktan Algılama, Gömülü Sistemler. İlgi alanları Bilgisayar Görme, Dijital İletişim, Bilgi Sistemleri ve Devreler ve Sistemlerdir.

Ali TANGEL

1986'da Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nden Elektronik Mühendisliği dalında lisans derecesi aldı. 1991 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektronik Mühendisliği alanında yüksek lisans derecesi aldı. Amerika Birleşik Devletleri'nden 1999'da Pennstate Üniversitesi'nden doktora derecesini aldı. 1987-1993 yıllları arasında Ankara Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 1993 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümüne katıldı ve 2011 yılında doçent oldu. Halen aynı bölümde profesör olarak çalışmaktadır. Ana uzmanlık alanları Analog ve Karışık Sinyal Elektronik Devre Tasarımları, VLSI Tasarımı, Alan Programlanabilir Kapı Dizileri ve Uygulamaları ve Yarı İletken Elektroniğidir.

Mehedin ARİFOVİÇ

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1997 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Elektronik alanında tamamlamıştır.

1997 yılında TÜBİTAK UME Gerilim Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. Birincil seviyede AC/DC gerilim ve akım ölçümleri, referans cihazların yapımı, ölçüm otomasyonu ve ISO 17025 Kalite Sistemi konularında çalışmaktadır. Halen UME Gerilim Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

TÜBİTAK UME PROGRAMLANABİLİR JOSEPHSON GERİLİM STANDARDI

Mehedin ARİFOVİÇ
Recep ORHAN
Naylan KANATOĞLU
Saliha TURHAN

ÖZET

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde (TÜBİTAK UME), 10 V programlanabilir Josephson tümdevresine dayanan yeni bir kuantum gerilim standardı kurulmuştur. Sıvı helyumda çalışan Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı, 10 V'a kadar DC gerilim yanı sıra 7 V'a (≤ 5 kHz) kadar rms AC gerilim üretebilmektedir. Standart, yapımında kullanılan elektronik ve yazılım sayesinde özel uygulamalara kolayca entegre edilebilmektedir. Bu bildiride, standardın kurulumu ve validasyonu ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Josephson Gerilim Standardı, programlanabilir Josephson tümdevresi, gerilim ölçümü, örnekleme, analog-sayısal dönüştürücü

ABSTRACT

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), the national metrology institute of Turkey, established a new quantum voltage standard based on programmable 10 V Josephson array operated in the liquid helium. Programmable Josephson Voltage Standard is very compact, able to produce reference DC voltage up to 10 V and AC voltages up to 7 V rms (≤ 5 kHz) , and can be easily integrated to any custom application. In this paper, the work conducted on the building of the standard and its validation were presented.

Key Words: Josephson Voltage Standard, programmable Josephson array, voltage measurement, sampling, digital to analog converter.

1. GİRİŞ

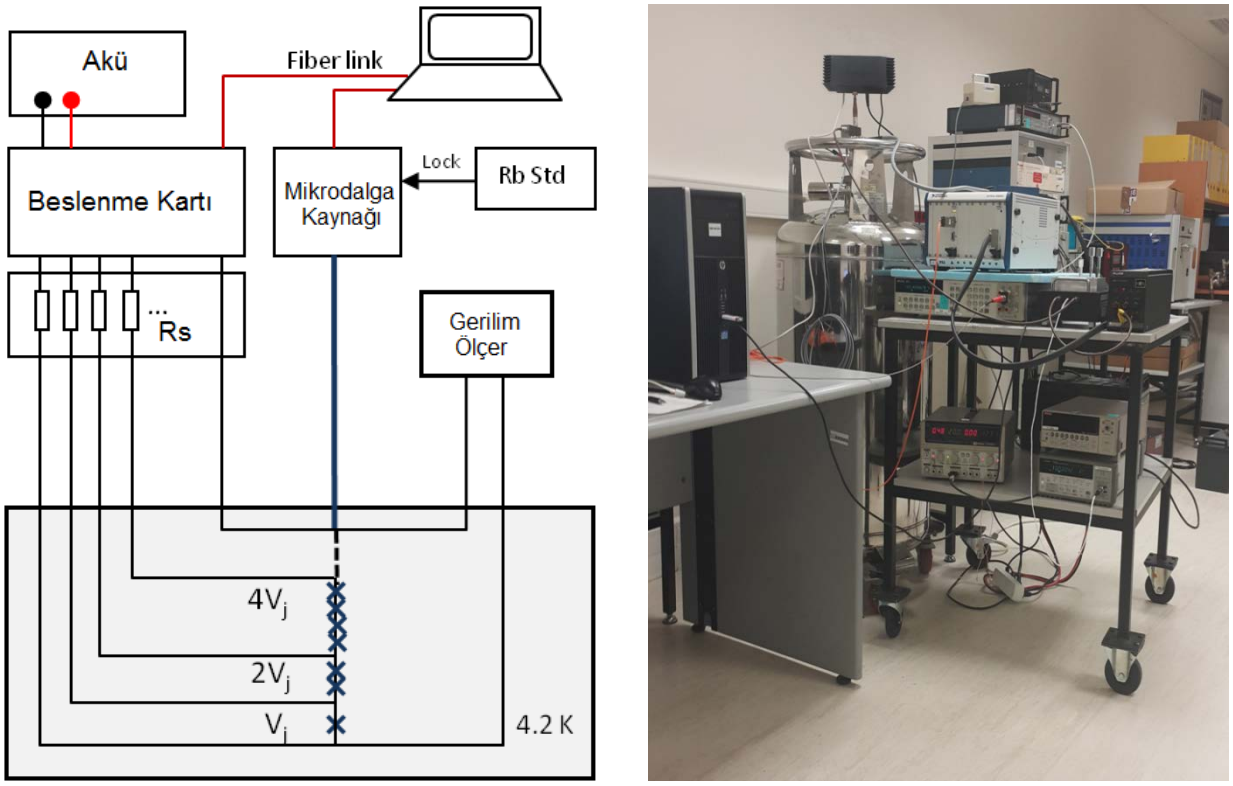
DC gerilim izlenebilirliği, birincil seviyede Josephson etkisi prensibi ile çalışan ölçüm standartları üzerinden gerçekleştirilmektedir [1]. TÜBİTAK UME'de, gerilim birimi 1997 yılından beri klasik histeretik tümdevresine sahip Josephson Gerilim Standardı (JGS) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. [2]. Yapılan iyileştirmelere rağmen bu standartların kullanımı zor ve sadece DC gerilim ile sınırlıdır. Son 20 yılda gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda histeretik olmayan Josephson tümdevreler geliştirmiş ve Josephson etkisi, DC gerilim ölçümlerinin yanı sıra AC gerilim ölçümlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı Programlanabilir Josephson Gerilim Standartları (PJGS) ile ilgilidir [3]. Bu sistemler, DC gerilime ek olarak, yüksek doğrulukla adım-yaklaşımlı dalga formları üretme yeteneğine sahiptirler.

Günümüzde PJGS'ler, sistem parametrelerinin optimizasyonu, DC gerilim standardı, 8½ dijit multimetrenin gerilim kalibrasyonu gibi bazı kalibrasyonları otomatik gerçekleştirebilen kapsamlı yazılım ile birlikte ticari olarak bulunabilinmektedir. Ancak, bu standartların başka bir sisteme

entegrasyonu, özellikle AC gerilim uygulamalarında bazı özel ölçümler veya algoritma ihtiyaçlarını karşılamaları gerektiğinde, kullanılan özel yazılım ve elektronik sebebiyle olanaksız veya çok maliyetlidir. Bu duruma örnek olarak, TÜBİTAK UME'de yeni kilogramın gerçekleştirmesi [4] için başlatılan Kibble Balans projesi gösterilebilir. Bu projede, AC gerilimin ölçülmesi amacıyla, sistemdeki diğer modülerin ölçümleri ile senkronize olan iki adet PJGS'in sisteme entegrasyonu gereklidir. Bu ve benzeri sebeplerinden dolayı, donanımı ve yazılımı üzerinde tam kontrol sahibi olunması amacıyla, PJGS sisteminin yapılmasına karar verilmiştir.

2. TÜBİTAK UME PROGRAMLANABİLİR JOSEPHSON GERİLİM STANDARDININ YAPISI

TÜBİTAK UME tarafından kurulan PJGS sistemin genel şeması ve fotoğrafı Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistemde Supracon AG firması tarafından üretilen SNS teknolojisine dayanan 10 V programlanabilir Josephson tümdevresi kullanılmaktadır. Tümdevre ikili sisteme (2^0, 2^1, 2^2,..) göre gruplandırılmış 18 bölümden ve toplamda 69632 adet Josephson ekleminden oluşmaktadır. Standart, 70 GHz frekansa sahip bir mikrodalga ile uyarılması durumunda, 145 µV çözünürlük ile ± 10,08 V aralığında DC gerilimi $1 \cdot 10^{-10}$ doğrulukta üretebilmektedir.



Şekil 1. TÜBİTAK UME Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı

Tümdevre manyetik ekran içinde yerleştirilerek, tüm bağlantı tellerini ve dalga kılavuzunu içeren bir kriyojenik probun üzerine monte edilmiştir. Sistemin çalışması esnasında dış elektromanyetik etkilerden kaynaklanabilen süper iletken akı takılmasını gidermek amacıyla, tümdevrenin altına, kritik sıcaklığın üzerinde ısıtılmasına sağlayan bir ısıtıcı direnç yerleştirilmiştir.

Tümdevre, National Instruments (NI) 1082DC PXI şasesi içine monte edilmiş NI PXIe-6738 32-kanallı DAC (Digital to Analog Converter – Sayısal analog çevirici) kartı ile sürülmektedir. DAC kartının tüm kanalları 0,2 Ω çıkış direncine sahip olup 10 V'a kadar gerilim üretebilmektedirler. Tümdevrenin her bölümü (18 adet) için birer kanal kullanılıp, sürme (bias) akımlarının kontrolü için her kanala ayrıca seri

bağlı düşük reaktanslı 100 Ω dirençler eklenmiştir. Tüm kanalların senkronizasyonu kart üzerinde donanımsal olarak gerçekleştiğinden, kablo karmaşasının önüne geçilmiştir. Her kanalın toplam yol direnci ölçülerek, sistem yazılımı tarafından kullanılmak üzere kaydedilmiştir.

Sistemde kullanılan mikrodalga kaynağı, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Milimetre Dalga ve Terahertz Teknolojileri Stratejik İş Birimi tarafından üretilen bir sentezleyicidir [5]. Doğrudan kriyojenik prop üzerinde yerleştirilecek şekilde tasarlanan sentezleyici, 4 kHz çözünürlükte 69 GHz ila 71 GHz frekans aralığında 200 mW'a kadar sürekli RF güç üretebilmektedir. Sentezleyici çalışma esnasında referans frekans standardına kilitlenmekte olup, bilgisayar kontrolü RS 232 bağlantı ile sağlanmaktadır.

Sistem yazılımı NI LabView programı kullanılarak hazırlanmıştır. Özellikle güçlü donanım desteği, geliştirme verimliliği ve idame kolaylığı gibi avantajlarından yararlanması hedeflenmiştir.

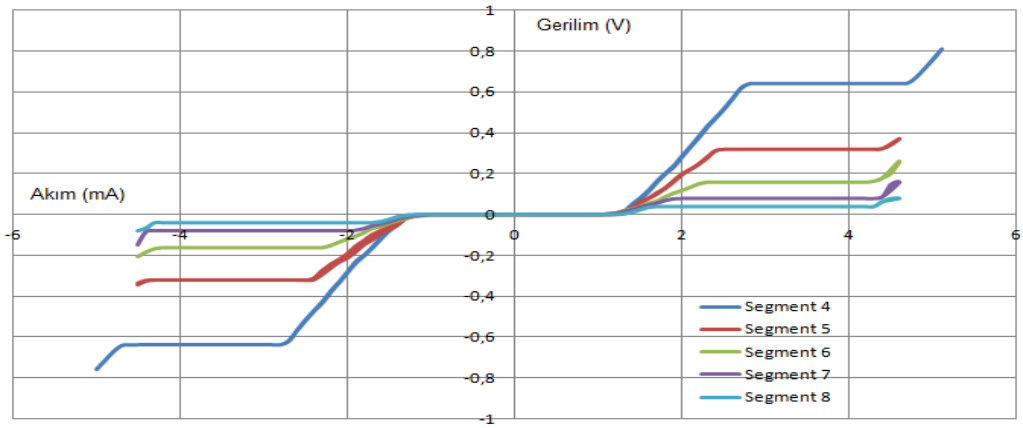
2. TÜBİTAK UME PROGRAMLANABİLİR JOSEPHSON GERİLİM STANDARDININ OPERASYONU

Sistem çalıştırılmadan önce, tümdevrenin tüm bölümlerinin sürme (bias) akımları ile en uygun mikrodalga güç ve frekans belirlenir. PJGS'de kullanılan tümdevrenin karakteristik akım genişliği (I_c) 6 mA olup, en uygun sürme akım (I_b) değerlerinin (2,15 – 3,20) mA aralığında olduğunu tespit edilmiştir (Tablo 1). Mikrodalga frekansı ise, tümdevrenin 1. ve 0. Shapiro adımlarının genişliğini gözleyerek ve 69 GHz ila 71 GHz frekans aralığında taranarak en uygun değer 70,94 GHz olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. TÜBİTAK UME PJGS çalışma parametreleri

Bölüm (Segment)	Josephson Eklem Sayısı	I_{b+} (mA)	I_b- (mA)
1	1	3,20	3,19
2	1	3,11	2,98
3	1	2,91	2,91
4	2	2,92	2,93
5	4	2,92	2,92
6	8	2,91	2,91
7	17	2,91	2,90
8	34	2,90	2,90
9	68	2,68	2,71
10	136	2,18	2,30
11	272	2,30	2,27
12	544	2,15	2,30
13	1088	2,77	2,82
14	2176	2,86	2,93
15	4352	2,53	2,54
16	8704	2,48	2,52
17	17406	2,67	2,70
18	34813	2,68	2,70

Ölçülen V-I karakteristikleri birinci kuantum adımların (n = 1) düz platoların merkez değerleri her bölüm (segment) için en uygun sürme akımı olarak alınmıştır (Şekil 2). Bu şekilde belirlenen sistem parametreleri, genel olarak 60 litre sıvı helyum kullanımı gerektiren 3 hafta süren çalışma süresince değişmezler. Ancak parametrelerin belli aralıklarla kontrol edilerek sistemin kuantum durumunda çalıştığı teyit edilmesi gerekebilir.



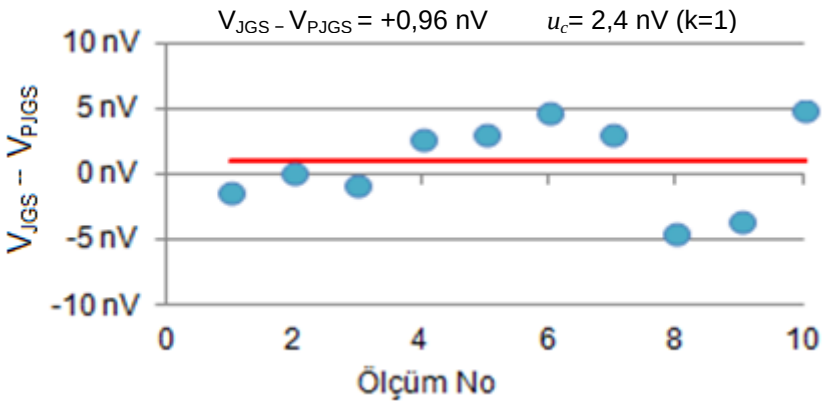
Şekil 2. PJGS tümdevresinin 4-8 bölümlerinin V-I karakteristiği

3. SİSTEMİN VALİDASYONU

PJGS sistemin validasyonu, TÜBİTAK UME JGS kullanılarak iki yöntem ile gerçekleştirilmiştir. PJGS önce, DC gerilim standardı (Fluke 732B) kullanılarak dolaylı olarak, daha sonra ise doğrudan konvansiyonel DC Josephson Gerilim Standardı (JGS) ile karşılaştırılmıştır. TÜBİTAK UME'de 1997'den beri DC gerilim ölçümlerinde ulusal standart olarak kullanılmakta olan SNS Josephson tümdevresi yapılı JGS, daha önce pek çok uluslararası karşılaştırmada kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınarak güvenilirliği doğrulanmıştır [6].

Dolaylı karşılaştırmada, Fluke 732B DC Standardın 1,018 V ve 10 V çıkış gerilimleri sırasıyla JGS, PJGS, JGS kullanılarak ölçülmüştür. 1 saat içinde tamamlanan ölçümler süresince Fluke 732B standardının lineer davrandığı kabul edilerek her iki standart ile belirlenen ölçüm sonuçları arasındaki fark belirlenmiştir. Buna göre, JGS ile PJGS sistemleri arasındaki fark, $0{,}05 \cdot 10^{-6}$ belirsizlik (%95, k=2) ile, 10 V için $+0{,}03 \cdot 10^{-6}$, 1,018 V için $+0{,}006 \cdot 10^{-6}$ olarak belirlenmiştir.

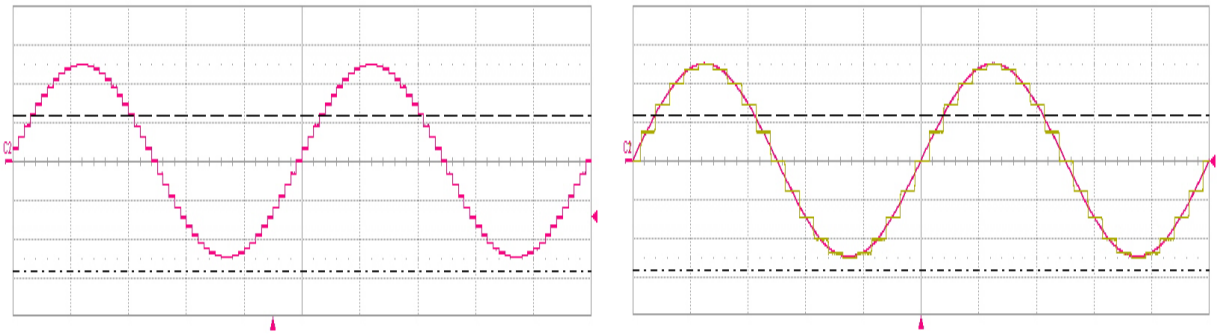
PJGS ile JGS'nin doğrudan karşılaştırması ise 10 V gerilim değerinde gerçekleştirilmiştir [7]. Bu karşılaştırmada, PJGS sistemi ve yazılımı kullanılarak, JGS ile aralarındaki gerilim farkı ölçülmüştür. Şekil 3'de gösterilen sonuçlar iki sistemin uyum içinde olduğunu ortaya koymuştur. Buna göre, JGS ile PJGS sistemleri arasında 10 V için fark, 2,4 nV ($0{,}24 \cdot 10^{-9}$) belirsizlik (k=1) ile +0,96 nV ($0{,}096 \cdot 10^{-9}$) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. JGS - PJGS 10 V doğrudan karşılaştırma sonucu

3. AC GERİLİM UYGULANMASI

Histeretik olmayan PJGS tümdevresinin kararlı duruma gelme (oturma) zamanı ns mertebesinde kısa olduğundan, adım yaklaşımlı (step-approximated) AC gerilim üretme yeteneğine sahiptir. AC sinyalin frekansı ve periyot başına adım sayısı sistem yazılımı tarafından kontrol edilmektedir. (Şekil 4 (a))



a) PJGS AC Gerilimi (10 Hz, 50 adım) b) PJGS – AC kaynak senkronizasyonu

Şekil 4. PJGS tarafından üretilen adım yaklaşımlı AC gerilim ve AC kaynağı ile senkronizasyon

Sistemde kullanılan besleme kartı tarafından üretilen dalganın ardışık adımları arasına geçiş zamanı 1 µs'nin altında olup, 1 kHz'e kadar örnekleme temelli ölçümler için yeterlidir. Ayrıca, besleme kartı üzerinde bulunan harici tetikleme ve referans frekans girişi ekstra cihazlarla birlikte çeşitli senkronizasyon seçenekleri sunmaktadır. Besleme kaynağını topraktan izole tutmak amacıyla, tetikleme ve referans frekans bağlantıları için özel yapılmış fiber-optik dönüştürücüler kullanılmaktadır.

PJGS'nin en yaygın AC uygulamalarından biri, AC gerilim kaynağı kalibrasyonudur. Faz kilitleme seçeneğine sahip bir Fluke 5720A kalibratörün ürettiği sinüs sinyali ile PJGS'nin ürettiği dalga formu senkronizasyonu Şekil 4(b)'de gösterilmiştir. Gösterilen PJGS dalga formu 20 adım olup, her iki sinyalin frekansı 10 Hz ve tepe değerleri 10 V'tur. AC kaynağın gerilim değerini belirlemek için öncelikle üretilen test sinüs sinyali ile PJGS'nin ürettiği referans sinyalinin her adımının düz bölgelerindeki farkı ölçülür. Ardından, PJGS gerilim seviyeleri ile fark gerilimleri toplanarak oluşturulan sinyalin parametreleri hesaplanır.

SONUÇ

TÜBİTAK UME'de, 10 V'a kadar DC gerilim yanı sıra, 7 V'a (≤ 5 kHz) kadar rms AC gerilim üretebilen Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı (PJGS) kurulmuştur. Standart, 1997'den beri kullanılmakta olan Josephson Gerilim Standardı ile 10 V gerilim değerinde doğrudan karşılaştırılmış olup, iki standart arasındaki fark 2,4 nV belirsizlik (k=1) ile +0,96 nV olarak belirlenmiştir. Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı, sistemin kompakt yapısı, harici senkronizasyon yetenekleri ve TÜBİTAK UME yapımı kontrol yazılımı sayesinde, DC ve AC gerilim ölçümleri ve uygulamalarında büyük kolaylık sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Josephson B D 1962 Possible new effects in superconductive tunnelling Phys. Lett. 1 251–3
[2] S. Selcik (Turhan), B. Akyel and P. Gutmann, "The 10V Fixed Frequency Josephson Junction Voltage Standard at UME", CPEM 1998 Conf. Digest, p. 556 - 557, June 1998.

[3] Hamilton C A, Burroughs C J and Kautz R L Josephson D/A converter with fundamental accuracy IEEE Trans. Instrum. Meas. 44 223–5, 1995
[4] Ahmadov, H. “An Oscillating Magnet Watt Balance”, 2016 Conference on Precision Electromagnetic Measurements, 09-19 July (2016), Ottawa, Canada
[5] İ.Ünal, M. Tekbaş, A. Kaya, T. Coşkun Öztürk, “Josephson Gerilim Standardı Sistemi İçin Milimetre Dalga Sentezleyici”, ELECO 2016, Bursa, Türkiye
[6] R. Behr and A. S. Katkov, “Final report on the key comparison EUROMET.BIPM.EM-K10.a: Comparison of Josephson array voltage standards by using a portable Josephson transfer standard”, Metrologia. vol. 42, Technical Supplement, 01005, 2005.
[7] S Turhan, N Kanatoğlu, R Orhan, M Arifovic, “Direct Comparison of DC Josephson Voltage Standard and Programmable Josephson Voltage Standard of TÜBİTAK UME”, CPEM 2018, Paris, France

ÖZGEÇMİŞ

Mehedin ARİFOVİÇ

1997 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Gerilim Laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Elektronik alanında yüksek lisans çalışmasını tamamlamıştır. Halen UME Gerilim Laboratuvarında laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır. Birincil seviyede elektriksel ölçümler, referans cihazlar yapımı ve ölçüm otomasyonu konularında çalışmaktadır.

Recep ORHAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında TÜBİTAK BİLGEM UEKAE’de araştırmacı olarak işe başlamış ve 10 ay çalışmıştır. Mobil Verici Yön Tespit Sistemi (MobDF) Projesi’nde yazılım geliştirme ve sistem testlerinin gerçekleştirilmesinde görev almıştır. 2014 yılında UEKAE’den ayrılarak TÜBİTAK UME Gerilim Laboratuvarı’nda Araştırmacı olarak işe başlamıştır. Gerilim cihazları kalibrasyonu, otomatik kalibrasyon programları geşiltirmenin yanı sıra Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı sisteminin kurulumunda yer almış ve kontrol programını yazmıştır. 2018 yılında Elektrodinamik Laboratuvarında göreve başlamış, Kibble Balans deneyine elektrik ölçüm sisteminin kurulumu, kontrol yazılımı ve analiz yazılımları ile katkıda bulunmuştur. İlgi alanları; kuantum gerilim standartları, işaret işleme ve ölçüm otomasyonudur. Üniversite giriş sınavında ilk yüz derecesi vardır.

Naylan KANATOĞLU

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1994 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Gerilim Laboratuvarında çalışmaya başlamıştır. Birincil seviyede elektriksel ölçümler, referans cihaz yapımı ve TS EN ISO/IEC 17025 standardı uygulamaları konularında çalışmaktadır.

Saliha TURHAN

1992 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Gerilim Laboratuvarında çalışmaya başladı. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını tamamlayarak Elektronik ve Haberleşme Yüksek Mühendisi unvanını aldı. 2007 yılından bu yana UME Kalite Yönetim Temsilcisi Yardımcılığı görevini de yürütmektedir. Birinci seviyede DC ve düşük frekans gerilim ölçüm sistemleri, kalibrasyonları ve belirsizlik hesaplamaları, laboratuvarlararası karşılaştırmalar ile TS EN ISO/IEC 17025 standardı uygulamaları konularında çalışmaktadır.

PROGRAMLANABİLİR JOSEPHSON GERİLİM STANDARDI KULLANILARAK GERİLİM ÖLÇER VE YARI-İLETKEN GERİLİM STANDARDI KALİBRASYONU

Tezgül COŞKUN ÖZTÜRK
Sarp ERTÜRK
Ali TANGEL
Mehedin ARİFOVİÇ

Özet

Bu çalışmada UME'de kurulan Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı gerilim ölçer ve yarı-iletken gerilim standardı kalibrasyonunda kullanılmıştır. Ölçümlerin kuantum durumunu araştırmak için kullanılan matematik ve geliştirilen yazılım araçları sunulmuştur. Ölçümlerin model fonksiyonları ölçüm devresindeki artık devre elemanlarını ve gürültüleri de kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Ölçümlerin belirsizliği model fonksiyonlar kullanılarak değerlendirilmiş ve belirsizlik bütçeleri ayrıntılarıyla verilmiştir. Bu çalışmalardan yararlanarak Programlanabilir Josephson ile yapılan kalibrasyonlar ile Geleneksel Josephson Standardıyla yapılan kalibrasyonlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gerilim, Josephson Gerilim Standartları, Statik Kazanç, Yarı-İletken Gerilim Standardı, Gerilim ölçer

ABSTRACT

In this study, the Programmable Josephson Voltage Standard established in UME is used for calibration of voltmeter and semiconductor voltage standard. Mathematical and developed software tools used to investigate the quantum state of the measurements are presented. The model functions of the measurements are created by covering stray circuit elements and noise in the measuring circuit. The uncertainty of the measurements is evaluated using model functions and detailed uncertainty budgets are given. Benefitting from the presented study Calibrations made by Programmable Josephson standards are compared with those made by Conventional Josephson Standards.

1. GİRİŞ

1962'de, Brain Josephson, cooper çiftlerinin iki süper iletken arasına yerleştirilmiş ince bir yalıtkan engelin içinden tünellendiğinde, kendine özgü davranışlarını eşitlik (1)'deki gibi öngörmüş [1] ve 1963'te Josephson'un teorisi kanıtlanmıştır [2], [3]. İlerleyen yıllarda gerilimin, frekansın ve fiziksel sabitlerin bir tamsayı çarpımı ile orantılı olduğu gerilim-frekans ilişkisini kanıtlayan birçok deney [4] yapılmıştır. Deneyler, denklemin birleşme yerinin geometrisinden ve malzemesinden, mikrodalga ve manyetik alanın gücünden bağımsız olduğunu göstermiştir [4]. Bu denklemde V_J, Şekil 1'de gösterilen Josephson Eklemi (JE) uygun dc ve ac akımlar ile sürüldüğünde (öngerilimlendiğinde) eklem üzerindeki gerilim düşümüdür. f, h ve e sırasıyla ; AC akımın frekansı, Plank ve elektron yükü sabitleridir ve n bir tam sayıdır. Böyle bir denklemin varlığı, frekans büyüklüğünün doğruluğu ve kararlılığında gerilim birliği vaat etmekteydi.

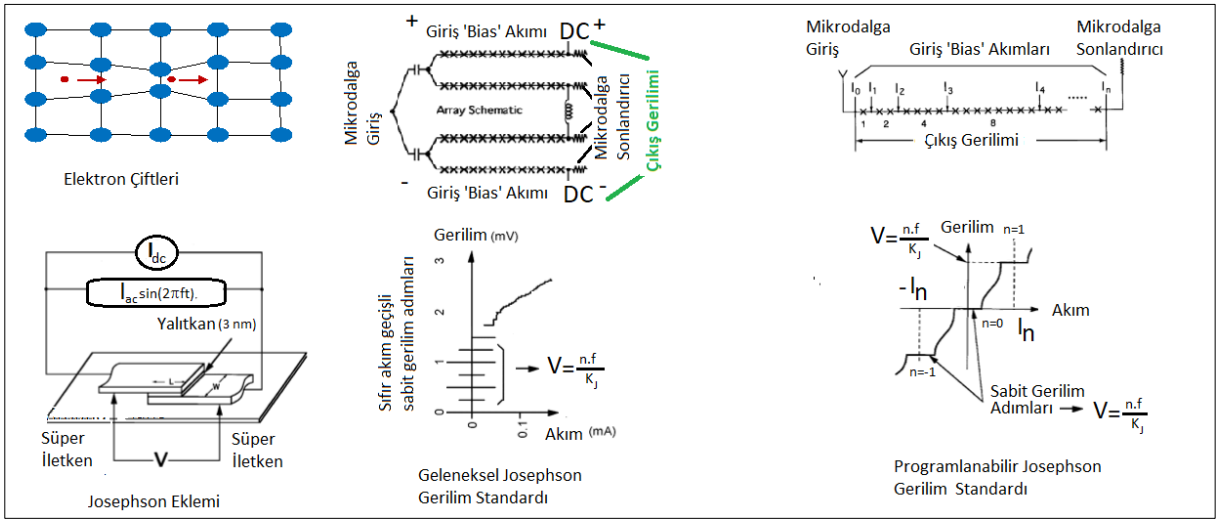
$$V_J = n.f.h/2e \quad (V) \qquad (1)$$

Bu denklemin kanıtı metrologları, Josephson sabiti (K_J) olarak bilinen 2e/h sabitini ölçmeye teşvik etmiştir. K_J'nin 20 Mayıs 2019 tarihine kadar kullanılan değeri, 1990'da 0,4 ppm belirsizliği olan bir karşılaştırmanın ardından kabul edilmiştir ve K_{J-90} ile belirtilmiştir [5], [6]. Bu mutlak belirsizliğine rağmen, K_{J-90} için sabit bir değerin kabul edilmesi, dünyadaki gerilim birliğini ilk önce tek Josephson Eklemleri (JE) ile 0,01 ppm seviyesine, seri bağlı JE dizileri ile 0,001 ppm seviyesine çıkarmıştır [7].

JE'lerini seri bağlamak, osilayonları sönümlenmemiş/zayıfça-sönümlenmiş kapasitif JE'lerinin kullanılmasıyla mümkün olmuştur. Bu tür eklemlerle, Şekil 1'deki dc akım sıfır iken eşitlik (1)'deki n'nin tam sayı katlarında (n = 0, ± 1, ± 2, ± 3, ⋯) gerilim adımlarını gözlemlemek mümkündür [8]. 1981'de, aynı elektriksel özelliklere sahip eklemlerin üretilememesi nedeniyle, bu sıfır akım geçişli gerilim adımlarına sahip eklemler (Şekil. 1, eklemin akım-gerilim eğrisi) Josephson Gerilim Standartları (JGS) teknolojisine olanak tanımış ve Geleneksel JGS (GJGS) olarak adlandırılmıştır. Dünya genelinde 50'den fazla GJGS kullanılmıştır [9]. Geleneksel JGS'nin doğal ancak istenmeyen iki etkisi vardır. Bunlar: 1) Farklı adımlar arasında hızlı bir şekilde değişiklik yapmak mümkün değildir ve 2) gürültü bazen adımları rastgele değiştirmektedir [7].

1995 yılında, Programlanabilir JGS (PJGS) olarak adlandırılan Şekil 1'deki eklemin dc akımı değiştirerek farklı gerilim adımları elde edilen kararlı başka bir JGS türü önerilmiştir [7]. Bu standartta, JE'lerinin osilasyonları sönümlenmiştir ve eşitlik (1)'deki n, 0 ya da ± 1 olabilmektedir. JE dizilerinin gruplanmasıyla ve DC akımının gruplanan bölümlerde bağımsız olarak kontrol edilebilmesiyle farklı kuantum gerilimleri üretilmiştir. 1995'te eklem üretiminde ve mikrodalga güç dağıtım teknolojilerindeki gelişmeler nedeniyle PJGS teknolojisi mümkün olmuştur [7].

Bu yeni standart, GJGS'nın istenmeyen ancak bu standardın doğal özelliği olan iki problemini çözmektedir. PJGS'nin bir kuantum adımından diğerine hızlı geçme yeteneği nedeniyle adım basamak yaklaşımıyla kuantum dalgalar da sentezlenebilmektedir.



Şekil 1. Cooper Çiftleri, Josephson Eklemi, Eklemin Önegrilimlenmesi, ve Akım-Gerilim Eğrileri [5][11]

20 Mayıs 2019 tarihi itibarıyla K_J sabitinin daha düşük belirsizlikle belirlenmiş yeni değeri kullanıma alınmıştır [10]. Bu değer bir dizi ölçüm sonucunda büyüklüğü belirlenen plank sabiti ve elektron yükünün değerleri kullanılarak elde edilmiştir [11]. Her enstitünün ölçebilme yeteneklerini gösteren CMC'lerdeki (Capability of Measurement Capacity) gerilim büyüklükleri bu değişimden etkilenmeyecektir çünkü, CMC'lerde nadiren K_J'nin mutlak değerinin kullanıldığı elektriksel ölçümler vardır [11].

2. SİSTEM BİLEŞENLERİ

PJGS'nin kalbi, aşırı sönümlenmiş JE'leri, çip üstü kapasiteler ve mikrodalga dağıtım mimarisinden oluşan Süper-iletken Tüm-Devredir (STD) [12]. Entegre devre Q-Wave ve QuADC [20] projelerindeki iş-birliği içinde PTB'den (Almanya Metroloji Enstitüsü) ödünç alınmıştır. Tümdevrede, süper iletken olarak Neobyum (Nb) kullanılmıştır. Nb'nin süper iletkenlik sıcaklığı 9.2 K'dır. 9.2 K'ın altındaki sıcaklık ortamı, bir Dewar'daki sıvı helyum tarafından sağlanmıştır. Dewar, bir dış vakum katman ve içi sıvı helyum olan bir diğer katman olmak üzere iç içe kaplardan oluşan sıcaklık yalıtımlı bir kaptır. Helyum gazının sıvılaştığı sıcaklık 4.2 K'dır.

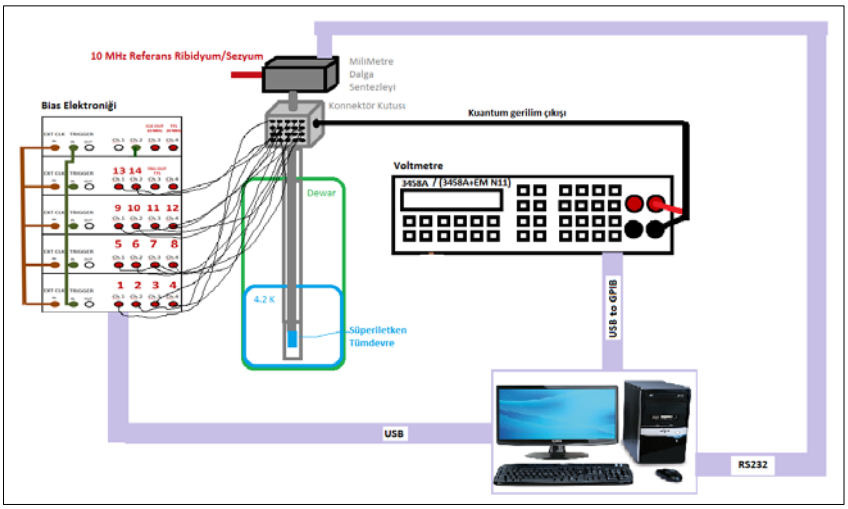
Şekil 2'de gösterilen bir taşıyıcı üzerindeki entegre devre, prop adı verilen bir aygıt ile sıvı helyum içine daldırılır. Bu prop [14]'de anlatıldığı gibi UME'de üretilmiştir. Probun görevi, STD'yi sıvı helyum içine batırmanın yanı sıra, Şekil 1'de gösterilen ac ve dc akımları STD'ye iletmektir. Süperiletkenliğin dış manyetik alanlardan etkilenmesini önlemek için, STD manyetik bir kalkan ile çevrelenmiştir.

Mikrodalga kaynak, Şekil 1'de gösterilen yüksek frekanslı ac işaretleri uygular. Adımların kararlı çalışması için STD antenine ulaşması gereken mikrodalga güç, yaklaşık 50 mW civarındadır. Mikrodalga kaynağının fazını kilitlemek ve böylece frekans doğruluğunu arttırmak için kararlılığı yüksek olan bir rubidyum veya sezyum osilatör kullanılır. Şekil 3'deki resimde görülen mikrodalga kaynak [14]'de anlatıldığı gibi TÜBİTAK bünyesinde üretilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen dc akım, her bir JE dizisi için ön-gerilimleme ('bias') elektroniği tarafından sağlanır.

Kullanılan STD'de 14 bağımsız JE dizisi vardır. Akım-elektroniği de 14 adet farklı kanala sahiptir. Her bir kanal, kısa dönem kararlılığı 30 µV/V olan gerilim üreteçleri ve her bir gerilim üretecine seri bağlı 50 Ω değerindeki dahili dirençlerden oluşur ve [14]'de ayrıntılarıyla anlatıldığı gibi kalibre edilir. Bu akım elektroniği içinde yer alan her bir kanala ayrılmış özel hafızalar kullanılarak, aynı anda herhangi bir şekle sahip olan işaretler üretilebilir. Her kanal 50 Ω yükte 12 V tepe tepe gerilimi sağlayabilmektedir. Elektroniğin yazılım aracılığıyla kontrolü, Şekil 2'de gösterildiği gibi optik olarak izole edilmiş bilgisayar bağlantısı üzerinden sağlanmaktadır. PJGS kontrol yazılımı, LabView uygulama geliştirme programı kullanılarak UME'de yazılmıştır. [14]'de yazılımın kullandığı formüller verilmiştir ve aynı zamanda STD ve akım-elektroniğinden oluşan devre üzerinden bu formüllerin nasıl elde edildiği anlatılmıştır.

Üretilen Josephson geriliminin kuantum adımda olup olmadığını kontrol eden 28 bitlik bir multimetre (gerilim ölçer) de sistemin bir parçası olarak kullanılır. Bilgisayardaki yazılım her bir kanalın gerilimini hesaplar ve hesaplanan gerilim bilgilerini DAC'lardan oluşan ön-gerilimleme (akım) elektroniğine yükler, multimetre ise ölçüm verilerini alır. Bilgisayar, akım-elektroniği ve multimetre arasındaki iletişim, uzun mesafeli bilgisayar iletişimi için üretilmiş olan optik 'hub'lar kullanılarak gerçekleştirilir. Sistem Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kurulan Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı Sistemi

3. GERİLİM ÖLÇER KARAKTERİZASYONU

Ölçümlerin alınmasının ilk adımı PJGS sistemini hazırlamaktır. Hazırlık işlemleri ayrıntılarıyla [14]'de verilmiştir ve 'bias' elektroniğinin kalibrasyonu, çipin soğutulması, her soğutmaya özgü olabilen uygun mikrodalga frekans ve gücün bulunması, bulunan optimum mikrodalga frekansına ve gücüne bağlı olarak değişen her bir eklem grubunun (segmentin) ön-gerilimleme ('bias') akımlarının bulunması ve bu akımların yazılıma girilmesinden oluşmaktadır. Bu akımlar, her bir eklem dizisi için, Şekil 1'de gösterilen I-V eğrilerindeki gerilim adımlarının akım eksenindeki orta noktalarıdır ve 'I_{n_ideal}' sembolü ile bu bildiride gösterilmiştir. Bu işlemlerden sonra sistem, kullanıma hazırdır.

3.1. Kuantum Gerilim Adımlarının Kontrolü

PJGS sistemi bazen, STD üzerindeki manyetik akı tuzaklanmaları nedeniyle, kuantum gerilim adımlarını üretememektedir. PJGS ile üretilen tüm gerilim adımlarının kuantum doğrulukta olup olmadığı, sistemdeki gerilim ölçer kullanılarak kontrol edilebilir. Bu kontrol esnasında, gerilim ölçer de ayrıca kalibre edilmiş olur. Bu kontrol yazılım tarafından otomatik olarak aşağıdaki şekilde yapılır:
Gerilim ölçerin entegrasyon süresi 20 NPLC (Number of Power Line Cycles, Güç Hattının Periyot Sayısı) olarak seçilmiştir. Başka bir deyişle entegrasyon süresi 400 ms'dir. Şekil 3-a'da soldaki grafik, PJGS tarafından uygulanan ve gerilim ölçer tarafından ölçülen 64 adımlı üçgen bir dalgayı örnek sayısına bağlı olarak göstermektedir. Şekil 3 a)'da sağdaki grafik ise gerilim ölçerin ölçümlerine karşı '$I_{segtrim}$' akımlarını göstermektedir. Bir segmente uygulanan bias akımının, I_{n_ideal} akımlarından farkı $I_{segtrim}$ olarak belirtilmiştir. Birçok makalede [15], bu fark akımı "trimcurrent", bazı makalelerde 'dithering' akımı olarak adlandırılmaktadır. $I_{segtrim}$ akımlarındaki değişime karşı gerilim ölçerin değeri değişmiyorsa PJGS istendiği gibi kuantum durumunda çalışıyor demektir.

Hazırlanan yazılım ($I_{segtrim}$) akımlarını değiştirmek için iki ek parametreye sahiptir. Bu parametreler akımların yinelenme sayısı ($yineleme\ sayısı$) ve akım adımıdır ($I_{yineleme_adımı}$). V_n gerilimleri, her bir JE'leri dizisine, bağlı olduğu her bir gerilim üreteci tarafından uygulanan gerilimdir. Yeni I_{n_ideal} akımları Denklem 2 kullanılarak yeniden hesaplanır:

$$I_{n_ideal_{yeni}} = I_{n_ideal} - \left(\frac{yineleme\ sayısı}{2} . I_{yineleme_adımı}\right) \quad (2)$$

Gerilim ölçerin ölçümleri ($V_{gerilim\ ölçer}$) kullanılarak o anlık $I_{segtrim}$ akımları Denklem 3 ile hesaplanır. R_n, [14]'de anlatıldığı gibi ölçülen, n. gerilim üretecinin iç direncidir. Burada n en yüksek potansiyelli kanalın numarasıdır ve bu çalışmadaki değeri, [14]'de verilen STD ve bias elektroniği bağlantısı için 14'tür.

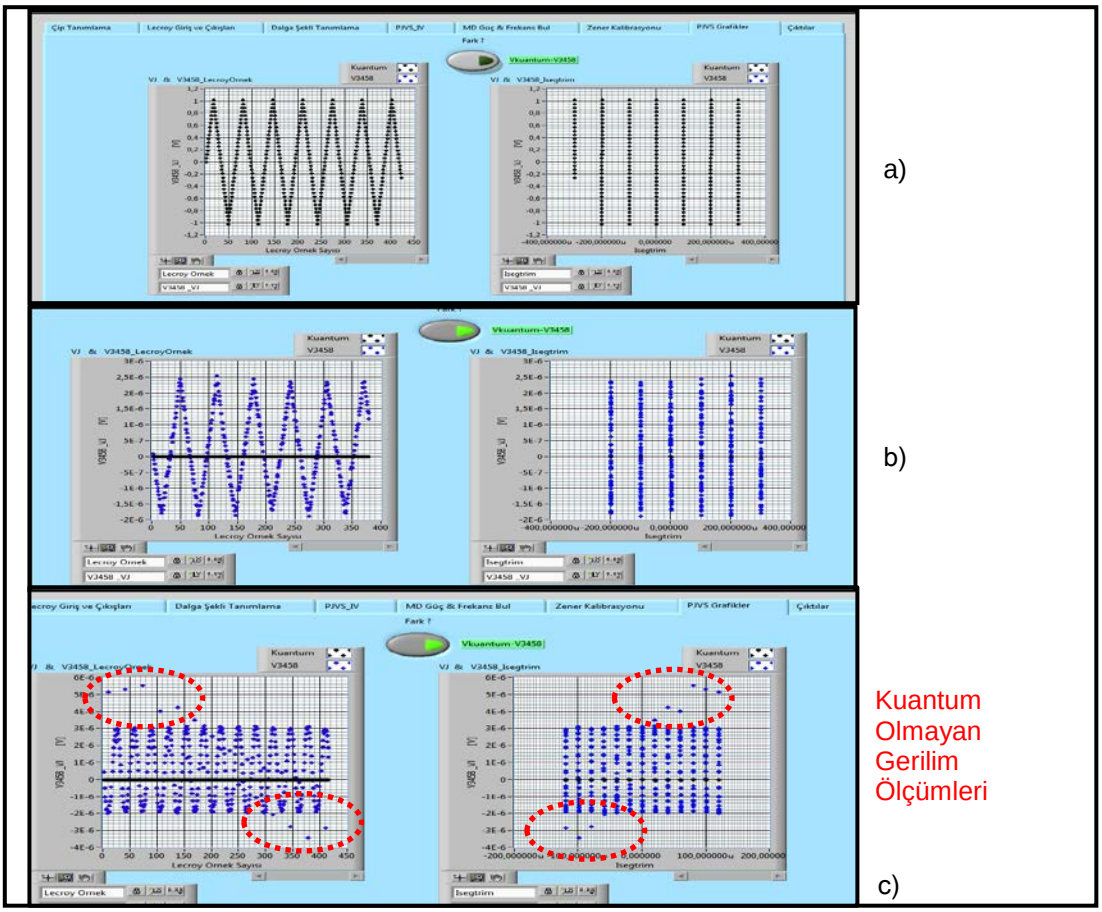
$$I_{segtrim} = \frac{V_n - V_{gerilim\ ölçer}}{R_n} - I_{n_ideal} \quad (3)$$

Gerilim ölçer lineer davranıyorsa ve PJGS kuantum gerilimi uyguluyorsa, gerilim ölçer ile üretilen kuantum adımlar arasındaki fark işareti ($V_{kuantum}$-V_{3458}), Şekil 3 b)'deki gibi uygulanan işaretin zarfını izlemelidir. Ek olarak, $I_{segtrim}$ diyagramında ölçülen bir periyoda ait $I_{segtrim}$ akımları arasındaki fark, μA'dan küçük olmalıdır. Başka bir deyişle, tüm ölçüm sonuçları önceden belirlenmiş eğilimler içinde olmalıdır.

Bu fark işaretini incelemek için, yazılımda fark düğmesine basıldığında Şekil 3-b) ve c) ile gösterilen ölçüm desenleri gözlenir. Şekil 3. b)'deki desen PJGS'nin beklendiği gibi kuantum gerilimlerini ürettiğini gösterir. Bununla birlikte, Şekil 3 c) 'deki bazı adımların kuantum olmadığı görülmektedir. Yazılımın bu arayüzü ile, daha ölçüm esnasında STD üzerinde, hatalı ölçümlerin alınmasına sebep olacak herhangi bir manyetik akının takılıp takılmadığını gözlemlemek mümkündür.

Şekil 4 'te, her periyod için, kuantum gerilim adımlarına karşılık gerilim ölçer ölçümleri arasında uydurulan doğrusal eğrilerin eğimleri (başka bir deyişle voltmetre kazancı), değişken $I_{segtrim}$ akımları ve dalga formları için verilmiştir. Değişen $I_{segtrim}$ ve kazanç arasında korelasyonun olmaması, PJGS sisteminin beklendiği gibi kuantum seviyede çalıştığını gösterir. Her periyot için farklı $I_{segtrims}$'e bağlı olarak elde edilen kazanç ölçümü, Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'te gösterilen R^2 parametresi

korelasyon ölçümüdür. Eğer korelasyon güçlü ise, R^2, 1'e eşittir. $I_{segtrim}$ akımları ve kazanç arasındaki korelasyonun varlığı, Denklem 4 kullanılarak hipotez testi ile test edilebilir. Bu denklemde t_{meas} ölçülen t dağılımı ve $t_{12;0,05}$; t dağılım tablosundan 0.05 katsayısı, yani % 95 olasılıklı 12 ölçüm sayısı (N) içindir.



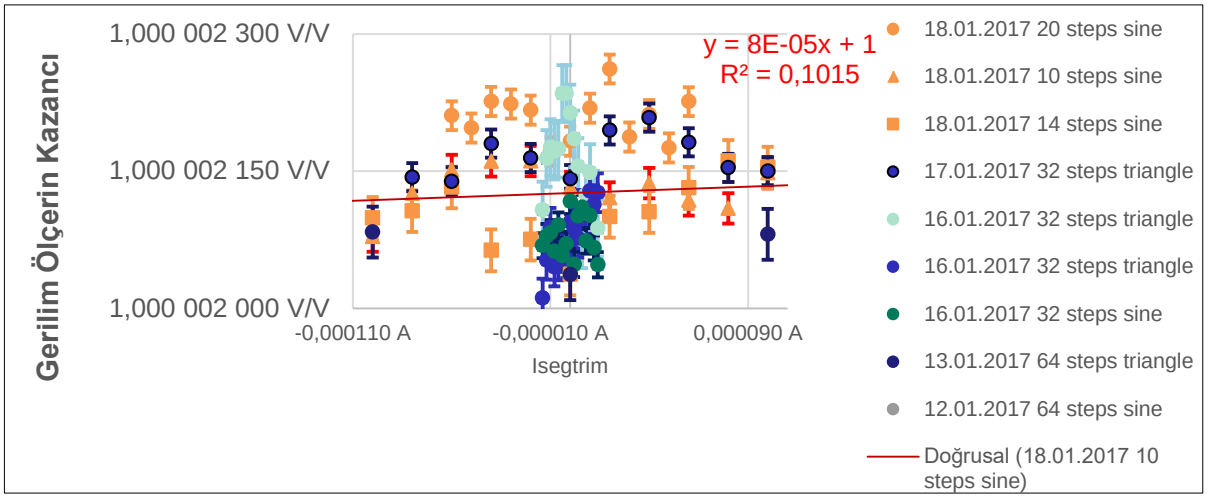
Şekil 3. Gerilim Adımlarının Kuantum Durumunu Ölçüm Esnasında Değerlendirmek İçin Hazırlanan Yazılımın Ara-yüzü

$$t_{meas}=\frac{R}{\sqrt{\frac{1-R^2}{N-2}}}=\frac{\sqrt{0,1015}}{\sqrt{\frac{1-0,1015}{12-2}}}\cong 1<t_{12;0,05}=1.771 \quad (4)$$

Sonuç olarak, Şekil 4'te ölçülen eğimin etkisi ihmal edilebilir düzeydedir ve ölçülen kazanç kararsızlığı, gerilim ölçerden kaynaklanmaktadır. Gerilim ölçer kazancının Şekil 4'te verilen ölçümlerdeki A tipi belirsizliği en çok 35 (nV / V) / (V / V) (% 95'in kapsama faktörü) belirlenmiştir.

3.2. Ölçüm Prosedürüne Bağlı Ölçümün Model Fonksiyonunun Elde Edilmesi ve Ölçüm Belirsizliğinin Değerlendirilmesi

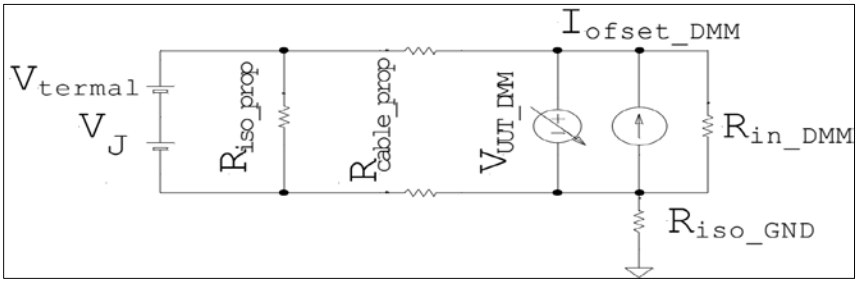
Ölçüm düzeneğinden kaynaklanan belirsizlikleri daha iyi tahmin edebilmek için, ölçüm devresindeki bütün artık devre elemanlarını içeren ölçümün elektrik devresi Şekil 5'da ve [16]'da verilmiştir. Şekil 5'daki devre elemanları için kullanılan semboller Tablo 1'de özetlenmiştir. Devre analizi teoremlerini kullanarak gerilim ölçerin terminallerine uygulanan gerilimin, Denklem 5'teki gibi devre elemanlarına bağlı olduğu bulunmuştur. Denklem 5'te ε_{DMM} voltmetrenin gürültüsüdür.



Şekil 4. Farklı I_{segrim} Ayarlarına ve Gerilim Dalgalarına Bağlı Ölçülen Kazanç

Şekil 5'de gösterilen V_{termal} gerilimi en çok 300 nV büyüklüğündedir ve 4.2 K sıcaklığındaki sıvı helyum ile 300 K sıcaklığındaki oda ortamı arasındaki büyük sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır. Farklı metaller bağlandığında meydana gelen See-back etkisi, bu kadar büyük bir gerilim farkının sebebidir. Bu etki, bütün JE eklemleri, Eşitlik (1)'deki n=0 adımına ön-gerilimlendiği durumda ölçüm devresinin ofsetini ölçerek ortadan kaldırılır. Gerçek sonuç, her zaman biri ofset ölçümü olan iki ölçüm arasındaki farktır. Ardışık iki ölçümün arasındaki zaman ne kadar kısa olursa V_{termal} ve I_{ofset_DMM} hata kaynakları o kadar başarılı bir şekilde ölçüm sonucundan bertaraf edilir.

Denklem 6, ölçülen V_{UUT_i} değeri ve V_{UUT_DMM} uygulanan değeri arasındaki fark olan gerilim ölçer hatasını temel alan ölçümün model fonksiyonudur. Burada $V_{UUT_i_0}$, V_J 0 V iken, gerilim ölçer ile alınan ofset ölçümdür. Denklem 6'da verilen $m_{Isegtrim}$, $I_{segtrim}$ bağımlılığının varlığını tanımlayan eğimdir. Eğer korelasyon Denklem 4'teki gibi test edilirse ve test yanlışsa, $m_{Isegtrim}$ '0'a eşittir. Denklem 6'da verilen $\delta V_{thermal}$ ve δI_{offset}, termal gerilimlerin ve multimetrenin ofset akımlarının V_J = 0 ayarlı durumdayken alınan ofset ölçümü ile ölçümün yapıldığı kuantum gerilimi arasındaki değişimlerini temsil etmektedir. Ardışık iki ölçüm arasındaki sürenin kısa olması, ölçüm belirsizliğini düşürmektedir. Denklem 6'da görüldüğü gibi, gerilim ölçerin hatası, gerilim ölçerin ve termal gerilimlerin kısa süreli kararlılığından ve prop'in seri R_{cable_prop} direncine bağlı olarak gerilim ölçerin giriş direncinden etkilenmektedir. Denklem 6, gerilim ölçerin herhangi bir ölçüm noktasında JGS ile kalibrasyonunun model fonksiyonudur. Bu model fonksiyon kullanılarak 1.018 V anma değerinde gerçekleştirilen kalibrasyona ait belirsizlik bütçesi Tablo 2'de verilmiştir. Bu model fonksiyondan da görüleceği gibi [16]'deki K_{J-90} sembolü yerine, sadece K_J sembolü 20 Mayıs 2019 tarihi itibarıyla kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil.5 Josephson Gerilim Standartlarıyla Gerilim Ölçer (DMM) Kalibrasyonunun Elektrik Devre Şeması

Tablo.1 Bu Bildirideki Model Fonksiyonlarda ve Devre Şemalarında Kullanılan Semboller ve Açıklamaları

Josephson Sabiti	K_J
n±1 durumundaki eklem sayısı	N
Shapiro adımı: 0,1, -1	n
Josephson Gerilimi	
Mikrodalga Frekansı	f
Gerilim ölçer ile ölçülen fark	V_{diff}
30 s süresince ısıl gerilim değişimi/farkı	δV_{termal}
30 s süresince gerilim ölçerin ofset akımları değişimi/farkı	δI_{ofset}
Voltmetrenin Giriş Direnci	R_{in_DMM}
Voltmetreyi bağlamak için kullanılan kablonun izolasyon direnci	$R_{iso_DMM_cable}$
Prop boyunca kablo direnci	R_{cable_prop}
Gerilim ölçer (DMM) girişlerine uygulanan gerilim	V_{UUT_DMM}
Gerilim ölçer (DMM) ile ölçülen gerilim	V_{UUT_i}
Gerilim ölçer (DMM) ile V_J=0 (başka bir değişle n=0) iken ölçülen gerilim	V_{UUT_0}
Gerilim ölçerin hatası	ΔE
Yarı-iletken gerilim standardının giriş direnci	R_{in_UUT}
Yarıiletken gerilim standardının gürültüsü	ε_{zener}
Sayısal voltmetrenin gürültüsü (0.25 Hz'lik bant genişliğinde)	ε_{DVM}
Her bir Josephson eklemleri gurubu akımının I_{n_ideal} akımlarından farkı	$I_{segtrim}$
Ölçüm sonuçlarının $I_{segtrim}$ bağımlılığı	$m_{Isegtrim}$
Yarı iletken gerilim standardının, ölçüm sonucu/ gerçek değeri	V_{UUT}

$$V_{UUT_{DMM}} = V_J \frac{R_{in_{DMM}}}{R_{cable_{prop}}+R_{in_{DMM}}} + V_{thermal} \frac{R_{in_{DMM}}}{R_{cable_{prop}}+R_{in_{DMM}}} + I_{offset} \frac{R_{in_{DMM}} R_{cable_{prop}}}{R_{cable_{prop}}+R_{in_{DMM}}} + \varepsilon_{DMM} \quad (5)$$

$$\Delta E = V_{UUT_i} - V_{UUT_{i_0}} - \left\{ V_J \frac{R_{in_{DMM}}}{R_{cable_{prop}}+R_{in_{DMM}}} + \delta V_{thermal} \frac{R_{in_{DMM}}}{R_{cable_{prop}}+R_{in_{DMM}}} + \delta I_{offset} \frac{R_{in_{DMM}} R_{cable_{prop}}}{R_{cable_{prop}}+R_{in_{DMM}}} + m_{Isegtrim}.I_{segtrim} \right\}$$

$$; \; V_J = \frac{f \times N \times n}{K_J} \quad (6)$$

3.3 Yazılım Kontrolünde Gerilim Ölçerin Kazancı ve Toplam Doğrusalsızlık Hatasının Belirlenmesi

Gerilim ölçerin girişine uygulanan $V_{UUT_{DMM}}[k]$ gerilimlerine karşı gösterdiği $V_{UUT_i}[k]$ gerilimleri arasında Denklem 7 deki gibi doğrusal bir ilişkinin olması beklenir. ADC/Gerilim ölçerin karakterizasyonu, doğrusal ilişkinin eğimini başka bir deyiş ile gerilim ölçerin kazancının (m'in) bulunmasıdır. Gerilim ölçerin kazancını bulmak için PJGS sistemi farklı şekillere sahip adım-basamak yaklaşımlı gerilim dalgaları üretecek şekilde programlanmıştır. Ardışık olarak bu gerilim adımları PJGS sisteminden uygulanmış ve gerilim ölçer ile bir ölçüm alınmıştır.

Denkelm 7'deki 'k', bir periyotluk dalgadaki k. adımdır. m, gerilim ölçerin kazancı ve n uydurulan eğrinin ofsetidir. Yazım kolaylığı için $V_{UUT_{DMM}}=V_R$ ve $V_{UUT_i}=V_i$ gösterelim. Denklem 8, en küçük karesel hata yönetemi kullanılarak bulunan kazancın tanımıdır. Denklem 10'da ölçülen kazançın devre parametrelerine bağımlılığı verilmiştir. Eşitlik 10'daki $\delta V_{thermal}$, Eşitlik 6'dakinden farklı olarak ortalama V_{termal} geriliminden farkı temsil etmektedir.

$$V_{UUT_i}[k] = m.V_{UUT_{DMM}}[k] + n \quad (7)$$

$$m = \frac{\sum_{n=1}^{N} (V_R[k]-\overline{V_R})^2.(V_i[k]-\overline{V_i})^2}{\sum_{n=1}^{N} (V_R[k]-\overline{V_R})^2} \quad (8)$$

$$V_R[k]-\overline{V_R} = K.V_J[k] + K.\overline{V_J} + K.\delta V_{thermal} + K.\delta I_{offset}.R_{cable_prop} \quad ; \quad K = \frac{R_{in_DMM}}{R_{in_DMM}+R_{cable_prop}} \cong 1 \quad (9)$$

$$m = \frac{\cancel{K} \sum_{n=1}^{N} (V_J[k]-\overline{V_J}+\delta V_{thermal}+\delta I_{Offset}.R_{cable_prop})^2.(V_i[k]-\overline{V_i})^2}{\cancel{K^2} \sum_{n=1}^{N} (V_J[k]-\overline{V_J}+\delta V_{thermal}+\delta I_{Offset}.R_{cable_prop})^2} \quad (10)$$

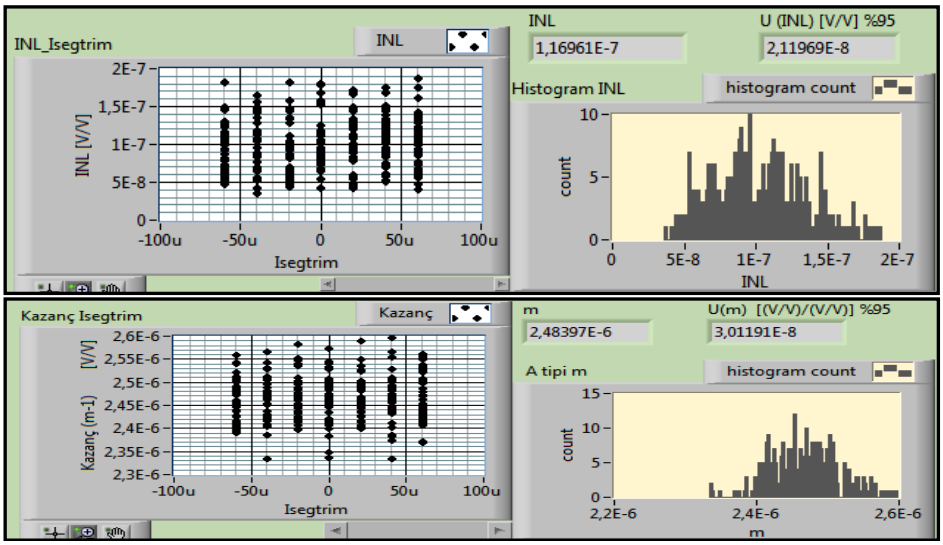
Tablo 2. Gerilim ölçer kalibrasyonu için belirsizlik bütçesi

Model Fonksiyonundaki Sembolü	Tahmini Değeri (Xi)	Standart Belirsizlik u(Xi)	Olasılık Dağılım Fonksiyonu	Duyarlılık Katsayısı	Belirsizlik Katkısı u(yi)
K_J	483597,848417 GHz/V				
N	7034				
n	1				
f	70,00000000 GHz	< 0,000000010 GHz	Normal	0,014545143 V/GHz	< 0,1 nV
V_J	1,01816003 V	< 0,1 nV	Normal	-1,00 Ω/Ω	< 0,1 nV
V_{UUT_i}- V_{UUT_0}	1,01815992 V	< 10,0 nV	Normal	1	< 10,0 nV
δV_{termal}	0,00000000 V	< 0,6 nV	Dikdörtgen	-1,00 Ω/Ω	< 0,6 nV
δI_{ofset}	0,00000 A	< 0,03000 nA	Dikdörtgen	~ 4 Ω	< 0,1 nV
R_{in_DMM}	$\sim\infty\Omega$	> 10 GΩ	Dikdörtgen	0,00 V/V	< 0,0 nV
ε_{DVM}	**0 nV**	**< 2,0 nV**	Dikdörtgen		**< 2,0 nV**
R_{cable_prop}	0 W	< 4 Ω	Dikdörtgen	0,02 nV/ Ω	< 0,1 nV
$I_{segtrim}$	0,00000 nA	< 120,0 µA	Dikdörtgen	0,000007 V/A	< 0,0 nV
$m_{Isegtrim}$	0,00000 (V/V)/A	0,00001 (V/V)/A	Dikdörtgen	0,00012 A	< 0,0 nV
ΔE	**-0,000000110 V**	Birleşik standart belirsizlik (1 σ)			< 10,2 nV
		Genişletilmiş Belirsizlik			< 20 nV
		Genişletilmiş Bağıl Belirsizlik			< 20 nV/V

Gerilim ölçerin kazancı, bir periyot için alınan ölçümlerle kuantum ölçümler arasında uydurulan eğrinin eğiminden elde edilir. Bir periyoddaki kuantum adımlarının sayısı daha az olursa, örnekler arasındaki kısa süre nedeniyle $\delta V_{thermal}$ ve δI_{offset}, büyüklükleri sıfıra yaklaşır. Bir periyottaki adım sayısı değiştirilmiş ve kazanç tahmini için 4, 8, 10, 20, 32 ,64 ve 100 örnekli kuantum dalgalar kullanılmıştır. A tipi belirsizlik, 4-20 örnekli dalağalar için, 100 örnekliye göre daha küçüktür.

İntegral alma prensibi ile çalışan bir ADC'ye sahip olan gerilim ölçerin kazancı; 64 adım, 32 adım, 20 adım, 10 adım ve 8 adım sinüs ve üçgen dalga formlarıyla karakterize edilmiştir. Gerilim ölçerin kazancı, kuantum dalgaların adım sayısından ve dalga şeklinden, Şekil 4'de görüldüğü gibi bağımsızdır.

Bir ADC'nin Toplam Doğrusalsızlık Hatası (INL, Integral NonLinearity), ADC ile ölçülen gerilimler ile uygulanan gerilimler arasında uydurulan doğrusal eğriden en büyük sapma olarak tanımlanır ve belirlenen en büyük hatanın gerilim ölçerin kullanılan ölçüm bölgesine bölümü olarak beyan edilir. PJGS ve gerilim ölçer bilgisayar kontrolünde çalıştırılmış ve ardışık olarak 100 periyodun üzerindeki kuantum dalgalarla gerilim ölçerin kazancı ve INL hatası belirlenmiştir. Her bir periyot için, kazanç ve INL hataları Şekil 7'de gösterildiği gibi bir istatistik dağılıma sahiptir. Yine yazılım kontrolünde bu dağılımın A tipi belirsizliği ve ölçüm sonucu belirlenmektedir. 1 V ölçüm aralığında gerilim ölçerin INL hatası (<0,12 ppm) olarak belirlenmiştir. Bu ölçüm sonucu aynı model gerilim ölçerin 10 V ölçüm bölgesi için [4]'de GJGS kullanılarak belirlenen (<0,12 ppm) INL hatası dahilindedir. Geliştirilen yazılım kontrolünde PJGS ile hızlı yapılan bu ölçümler $\delta V_{thermal}$ ve δI_{offset}, hata kaynaklarından kaynaklanan belirsizlikleri azaltmıştır.

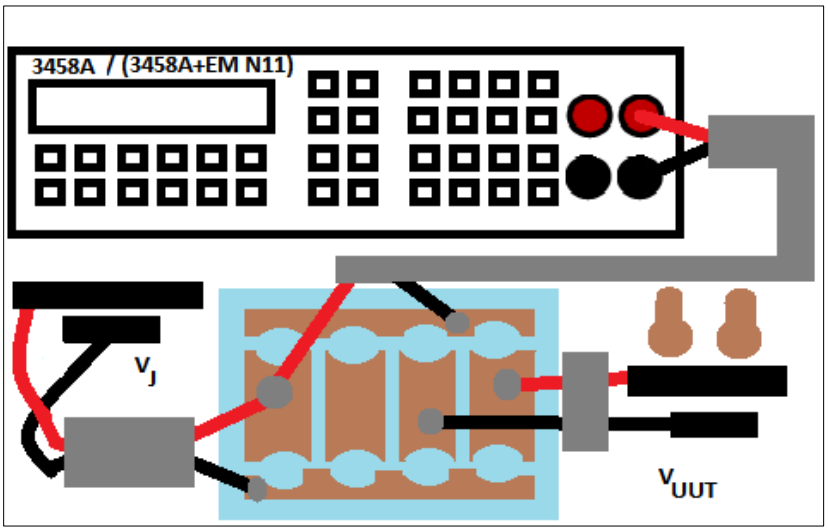


Şekil.7. Gerilim ölçerin statik kazancı ve ölçülen kazancın ve INL'nin ölçüm anındaki histogramları

4. YARI-İLETKEN GERİLİM STANDARDI KALİBRASYONU

TÜBİTAK UME'de Yarı-İletken Gerilim Standartları Geleneksel JGS standartlarına izlenebilirdir. Kurulan PJGS ile Geleneksel JGS [16]'de yarı-iletken gerilim standartları aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Bu bildiride bu karşılaştırmaya ait daha ayrıntılı belirsizlik bütçesinin verilmesi hedeflenmiştir. Ölçüm belirsizliğini etkileyen önemli bileşenler ve bu bileşenlerin belirlenmesine değinilmiştir.

İki gerilim kaynağı termal blok aracılığıyla Şekil 8'deki gibi birbirine bağlanmıştır. Termal blok Şekil 8'de kahve renkli olarak gösterilmiştir, bakır külçeden yapılmıştır ve bir anahtar görevini görmektedir. Bakırın tercih edilmesinin sebebi sıcaklık iletkenliğinin yüksek olmasıdır. Kütlesinin büyük olmasının nedeni ise ani sıcaklık değişimlerine engel olmaktır. Bakır külçelerden yapılmış silindirler aracılığıyla termal blok üzerinde, V_{UUT} sembolüyle gösterilen yarı iletken gerilim standardı terslenmektedir. V_j sembolü ile gösterilen kuantum geriliminin terslenmesi ise I_{n_ideal} akımları yazılım kontrolünde değiştirilerek gerçekleştirilmektedir.



Şekil 8. Ölçümün bağlantı şeması

Bu ölçüm için voltmetrenin entegrasyon süresi 20 NPLC olarak ayarlanmıştır. PJGS ile 20 örnekli simetrik kare dalga üretilmiştir. Kare dalganın, genliği yarı iletken gerilim standardının son kalibrasyon değerine kuantalanmıştır. Bunda amaç, iki gerilim standardı arasındaki fark gerilimini minimuma indirerek, voltmetre kazancını belirleme belirsizliğinin toplam ölçüm belirsizliğine olan etkisini küçültmektir. İki standardın düşük potansiyelleri (siyah kablolar) blok üzerinde silindirlerden biriyle kısa devre edilmektedir. Diğer silindir ise V_{UUT}'in yüksek potansiyeli ile voltmetrenin düşük potansiyelini kısa devre etmek için kullanılmıştır. 10 ölçümden sonra program, mesajla tersleme uyarısında bulunmaktadır. Bu mesajdan sonra operatör, silindirlerin yerini V_{UUT}'i tersleyecek şekilde değiştirerek tersleme işlemini gerçekleştirmelidir. Terslemenin amacı ısıl gerilimleri ve fark ölçer olarak kullanılan voltmetrenin ofsetlerini ölçüm sonuçlarından bertaraf etmektir. Bu işlem Eşitlik (11) - Eşitlik (13)'de ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

20 örnekli simetrik kare dalganın ilk 10 örneği için (11) Eşitliği geçerli iken sonraki 10 örnek için ise (12) Eşitliği geçerlidir. Ancak ofsetlerden ve termal gerilimlerden arınmış gerçek sonuç, Eşitlik (13) ile bulunmaktadır. Bu eşitliklerde V_{DVM}^{+} ve V_{DVM}^{-} fark ölçerin göstergesinde okunan değerleridir ve bu iki standardın arasındaki gerçek farkın (V_{fark}) yanı sıra termal gerilimleri (V_{termal}) ve fark ölçerin ofset akımları nedeniyle oluşan V_{ofset} gerilimlerini de içermektedir. İki ölçümdeki V_{termal} ve V_{ofset} gerilimlerinin birbirine eşit olması beklenir, ancak iki ölçüm arasındaki ısıl gerilim ve ofset gerilimi kaymalarını da ölçüm fonksiyonunda değerlendirebilmek için (13) numaralı eşitlikte δV_{ofset}, δV_{termal} büyüklükleri öngörülmüştür. Simetrik kare dalganın pozitif potansiyelden negatif potansiyele hızlıca geçişi ve böylelikle terslemenin hızlı gerçekleştirilmesi ölçümün, ofset (δV_{offset}) ve termal gerilimlerinin (δV_{termal}) kaymalarından etkilenmemesi açısından Geleneksel Josephson Sistemine göre daha üstündür.

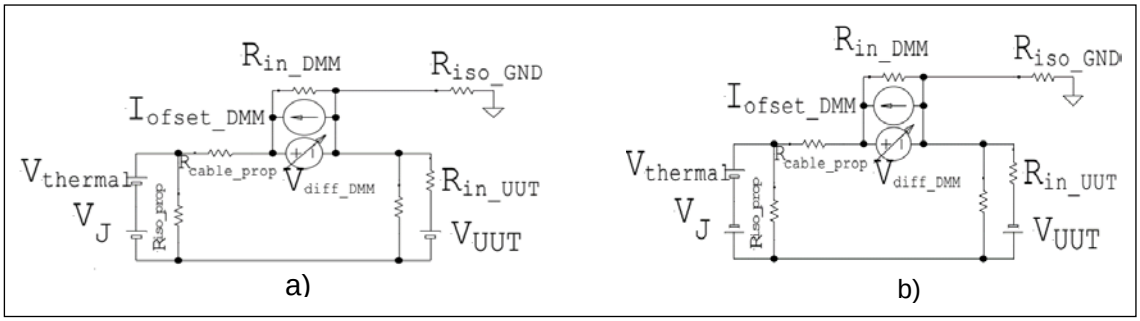
$$V_{UUT}^{+} = V_J^{+} - V_{DVM}^{+} = V_J^{+} - V_{fark} - V_{termal} - V_{ofset} \quad (11)$$

$$V_{UUT}^{-} = V_J^{-} - V_{DVM}^{-} = V_J^{-} + V_{fark} - V_{termal} - V_{ofset} \quad (12)$$

$$V_{UUT} = \frac{V_{UUT}^{+} - V_{UUT}^{-}}{2} = \frac{V_J^{+} - V_J^{-} - 2\times V_{fark} + \delta V_{termal} + \delta V_{ofset}}{2} \;;$$

$V_J^{+} = -V_J^{-}$; δV_{termal}, δV_{offset}: İki ölçüm arasındaki kaymalar (13)

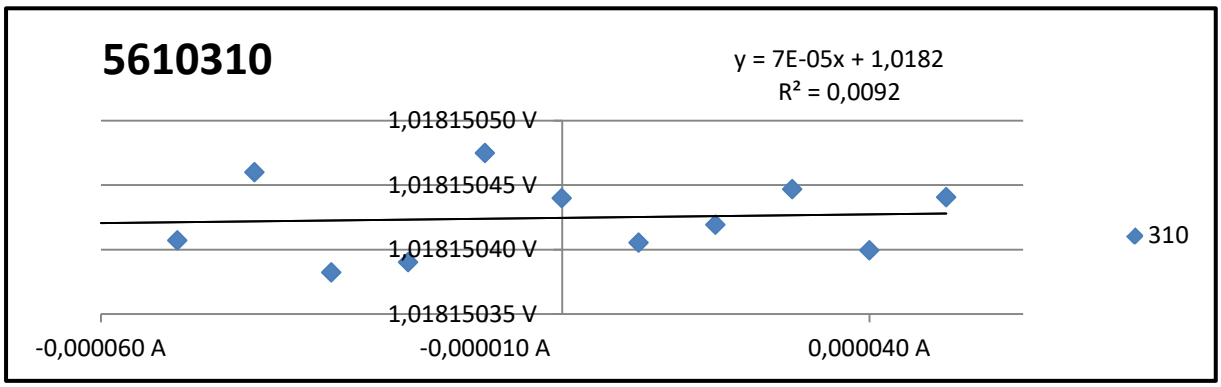
Ölçüm devresindeki diğer artık devre elamanlarının belirsizliğe etkisini daha iyi değerlendirmek için, bu ölçüme ait elektrik devre şeması [16]'daki gibi Şekil 9'da verilmiştir. Bu devrenin analizi [4]'de listelenen belirsizlik bileşenleri ve aralarındaki bağlantıları değerlendirebilmek için gereklidir. (11)-(13) de verilen eşitlikler, Şekil 9'da verilen artık parametrelerin olmadığı durumda geçerlidir. Şekil 9'da verilen iki devredeki devre elemanlarını kullanarak yukarıda verilen 11 ve 12 eşitlikleri yeniden değerlendirildiğinde (13) yerine (14) eşitliği elde edilmektedir.



Şekil 9. Yarı-iletken Gerilim Standardı ile JGS kalibrasyonuna ait elektrik devresi

[4]'de verilen belirsizlikler GJGS'nın kullanıldığı durum için geçerlidir. Ancak PJGS kullanıldığında, bu bileşenlere ilaveten, ölçüm sonucunun $I_{segtrim}$ bağımlılığı da değerlendirilmelidir. Bu nedenle akım bağımlılığı parametresi $I_{segtrim}$ değiştirilerek kalibrasyonlar tekrarlanmalı ve Şekil 10'deki gibi ölçümler alınmalıdır. Şekil 10'da özetlenen ölçüm sonuçları Eşitlik (4) 'deki gibi test edilmelidir. $I_{segtrim}$ bağımlılığının yanı sıra, yarı iletken gerilim standardının ve fark ölçerin gürültülerini de dahil ederek daha kapsamlı bir model fonksiyon (14)'deki gibi oluşturulmuştur. Bu model fonksyon kullanılarak Belirsizlik bütçesi Tablo 3'deki değerlendirilmiştir. Bu bildiride (14) eşitliği ile verilen model fonksiyonun

[16]'da verilenden farkı Josephson Sabitinin gösterimidir. Tablo 3'de verilen Yarı-iletken Gerilim Standardı Kalibrasyonu için Belirsizlik Bütçesi'nde Josephson sabiti güncellenmiştir.

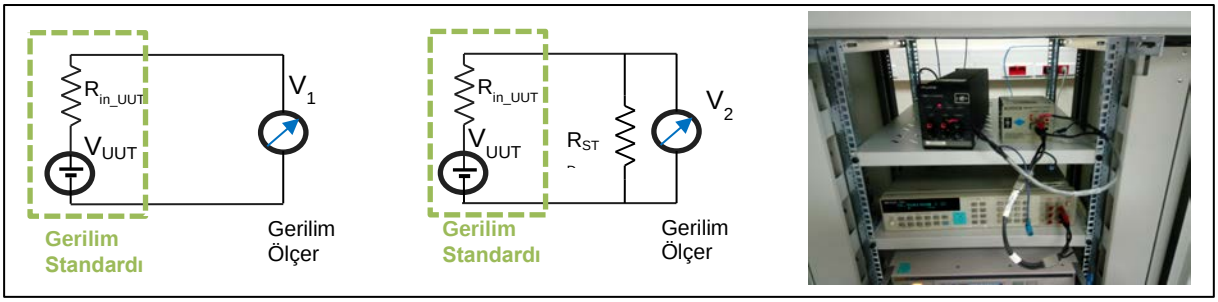


Şekil 10. Yarı-İletken Gerilim Standardı Ölçümünün $I_{segtrim}$ Bağımlılığı

$$V_{UUT} = \frac{V_{UUT}^{+} - V_{UUT}^{-}}{2} = \left\{\frac{n.N.f}{K_J} + \delta V_{termal}\right\}.\frac{R_{in_{DMM}} + R_{in_{UUT}}}{R_{in_{DMM}} + R_{in_{UUT}} + R_{cable_{prop}}} +$$

$$\left(-V_{diff} + \varepsilon_{DVM}\right)\frac{R_{in_{DMM}}}{R_{in_{DMM}} + R_{in_{UUT}}} + \delta I_{offset}.\left(R_{cable_{prop}} + R_{in_{UUT}}\right) + \varepsilon_{zener} + m_{I_{segtrim}}.I_{segtrim} \qquad (14)$$

Şekil 9'da, R_{in_UUT} sembolü ile gösterilen devre elemanı kalibre edilen yarı iletken gerilim standardının iç direncidir. Yarı iletken gerilim standartlarının 10 V çıkışlarının iç direnci 0 Ω'a yakın iken 1,018 V çıkışlarının iç direnci 1 kΩ civarındadır. Bu artık devre parametresi, değeri kabaca bilinen 1 kΩ -10 kΩ arasında değişen bir direnç kullanılarak, Şekil 11'de gösterilen iki ölçüm sonucundan Eşitlik 11 ile kolayca elde edilebilir. Eşitlik 14'den görüleceği gibi δI_{offset} akımının etkisi gerilim standardının iç direnci ile orantılı olarak artacaktır.



Şekil 11. Gerilim Standardının İç Direncinin Belirlenmesi

$$R_{in_UUT} = R_{STD}\frac{(V_1 - V_2)}{V_2} \qquad (11)$$

Şekil 10'da verilen ölçümlerin A tipi belirsizliği yaklaşık 10 nV olarak hesaplanmıştır. Bu belirsizlik [4] 'te verilen toplam belirsizlikten biraz daha fazladır. Bu farkın nedeni şu şekilde araştırılmıştır: Kullanılan gerilim ölçerin ofset akımlarının kararlılığı 1 kΩ büyüklüğünde bir direnç kullanılarak ölçülmüştür. 1 kΩ'luk direncin seçilmesinin nedeni yarı iletken gerilim standardının iç direncinin bu büyüklükte olmasıdır. Gerilim ölçer ardışık olarak 10 ölçüm almaya ayarlanmıştır. Her bir ardışık 10 ölçümün farkı alınmıştır. Sonuç 1 kΩ'a bölünerek ofset akımları kararlılığının bu yük altında, ~ 0,015 nA olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, nanovoltmetre bant genişliği [4] 'te verilen değerden biraz daha fazladır. Bant genişliğini ve ölçüm devresinin giriş direncini dikkate alarak gerilim ölçerin gürültüsünden

DVM'nin gürültüsünden dolayı verilen belirsizliğin [4]' den daha büyük olduğu tahmin edilmiştir. Yarı iletken gerilim standarının gürültüsünün ise [4]'teki ile aynı olduğu varsayılmıştır.
Daha düşük A tipi belirsizlikler, ofset akımlarının daha kararlı olması beklenen EM N11 veya Keithley 2182 / HP34420 gibi gerilim ölçerler, fark ölçer olarak kullanıldığında ve/veya gerilim ölçerin bant genişliği düşürüldüğünde elde edilebilir.

Tablo 3. Yarı-iletken Gerilim Standardı Kalibrasyonu için Belirsizlik Bütçesi

X_i		$u(X_i)$	Olasılık Dağılım Fonksiyonu	Duyarlılık Katsayısı	$u(y_i)$
K_J	483597,8484169840 GHz/V				
N	7034				
n	1				
f	70,00000000 GHz	< 0,000000010 GHz	Normal		< 0,1 nV
V_{diff}	9481 nV	< 0.2 nV	Normal		< 0,2 nV
δV_{termal}	nV	< 0,1 nV	Dikdörtgen		< 0,1 nV
δI_{ofset}	**0,00000 nA**	**< 0,015 nA**	Dikdörtgen	**1 kΩ**	**< 15,0 nV**
R_{in_DMM}	>10 GΩ	> 10 GΩ	Dikdörtgen	0,00 V/Ω	< 0,0 nV
$R_{iso_DMM_cable}$	>1000 GΩ	> 1000 GΩ	Dikdörtgen	0,00 V/Ω	< 0,0 nV
R_{in_VUUT}	>1000 Ω		Dikdörtgen	0,00 V/Ω	< 0,0 nV
R_{cable_prop}	~4Ω		Dikdörtgen	0,00 V/Ω	< 0,0 nV
ε_{zener}	0 nV	< 6,0 nV	Normal	1	< 6,0 nV
ε_{DVM}	**0 nV**	**< 2,0 nV**	Normal	0,999999999	**< 2,0 nV**
$I_{segtrim}$	0,00000 nA	< 120,0 μA	Dikdörtgen	0,000007 V/A	< 0,0 nV
$m_{Isegtrim}$	0,00000 V/A	0,0000 V/A	Dikdörtgen	0,00012 A	< 0,0 nV
V_{UUT}	**1,018150548 V**	Birleşik standart belirsizlik (1 σ)			< 16,3 nV
		Genişletilmiş Belirsizlik			< 33 nV
		Genişletilmiş Bağıl Belirsizlik			< 32 nV/V

SONUÇLAR

Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı gerilim ölçer karakterizasyonunda ve yarıiletken gerilim standardı kalibrasyonunda kullanılmıştır. Ölçümlerin model fonksiyonları, ölçüm devresindeki artık devre elemanları dahil olmak üzere oluşturulmuştur. Ölçümlerin belirsizlikleri model fonksiyonlarına göre değerlendirilmiştir. Ölçümlerin sağlıklı olup olmadığını araştırmakta kullanılan, geliştirilen yazılım ve matematiksel araçlar sunulmuştur. Bölüm 3 ve 4'de sunulan çalışmalar, sistemin yüksek hassasiyetli gerilim ölçerlerin ve yarı-iletken gerilim standartlarının kalibrasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalarla, Geleneksel JGS yerine PJGS ile bu kalibrasyonların, yazılım kontrolünde hızlı ve daha çok ölçüm alınarak daha güvenilir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca her iki kalibrasyonda da ısıl gerilim ve ofset akımlarından kaynaklanan hata kaynaklarının, PJGS'nin kuantum adımları arasında hızlı anahtarlanabilme yeteneği nedeniyle kolayca bertaraf edilebileceği gösterilmiştir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma kısmen EMPIR JRP QuADC bünyesindeki EA tarafından finanse edilmektedir. EMPIR, EMPIR katılımcı ülkeleri ve EURAMET tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir. T.C.Ö. Josephson

Voltage Standard Systems hakkındaki değerli tartışmaları ve STD'yi ödünç verdikleri için PTB'den Ralf Behr'a teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR

[1] B.D Josephson, “Possible New Effects in Superconductive Tunneling”, Phys. Letters , pp. 251-253, 1962
[2] Anderson P., R. J. M., “Probable Observation of the Josephson Superconducting Effect”. Phys. Rev. Lett, vol 10, pp. 230-232, 1963
[3] S.Shapiro, “Josephson Currents in Superconducting Tunneling: The Effect of Microwaves and Other Observations”, Phys. Letters, vol. 11, num 2, pp 80-82, July,1963.
[4] P Pöpel, R., “The Josephson Effect and Voltage Standards” Metrologia, vol 29, pp. 153-174, 1992.
[5] B. N. Taylor, T. J. Witt, “ New International Electrical Reference Standards Based on the Josephson and Quantum Hall Effects” *Metrologia*, vol. 26, no. 1, pp. 47-62, 1989
[6] V. Sienknecht and T. Funck , “Realization of the SI Unit Volt by Means of a Voltage Balance”, Metrologia 22,209-212 ,1986
[7] Samuel P. Benz, C. A. H., “Application of the Josephson Effect to Voltage Metrology”. Proceedings of the IEEE, vol. 92, no. 10, 2004.
[8] Kautz R. L., “On a proposed effect voltage standard at zero current bias” Appl. Phys. Lett., Issue 36, pp. 386-388, 1980.
[9] Ralf Behr, O. K. J. K. F. M. a. L. P., “Development and metrological applications of Josephson arrays at PTB”. Meas. Sci. Technol. Issue 23, 2012.
[10] CCEM, “Guidelines for Implementation of the ‘Revised SI’ ”, Version 1.0, 08.12.2017
[11] N. Fletcher, G.Rietveld, J. Olthoff, I. Budovsky, M. Milton “Electrical Units in the New SI: Saying Goodbye to the 1990 Values”, *NCSLI Measure*, Vol. 9, Iss. 3, 2014
[12] F.Mueller, R. Behr, T.Weimann, L. Palafox, D. Olaya, P. D.Dresselhaus, and S.P.Benz, “1V and 10VSNS programmable voltage standards for 70GHz,”IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 981–986, Jun. 2009
[13] https://www.ptb.de/empir/quadc-project.html
[14] Coskun Ozturk, T., Erturk, S., Tangel, A., Gedik, A., Yogun, M., Celep, M. "Establishing Programmable Josephson Voltage Standard and Maintaining its Quantum Accuracy", International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications, 8:1 (2019) : 19-25
[15] Seron, O. at all, “Precision ac–dc transfer measurements with a Josephson waveform synthesizer and a buffer amplifier.” *IEEE Trans.Instrum. Meas. ,* Issue 61, p. 198–204, 2012
[16] Tezgül COŞKUN ÖZTÜRK, Sarp ERTÜRK, Ali TANGEL, Mehedin ARİFOVİÇ, Saliha TURHAN, “Metrological Measurements Using Programmable Josephson Voltage Standard” eleco 2017
[17] “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, GUM,1995

ÖZGEÇMİŞ

Tezgül COŞKUN ÖZTÜRK

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. ABD’da 2004 yılında tamamlamıştır.

2002 yılında TÜBİTAK UME Gerilim Laboratuvarı’nda göreve başlamıştır. Burada “Yüksek Doğruluklu Kalibratörlerin AC İşaret Kaynağının Doğrudan Sayısal Sentez Tekniği ile Gerçekleştirilmesi” konulu yüksek lisans çalışmasını tamamlamıştır. Halen UME Gerilim Laboratuvarı’nda birincil seviyede DC oran, gerilim ve akım standartların oluşturulması, muhafazası ve kalibrasyonu konularında çalışmaktadır. Uzmanlık alanı DC ve düşük frekans gerilim, akım ve direnç ölçüm/kalibrasyonları ve belirsizlik hesaplamalarıdır. Endüstriye eğitim, kalibrasyon ve test hizmetlerinin verilmesinde, ulusal ve uluslararası karşılaştırmalarda görev almaktadır.

2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. ABD'da doktora öğrenimine başlamıştır. Şu anki ilgi alanları AC Josephson Gerilim Standartlarının Kurulumu ve bu standartların kullanıldığı elektriksel ölçümlerdir.

Sarp ERTÜRK

1995 yılında Ankara, Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Elektrik-Elektronik Mühendisliği derecesini aldı. 1996 ve 1999 yıllarında Essex Üniversitesi'nden Elektronik Sistemler Yüksek lisans ve doktora dereceleri aldı. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi'ne Yrd. Doç. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde 2008 yılında aynı bölümde Profesör Dr. derecesini aldı.

Başlıca uzmanlığı: Görüntü İşleme, Sinyal İşleme, Uzaktan Algılama, Gömülü Sistemler. İlgi alanları Bilgisayar Görme, Dijital İletişim, Bilgi Sistemleri ve Devreler ve Sistemlerdir.

Ali TANGEL

1986'da Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nden Elektronik Mühendisliği dalında lisans derecesi aldı. 1991 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektronik Mühendisliği alanında yüksek lisans derecesi aldı. Amerika Birleşik Devletleri'nden 1999'da Pennstate Üniversitesi'nden doktora derecesini aldı. 1987-1993 yıllları arasında Ankara Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 1993 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümüne katıldı ve 2011 yılında doçent oldu. Halen aynı bölümde profesör olarak çalışmaktadır. Ana uzmanlık alanları Analog ve Karışık Sinyal Elektronik Devre Tasarımları, VLSI Tasarımı, Alan Programlanabilir Kapı Dizileri ve Uygulamaları ve Yarı İletken Elektroniğidir.

Mehedin ARİFOVİÇ

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1997 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Elektronik alanında tamamlamıştır.

1997 yılında TÜBİTAK UME Gerilim Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. Birincil seviyede AC/DC gerilim ve akım ölçümleri, referans cihazların yapımı, ölçüm otomasyonu ve ISO 17025 Kalite Sistemi konularında çalışmaktadır. Halen UME Gerilim Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

SICAKLIK KALİBRASYONLARINDA HİSTEREZİS

Aynur DAVUT

ÖZET

Termometrelerin gösterdiği değerler, maruz kaldıkları sıcaklıklara veya kullanıma bağlıdır. Ölçüm belirsizliği parametresi olarak histerezis, termometrenin ölçüm bölgesi dikkate alınarak artan ve azalan yöndeki sıcaklık okumaları arasındaki en büyük farktır. Yani termometrenin sıcaklık döngüsü dikkate alındığında, yapılan okuma değeri artan ve azalan yönde iki farklı sıcaklığa tekabül eder. Termometre kendi halinde soğumaya bırakılırsa ve kullanılmazsa maruz kaldığı sıcaklığın etkisinden bir miktar kurtulur. Histerezis, esasında termometreyi oluşturan malzemenin sıcağa maruz kaldığında kendisini toparlamasının ölçütüdür. Kalibrasyon yapılırken doğruluk, müşteri talebi ve maliyet unsurları göz önünde bulundurulmalıdır. Çok hassas bir çalışma yapılma yapılmadığı sürece, termometrenin artan ve azalan yönde kalibrasyonunun yapılması zaman ve enerji maliyetinin %100 artması demektir. Kalibrasyon yapılırken zaman, maliyet ve doğruluk yönünden optimum durum müşteri talepleri de dikkate alınarak tespit edilmelidir. Bu yazı da; histerezis etkisini ölçüm sonucuna dahil edecek, zaman ve maliyet yönünden optimum şartları sağlayan bir yöntem oluşturulabilir mi? Sorusuna cevap arayacağız.

Anahtar Kelimeler: Histerezis, Direnç termometreleri, Sıcaklık Kalibrasyonları

ABSTRACT

The values shown by the thermometers depend on the temperatures or usage to which they are exposed. Hysteresis is the largest difference between the temperature readout between the ascending and the descending direction as a parameter of measurement uncertainty when it is being taken into account the measuring zone of the thermometer. This means that the temperature readout of the thermometer corresponds to two different temperatures in the increasing and decreasing direction. If the thermometer is not used and let to cool down its own way, it discards somewhat the temperature it is exposed to. Hysteresis is essentially a measure of the material that forms the thermometer to recover itself when exposed to heat. Accuracy, customer demand and cost considerations should be taken into account in calibration process. Calibration of the Calibration of the thermometer in ascending and descending directions means 100% increase in time and energy costs, unless a very precise operation is performed. The optimum condition in terms of time, cost and accuracy should be determined by taking customer demands into consideration while calibration process. In this text; we will try to find out the question that is it possible to create a method to include the hysteresis effect in the measurement result and to provide optimum conditions in terms of time and cost?

Key Words: Hysteresis, Resistance Thermometers, Temperature Calibrations.

1. GİRİŞ

Sıcaklık kalibrasyonu yapılan termometreleri etkileyen pek çok hata kaynağı vardır. Bu hata kaynakları tasarımdan, üretimden, kullanım şartlarından kaynaklanır. Bu nedenle hata kaynaklarının bilinmesi ve bu yönde cihaz seçimi yapılması önemlidir. Sıcaklık kalibrasyonunda referans olarak kullanılan termometreler sıcaklık aralığına bağlı olarak direnç termometreleri ve ısılçiftlerdir. Genel olarak hata kaynakları sıralanırsa, yalıtım direnci, karalılık, tekrarlanabilirlik, ısıl iletim, histerezis, kalibrasyonlar ve interpolasyonlar, bağlantı telleri, akıma bağlı ısınma etkisi, tepki süresi, ısıl emfler vb. sayılabilir. Bunların içinden histerezis etkisini inceleyeceğiz.

2. TERMAL GENLEŞME ETKİSİ

Endüstriyel direnç termometrelerinde ısıl işlemler neticesinde oluşan mekanik etkilerin oluşturduğu deformasyon, en büyük belirsizlik kaynaklarından biridir. Platin direnç tel ile onun sarıldığı alt taşın farklı genleşmesi sebebiyle oluşan İki ana etki vardır. İlki elastik deformasyon, histereziste artış ve ikincisi, plastik deformasyon ve fazla çalışma sebebiyle driftteki artışdır.

Bütün malzemeler sıcaklıkla boyutlarını değiştirir. Platin tellerde de sıcaklık başına 9 ppm değişim vardır. Platin direnç termometrelerinde alt taş olarak kullanılan malzemeler cam, seramik veya mika olabilir. Bu malzemelerde platin tel ile birlikte genleşme nedeniyle esneyecek veya büzüşecektir. İdeal olarak tellerin genleşmesi veya büzüşmesi ne oranda ise alttaşında aynı oranda genleşmesi veya büzüşmesi ideal durumdur. Bu platin tellerde gerginlik oluşturmayacaktır. Genel olarak kullanılan alttaşlar cam ve alümina seramiktir.

Platin direnç telleri desteklemek için tasarlanmış cam malzemelerin genleşme katsayıları 1 ppm / °C civarındadır ve pek çok amaç için uygundur.

Seramik alümina alttaşlar ise 8 ppm/°C ile 10 ppm/°C arasında değişen genleşme katsayısına sahiptir. Alumina, cama göre saflık ve elektriksel direnç bakımından daha iyidir ancak gözenekli ve homojen olmayan yapısı nedeniyle beklenmeyen genleşme katsayısına sahip olabilir [1].

3. ELASTİK DEFORMASYON

Kalıcı deformasyon oluşturmayan ve tekrar eski haline gelmesi mümkün olan durumdur.

Her iki tip alttaş için genleşme katsayısı tipik olarak 1 ppm/°C veya daha kötü alttaşlar için farklı termal genleşme olacaktır. Tel gerildiğinde telin boyu artacaktır. Boyutsal değişmeler, küçük gerilimler için elastik olduğundan kalıcı deformasyon oluşmayacaktır. Tel gerildiğinde örgü yapısı bozulacağından genleşme katsayısındaki 1 ppm/°C lik değişim sonucunda platinin sıcaklık katsayısında 5 ppm/°C artış veya azalma olacaktır çünkü platin direnç termometresinin sıcaklık katsayısı yaklaşık 4000 ppm/°C dir, karşılaşılan hata genellikle sıcaklık değişiminin ±0,1% kadardır. Bazı PRT' ler zamanla genleşme gösterir ve periyodu birkaç saat sürer. Genleşme başladığında düzensiz davranışlara sebep olabilir. 250 °C üzerinde PRT'lerin genleşmesi sonucu olan esneme neticesinde gösterdiği gerilim tavlama ile giderilir.

Sıcaklık aralığına ve termometrenin tasarımına bağlı olarak PRT' lerde tipik histerezis değerleri ±0,02% ve ±0,05% arasındadır. Alumina seramik kullanılarak desteklenmiş PRT'lerde maksimum gerilme 0,0002% kadar düşüktür. Bazı kalın-film elemanlı termometrelerde platin alttaşa bağlı olduğundan ve serbestçe esneyemeyeceğinden histerezis 0.01% mertebesindedir [1].

4. PLASTİK DEFORMASYON

Platin içeren metaller sonsuza kadar gerilemezler. Plastik deformasyon kalıcı yapısal değişikliktir. Bir kere gerilme 0,1% aşarsa plastik deformasyondan söz edilir. Yapısal olarak platin direnç termometreleri tüm uzunluğu boyunca alümina izolatör ile desteklenmezler. Alümina seramiğin yapısından ötürü mikroskopik olarak bakıldığında küçük bir yüzeyin desteklendiğini ve platin telin küçük lokal alanlar halinde gerilmeye maruz kaldığı ve her döngüde plastik deformasyona gittiği görülür.

Plastik deformasyon iki etki ile kendini gösterir ilki tel boyutlarında kalıcı değişme, ikincisi ise deformasyonlar nedeniyle telin örgü yapısında bozukluklar. Her iki etki de telin buz noktası direncinde artışla kendini gösterir ve sıcaklık katsayısının belirlenmesiyle ayırt edilebilir. Eğer buz noktası

direncindeki artış, direncin sıcaklık katsayısının azalışıyla birlikte olursa, dirençteki artış kusurlar nedeniyledir ve tavlama ile giderilebilir ancak tavlama, termometreyi bütünüyle orijinal haline döndürmeyecektir.

Genellikle tavlama işlemine giren direnç termometrelerinde kalıcı değişkenliğe bağlı olarak orijinal direnç değerine dönmez ancak artan veya azalan yöndeki değişimi sınırlandırabilir ve tekrar kullanımı yeni kalibrasyon sertifikasıyla birlikte mümkün olur. Direnç termometreleri dışında ısılçiftler de maruz kaldığı sıcaklıklar dikkate alındığında yapısal değişmeler görülür ve bu termometrelerde de yüzey gerilimini almak için tavlama yapılması driftin etkisini azaltmak için yapılır.

5. HİSTEREZİS

Genel olarak, histerezis, farklı bir yoldan yaklaştığında bir madde davranışında fark oluşturan bir olgudur. PRT'lerde, termal histerezis, PRT'nin maruz kaldığı termal geçmişe dayanarak belirli bir sıcaklıkta dirençte farklılığa neden olur. Daha spesifik olarak, PRT'nin direnci, artan sıcaklıklarda veya azalan sıcaklıklarda ölçüldüğünde aynı sıcaklık değeri için farklı sonuçlar oluşturacaktır. Farkın büyüklüğü, sıcaklık aralığına ve PRT'nin tasarımına bağlı olacaktır.

Endüstriyel direnç termometreleri için oluşturulmuş standart IEC 60751 buna “histerezis etkisi” olarak atıfta bulunur ve PRT direncinin orta sıcaklıkta, düşük sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ve en yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ölçüleceğini belirtir. Verilen kabul kriterleri, orta noktadaki direncin, test edilen tolerans sınıfı için test sıcaklığındaki tolerans değerinden daha fazla değişemeyeceği şeklindedir. Her iki ölçümün de direnç toleransını karşılaması gerektiğini belirtmez, bu nedenle histerezis etkisinin sensörün tolerans dışı bir ölçüm üretmesine neden olması mümkündür. ASTM standardı E1137, termal histerezis için herhangi bir şartı içermez, ancak, PRT'nin maksimum derecelendirilmiş aralığından daha az aralıklarda test yapılmasına izin verecek olan ASTM standardı E644'te histerezis testi için bir test metodu bulunur. IEC 60751 standardının gerekliliği oldukça iyi tanımlanmış olsa da, aralık maksimum değerden düşük olduğunda histerezis hakkında herhangi bir bilgi sağlamaz ve bu endüstriyel PRT standartlarının hiçbiri orta nokta dışındaki sıcaklıklarda histerezis performansı hakkında bilgi vermez.

Kullanım aralığı dahilindeki herhangi bir sıcaklıktaki histerezis hatasını tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem, orta nokta sıcaklığı ile ilgilenilen sıcaklık arasında doğrusal bir enterpolasyon yapmaktır. Bu tahmin için bilinen bir denklem bulunmadığından, Zwak-Zenner denklemi olarak adlandırılan aşağıdaki formülasyon kullanılabilir [2]:

$$Histerizis(°C) = H\left(\frac{T_{maks}-T_{min}}{100}\right)\left(1-\left|\frac{T_{maks}-T_{min}-2T}{T_{maks}-T_{min}}\right|\right) \qquad (1)$$

Burada;

H = termometrenin sıcaklık aralığının% 'si olarak histerezis hata katsayısı
T_{max} = Maksimum sıcaklığı
T_{min} = Minimum sıcaklığı
T = Histerezisin tespit edildiği sıcaklık
Bu formülasyon kullanılarak hesaplanmış tahmini histerezis hataları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Direnç termometreleri için tahmini histerezis hataları

		Sıcaklık bölgesi			Sıcaklık bölgesi			Sıcaklık bölgesi		
		-200 den 600 °C			0 dan 400 °C			0 dan 200 °C		
	Histerezis özelliği	0,02% aralık	0,05% aralık	0,10% aralık	0,02% aralık	0,05% aralık	0,10% aralık	0,02% aralık	0,05% aralık	0,10% aralık
Sıcaklık (°C)	-200	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	-100	0,04	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-
	0	0,08	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0
	100	0,12	0,3	0,6	0,04	0,1	0,2	0,04	0,1	0,2
	200	0,16	0,4	0,8	0,08	0,2	0,4	0,4	0	0
	300	0,12	0,3	0,6	0,04	0,1	0,2	-	-	-
	400	0,08	0,2	0,4	0	0	0	-	-	-
	500	0,04	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-
	600	0	0	0	-	-	-	-	-	-

6. HİSTEREZİS HATASININ AZALTILMASI

Kalibre edilen termometrenin histerezisini tespit etmek için artan yönde ve azalan yönde aynı sıcaklıkları ölçmek gereklidir. Bu durumda hem termometrenin sıcaklık maruziyeti artacak hem de kalibrasyon maliyeti artacaktır. Kalibrasyon yapılan termometre belirli bir sıcaklık ta uzun süre kalırsa mevcut durumda genleşme neticesinde esneyecek ve yeni durumdaki değere gelecektir. Bu değer bir önceki sıcaklığın etkisinde olmayacaktır. Genellikle histerezis etkisi belirsizlik bütçesinde dikdörtgen dağılım olarak işlem görür. Dikdörtgen dağılımla belirtilenden daha küçük bir belirsizlikle güvenilir bir şekilde ölçmek için, ölçüm ve kalibrasyon prosedürlerinin ölçüm aralığını, tarihçesini ve süresini kontrol etmesi gerekir. Bu prosedürler genel olarak pratik değildir, ancak yük hücreleri gibi bazı cihazlar da anlamlı, yararlı doğruluk elde etmek için prosedürler gereklidir.

Termometrenin her iki yönde kalibre edilmesi ve histerezis döngüsünün genişliğinin doğrudan ölçülmesi, herhangi bir okuma ile ilgili belirsizliğin bir değerlendirmesini sağlayacaktır. Bu, A tipi bir değerlendirme olacaktır, ancak her kalibrasyon noktasını iki kez, bir kez artan sıcaklıkta ve bir kez de azalan sıcaklıkla ölçmeyi içerir. Belirsizlikte bir miktar azalma sağlayan daha ucuz bir prosedür, termometreyi yalnızca oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklar için artan sırada ve oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklar için azalan sırada ölçmek için termometrenin kullanılmasıdır. Bu, sadece histerezisin sıcaklık döngüsüne göre yarı değerine tekabül eder belirsizliği yarıya indirir. Bu durumda, , belirsizlik, daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmadan önce ve sonra buz noktası okumasındaki değişiklikten değerlendirilebilir.

En basit yaklaşım iki varsayımda bulunmak ve kalibrasyonu buna göre tasarlamaktır. İlk olarak, kalibrasyon yavaş bir şekilde gerçekleştirilir, termometre kısmen genleşir ve bu nedenle okuma dağılımın ortalamasına karşılık gelir (bu nedenle düzeltme yapılmasına gerek yoktur). İkincisi, dikdörtgen dağılımın, kalibrasyon koşulları altında kullanılan histerezis ile kullanım koşulları arasındaki olası farkın uygun bir açıklaması olduğunu varsayalım. Bu nedenle, 0,3 ° C buz noktası değerinde bir değişiklik için, dikdörtgen dağılımın standart sapması için;

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{(X_H - X_L)}{2} \approx 0{,}29(X_H - X_L) \qquad (2)$$

2 denklemini uygularız ve okumadaki standart belirsizliğin 0,087 ° C olarak tahmin edildiğini gösterir.

Buzlanma noktası, genellikle bir termometre aralığının sonunda olduğu için histerezis döngüsünün genişliğini örneklemek için en iyi sıcaklık olmayabilir. Termometre aralığının ortasında bulunan ayrı bir ölçüm daha iyi olabilir. Ancak bu güne kadar yapılmış olan kalibrasyon çalışmalarında termometrenin artan sıcaklıklarda kalibrasyonu neticesi alınan değer ile azalan sıcaklıklarda kalibrasyonu neticesinde alınan değerler arasındaki fark geriye dönüş değerlerinde olmaktadır. Bu nedenle direnç termometresi kalibrasyonunda; yüksek sıcaklıktan geriye doğru gelmek bu hataları içinde barındırdığından ve en az üç buz noktası ölçümü yapıldığından, buz noktasındaki değişiklikler endüstriyel kalibrasyon yapan laboratuvarlar açısından histerezis hatasından kaynaklanan belirsizliği de içerecektir. Aynı şekilde ısılçift kalibrasyonlarında da yüksek sıcaklıktan geriye doğru gelmek histerezis hatalarını içinde barındıracağından kalibrasyon prosedürünü bu şekilde düzenlemek faydalı olacaktır. Ancak buz noktasında ısılçift teorik olarak 0 mV göstereceğinden hem tekrarlanabilirlik hem de histerezis hatası ve belirsizliği için ısılçiftin sıcaklık ölçüm aralığının yarı değerinde ölçüm yapıp sonrasında yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru kalibrasyon yapmak daha doğru olacaktır. Düşük histerezis değerine sahip termometreleri satın almak ve termometrenin maruz kalacağı sıcaklık aralığını minimumda tutmak mümkün olacaktır.

SONUÇ

Yapılan bu çalışmada çeşitli kaynaklarda yer alan histerezisle ilgili yaklaşımlar ve mevcut uygulamalar dikkate alındı. Laboratuvarın mevcut durumuna bağlı olarak, kalibre edeceği termometrenin sıcaklık aralığına ve müşteri tarafından bildirilmiş tolerans aralığı mevcut ise; zaman, maliyet ve doğruluk kriterlerini dikkate alarak histerezisle ilgili yapacağı çalışmayı ortaya koyması gerekir. Histerezis hatasının anlamlı olduğu uygulamalarda, maksimum ve minimum sıcaklık maruziyetlerinden sonra sıcaklık aralığının orta noktasında alınan ölçümlerin ortalamasının alınması önerilir. Ayrıca sensör tipi vb. tanımlaması olmayan termometreler için histerezise bakılması ve belirsizlik parametresi olarak bütçede yer alması gereklidir.

KAYNAKLAR

[1] J. V. Nicholas; D. R. White. “Traceable Temperatures”, John Wiley & Sons, Ltd. Second edition 2005.
[2] Burns Engineering, Inc.2008/2011 “Error Sources That Effect Platinum ResistanceThermometer Accuracy”

ÖZGEÇMİŞ

Aynur DAVUT

1961 yılı Kütahya Emet doğumludur. 1985 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğini bitirmiştir.1986 yılında EİEİ Gen. Müd. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Daire Başkanlığı’nda güneş pilleri üzerine çalışmıştır. 1993 yılında TSE Kalibrasyon Daire Başkanlığı bünyesinde sıcaklık kalibrasyon laboratuvarında göreve başlamış ve çalışmasını TSE Kalite Kampusü Gebze’de sıcaklık kalibrasyon Laboratuvarında sürdürmüştür. Bu süre zarfında Kalibrasyon, Laboratuvarlar arası Karşılaştırma ve Yönetim Sistemleri alanında yurt içi ve yurtdışı eğitimler almış ve görevine yönetim temsilcisi ve kalibrasyon müdürü olarak devam etmiştir. 2017 yılı Ağustos ayında Baş Araştırmacı olarak TSE’den emekli olmuştur. 2005 yılından bu yana TÜRKAK’ ta Denetçi ve Baş Denetçi olarak akreditasyon çalışmalarında yer almıştır ve halen sürdürmektedir.

TSE’den emekli olduktan sonra da “DACKA Kalibrasyon Danışmanlık Eğitim- GEBZE” firmasında Yönetim temsilcisi ve Sıcaklık-Nem-Elektrik kalibrasyonu alanında çalışmalarını sürdürmektedir.

PLATİN KÖKENLİ DİRENÇ TERMOMETRE (PRT) KALİBRASYONLARINDA MODEL FONKSİYONUN KALİBRASYON ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNE ETKİSİ

Eyüp BİLGİÇ
Murat KALEMCİ
Mücahit KORKMAZ
Melda PATAN ALPER
Mehmet K. TORUN
Ahmet T. İNCE

ÖZET

Uluslararası sıcaklık ölçeğine (ITS-90) göre Standart Platin Direnç Termometreleri (SPRT) ve Pt-100 olarak adlandırılan direnç termometreleri, kontak sıcaklığı alanındaki endüstriyel kalibrasyon uygulamalarında referans niteliği taşıyan termometrelerdir. Bu tip termometrelerin elektriksel direnci (R), maruz kaldıkları sıcaklık (t) ile değişmektedir. Kalibrasyonları kısaca, değeri bilinen sıcaklıklara karşılık gelen direnç değerlerinin ölçülmesi, ölçülen direnç değerinin belirli bir model fonksiyona uyarlanması (fit edilmesi) şeklinde tanımlanabilir. Pt-100 termometreler için ITS-90'na izlenebilir sıcaklık değerlerinin elde edilmesinde kullanılan model fonksiyonlar, 0 °C'nin altındaki ve 0 °C'nin üstündeki sıcaklıklar için tanımlanmış Callendar-Van Dusen denklemleridir. Bu bildiride PRT'lerin tekrarlanabilir kalibrasyonları sırasında elde edilen sıcaklık ve direnç verilerinin, Callendar-Van Dusen ve farklı dereceli polinomlara Matlab yazılım kullanılarak fit edilmeleri, uygulanan model fonksiyona göre maksimum ve minimum artık değerlerin (residual) bulunması, bu değerlerin kalibrasyon belirsizliği üzerindeki etkileri sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık, Direnç, PRT Kalibrasyonu, Callendar-Van Dusen Denklemi, Ölçüm, Belirsizlik.

ABSTRACT

Standard Platinum Resistance Thermometers (SPRT) and resistance thermometers called Pt-100 according to international temperature scale (ITS-90) are the reference thermometers for industrial calibration applications in the field of contact temperature. The electrical resistance (R) of such thermometers varies with the temperature (t) to which they are subjected. Their calibration method can be briefly defined as measuring resistance values corresponding to known temperatures and fitting the measured resistance value to a particular model function. The model functions used in accordance traceable temperature to the ITS-90 for the Pt-100 thermometers are the Callendar-Van Dusen equations defined for temperatures below 0 °C and above 0 °C. In this paper, fitting the temperature and the resistance values obtained during the repeatable calibration of the PRTs to Callendar-Van Dusen and different grade polynomials using Matlab software, the maximum and minimum residual values according to the model function fitted and their effects on the calibration uncertainty is presented.

Key Words: Temperature, Resistance, Calibration of PRT, Callendar-Van Dusen Equation, Measurement, Uncertainty.

1. GİRİŞ

Standart direnç sensörlü termometrelerin (SPRT ve PRT'ler) kalibrasyonları sabit noktalar ya da karşılaştırma yöntemi kullanılarak yapılır [1-4]. Sıcaklık-Direnç bağımlılığı, ITS-90, Calendar Van-Dusen (CVD) veya farklı dereceden polinomlar kullanılarak değerlendirilir. Endüstriyel tipteki PRT'lerde sıcaklık-direnç bağımlılığı genel olarak, sıcaklığın 0 °C'den küçük olduğu t<0 °C ve sıcaklığın 0 °C'den büyük olduğu t>0 °C iki ayrı bölgede değerlendirilmektedir [5], ayrıca yapılan kalibrasyonlardaki ölçüm belirsizlikleri üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır [6, 7]. Dahası PRT'ler, zamanla ve kullanımla ilişkili olarak kararlılıkları değişkenlik gösteren elamanlar olduklarından, literatürde PRT'lerin ömür tahminlerine yönelik yapılan çalışmalara da rastlanılmaktadır [8]. Endüstriyel tipteki PRT'lerin kalibrasyonunda kullanılacak denklemeler, nominal katsayılar, sıcaklıklara karşılık gelen direnç değerleri vb değerler standartlaştırılmıştır [9]. Teknik özelliklerin belirlenmesine yönelik test metotları yeterince detaylandırılarak standart hale getirilmiştir [10].

Bu çalışmada, -60 °C ile 650 °C arasında sıcaklık ve direnç değerlerine eğri uydurması yaparak, elde edilen katsayılarla sıcaklık direnç değerlerinin eğri uydurması yaparak, sonrasında ise hangi eğri uydurma polinomunun, bize ölçülen gerçek değerlere göre az/fazla kalıntı değerleri oluşturduğunu belirlemek amaçlanmıştır. Sonuç olarak hangi dereceli polinomunun, ölçüm belirsizliği açısından yararlı olabileceği yönünde değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda farklı sıcaklık aralıklarında kalibrasyonları yapılmış PRT'lerin sıcaklık-direnç verilerinin CVD ve farklı dereceli polinomlara uydurmak için Matlab yazılımı kullanılarak bir kod yazılması amaçlanmıştır. Benzer çalışmalara rastlanılmakla birlikte, sıcaklık-direnç verilerinin t < 0 °C ve t > 0 °C aralıklarını kapsayan tek bir bölge için eğri uydurması pek yaygın olarak çalışılmamıştır. Diğer bir farklılık ise t < 0 °C bölgesindeki ölçüm veri sayısının yapılan eğri uydurma sonucuna etkisi incelenmiştir.

2. PRT'LER İÇİN SICAKLIK-DİRENÇ İLİŞKİSİ ve YAZILIM DOĞRULAMASI

Platin direnç termometreleri (PRT) hassas sıcaklık ölçümlerinde kullanılırlar. Bu kapsamda, sıcaklık etkisi altında platin malzemeden yapılmış olan direnç elemanının direnç değişiminin, hassas olarak ölçülmesi bir gerekliliktir. Direnç ölçümleri, içerisinde yüksek kararlılığa sahip referans nitelikli dirençler içeren köprüler kullanılarak yapılır. Sıcaklık aralıklarına bağlı olarak PRT'lerin direnç değeri, farklı dereceli polinomlarla ifade edilmektedir. Endüstriyel tip PRT'lerin direnç değerleri için CVD eşitliği yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna göre:

(t ≤ 0 °C) sıcaklık bölgesi için bölgesi için:

$$R(t) = R(t=0)\cdot[\ 1+A\cdot t+B\cdot t^2+C\cdot\ (t-100)\ \cdot t^3\ ] \quad \text{(ohm)} \quad (1)$$

(t ≥ 0 °C) sıcaklık bölgesi için bölgesi için:

$$R(t) = R(t=0)\cdot[\ 1+A\cdot t+B\cdot t^2\ ] \quad \text{(ohm)} \quad (2)$$

eşitlikleri kullanılmaktadır. (1) ve (2) eşitliklerinde R(t=0), PRT'nin 0 °C'deki direnç değeridir. A, B ve C parametreleri ise PRT'nin maruz kaldığı t sıcaklığında ölçülen R(t) değerini sağlayan polinom, sıcaklık metrolojisindeki kullanımlarına yönelik olarak CVD katsayılarıdır. Dikkat edilirse R(t=0) değerinin bilinmesi durumunda, (t ≤ 0 °C) bölgesi için kullanılan eşitlik 4. dereceden ancak 3 katsayılı polinom, (t ≥ 0 °C) bölgesi için kullanılan eşitlik 2. dereceden 2 katsayılı polinomdur. Yüksek dereceli polinom kullanmanın sıcaklık-direnç ilişkisini daha iyi tanımladığı düşünülebilir. Bu durumu değerlendirmek için aşağıda verilen polinomlar da dikkate alınmıştır.

$$R(t) = R(t=0)\cdot[\ 1+A\cdot t\ ] \quad \text{(ohm)} \quad (3)$$

$$R(t) = R(t=0)\cdot[\ 1+A\cdot t+B\cdot t^2+C\cdot t^3\ ] \quad \text{(ohm)} \quad (4)$$

$$R(t) = R(t=0)\cdot[\ 1+A\cdot t+B\cdot t^2+C\cdot t^3+D\cdot t^4\ ] \quad \text{(ohm)} \quad (5)$$

Direnç bazlı termometrelerin sıcaklık–direnç ilişkilerinin incelemesinde lineer bir fonksiyon kullanılması işin doğasına aykırı olsa da buradaki kullanım amacı, lineer fonksiyon kullanarak elde edilen eğri uydurma sonuçlarının, daha yüksek dereceli polinomlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla, sayısal verilere dayanarak karşılaştırmasının yapılmasıdır.

Kalibrasyonlar sırasında elde edilen verilerin, doğru elde edilip edilmedikleri, bu veriler kullanılarak yapılan hesaplamaların doğru ve her zaman aynı veriler için aynı sonucu vermesi, akredite kalibrasyon laboratuvarları için TS EN ISO/IEC 17025 standardının bir gerekliliğidir. Laboratuvarlardan, bu kapsamlarda kendi geliştirdikleri yazılımların, hesaplamalarda kullandıkları MS Office Excel çalışma sayfalarının doğrulamalarının yapması beklenir. Buradan yola çıkarak öncelikle, eğri uydurması için kullanılacak yazılımın doğrulaması yapılmalıdır. Yazılım doğrulamasında kullanılacak sıcaklık-direnç veri seti, (1) – (5) numaralı eşitliklerle verilen polinomlar kullanılarak elde edilmiştir. Veri setlerinin elde edilmesinde tamamen rastgele olarak seçilen ancak sıcaklık ve direnç aralığı ile uyum sağlayan katsayılar kullanılmıştır. Bazı kaynaklarda nominal direnci 100 ohm olan PRT için A, B ve C katsayıları ve 0 °C ile 850 °C sıcaklık aralığındaki hesaplanan direnç değerlerinin verildiği görülmektedir [9]. Bu çalışmada ise -60 °C ve 550 °C sıcaklık aralığındaki sıcalık-direnç değerlerinin hesaplamalarında, polinom katsayıları için R(t=0) = 100 ohm, A = $5\cdot10^{-3}$, B = $-5\cdot10^{-7}$, C = $5\cdot10^{-10}$ (C_{CVD} = $-2\cdot10^{-10}$) ve D = $-5\cdot10^{-15}$ değerleri kullanılmıştır. C_{CVD} (1) nolu CVD eşitliğindeki C katsayısı yerine kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılmak üzere ortaya konulan yazılım, Matlab yazılımı kullanılarak yazılmış bir koddur. Kod, tanımlanan bir dizinde bulunan MS Office Excel çalışma sayfasında yer alan sıcaklık-direnç veri seti değerlerinin okunması, t ≤ 0 °C ve t ≥ 0 °C sıcaklık aralıkları için verilerin gruplanması, t ≥ 0 °C için gruplanan veri setinin sırası ile 1., 2. ve 3. dereceden poliomlara uydurulması, t ≤ 0 °C için gruplanan veri setinin sırası ile 1., 2., 3., 4. derece polinomlara ve VDC denklemine uydurulması, ayrıca veri setinin tüm sıcaklık aralığı için sırası ile 1., 2., 3., 4. derece polinomlara ve VDC denklemine uydurulması yapılmıştır. 1. - 4. dereceli polinomların eğiri uydurmasında kullanılan Matlab kodunun doğrulaması, Matlab yazılımının “polyfit” özelliği kullanılması, VDC denklemine eğri uydurma in doğrulaması, en küçük kareler (least square fit) yöntemine göre elde edilen analitik çözümün nümerik hesaplanması şeklinde yapılmıştır. Eğri uydurma sonrasında elde edilen R(t=0), A, B, C ve D katsayıları, doğrulamada kullanılan veri setlerinin oluşturmasında kullanılan R(t=0), A, B, C ve D katsayılarılar ile karşılaştırılmıştır. Yazılan kodun doğrulaması, -60 °C ve 550 °C sıcaklık aralığında direnç değerlerinin hesaplanmasında kullanılan R(t=0), A, B, C ve D katsayıların tekrar edilebilmesi ve bu katsayılardaki bağıl hatanın yeterince küçük olabilmesine bağlı olarak yapılmıştır. Doğrulama hesaplamalarından elde edilen sonuçlar Tablo 1 – Tablo 5’te verilmiştir. Tablolarda verilen “R(t=0°C) Hesaplanan” değeri, eğri uydurma sonrasında t = 0 °C için hesaplanan direnç değeri, “R(t=0 °C) Bağıl Hata” değeri ise eğri uydurma sonrasında elde edilen direnç değerinin, eğri uydurma için kullanılan veri setinin elde edilmesinde kullanılan direnç değerine göre bağıl hatadır. Bağıl hata eşitlik (6) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Bağıl Hata} = (R(t=0)_{fit} - R(t=0)_{veriseti}) / R(t=0)_{veriseti} * 100 \quad (6)$$

Tablolarda verilen A, B, C ve D polinom katsayılarına yönelik tanımlamalar, R(t=0 °C) için verilen tanımlamaların benzerleridir. Tablolardaki “Maks. Kalıntı” değeri, eğri uydurması yapılan sıcaklık aralığında, eğri uydurması ile elde edilen direnç değerlerinin eğri uydurmada kullanılan veri seti arasındaki farkın (residual) en büyük değeridir.

Tablo 1. 1. Derece Polinom için Doğrulama Verileri

Skala	Veri Sayısı	R(t=0 °C), Ω Hesaplanan	Maks Kalıntı [ohm]	A Hesaplanan
		R(t=0 °C) Bağıl Hata		A Bağıl Hata
t < 0 °C	6	100	1,42E-14	5,00E-03
		0,00E+00		-3,47E-14
t > 0 °C	9	100	5,68E-14	5,00E-03
		1,42E-14		-1,73E-14
Tüm Bölge	14	100	5,68E-14	5,00E-03
		-2,84E-14		6,94E-14

Tablo 2. 2.Derece Polinom için Doğrulama Verileri

Skala	Veri Sayısı	R(t=0 °C), Ω Hesaplanan R(t=0 °C) Bağıl Hata	Maks Kalıntı [ohm]	A Hesaplanan A Bağıl Hata	B Hesaplanan B Bağıl Hata
t < 0 °C	6	100	5,68E-14	5,00E-03	-5,00E-07
		-1,42E-14		-1,21E-13	5,05E-11
t > 0 °C	9	100	1,71E-13	5,00E-03	-5,00E-07
		0,00E+00		6,94E-14	2,03E-12
Tüm Bölge	14	100	5,68E-14	5,00E-03	-5,00E-07
		-2,84E-14		8,67E-14	1,44E-12

Tablo 3. 3.Derece Polinom için Doğrulama Verileri

Skala	Veri Sayısı	R(t=0 °C), Ω Hesaplanan R(t=0 °C) Bağıl Hata	Maks Kalıntı [ohm]	A Hesaplanan A Bağıl Hata	B Hesaplanan B Bağıl Hata	C Hesaplanan C Bağıl Hata
t < 0 °C	3	100	0,00E+00	0,00E+00	-2,51E-04	-2,78E-06
		0,00E+00		-1,00E+02	5,00E+04	-5,56E+05
	4	100	1,42E-14	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		0,00E+00		-8,67E-14	7,09E-12	1,58E-10
	6	100	4,26E-14	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		-1,42E-14		2,60E-13	-2,62E-10	4,08E-09
t > 0 °C	9	100	5,68E-14	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		4,26E-14		-1,21E-13	-4,30E-12	-6,25E-12
	9	100	5,68E-14	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		4,26E-14		-1,21E-13	-4,30E-12	-6,25E-12
	9	100	5,68E-14	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		4,26E-14		-1,21E-13	-4,30E-12	-6,25E-12
Tüm Bölge	11	100	5,68E-14	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		-1,42E-14		1,39E-13	5,74E-12	6,95E-12
	12	100	1,14E-13	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		2,84E-14		1,04E-13	6,33E-12	5,50E-12
	14	100	1,14E-13	5,00E-03	5,00E-07	5,00E-10
		-2,84E-14		6,94E-14	-1,80E-12	-5,31E-12

Tablo 4. 4.Derece Polinom için Doğrulama Verileri

Skala	Veri Sayısı	R(t=0 °C), Ω Hesaplanan R(t=0 °C) Bağıl Hata	Maks Kalıntı [ohm]	A Hesaplanan A Bağıl Hata	B Hesaplanan B Bağıl Hata	C Hesaplanan C Bağıl Hata	D Hesaplanan D Bağıl Hata
t < 0 °C	4	100	4,26E-14	0,00E+00	-4,59E-04	-1,25E-05	-1,04E-07
		0,00E+00		-1,00E+02	9,17E+04	-2,50E+06	2,08E+09
	6	100	1,42E-14	5,00E-03	-5,00E-07	5,00E-10	-5,00E-15
		1,42E-14		1,34E-12	-1,14E-09	3,06E-08	-2,54E-05
Tüm Bölge	12	100	5,68E-14	5,00E-03	-5,00E-07	5,00E-10	-5,00E-15
		-2,84E-14		3,47E-14	-6,54E-12	-2,43E-11	-2,26E-09
	14	100	1,14E-13	5,00E-03	-5,00E-07	5,00E-10	-5,00E-15
		0,00E+00		6,94E-14	-3,94E-12	-2,95E-11	-3,56E-09

Tablo 5. CDV Eşitliği için Doğrulama Verileri

Skala	Veri Sayısı	R(t=0 °C), Ω Hesaplanan R(t=0 °C) Bağıl Hata	Maks Kalıntı [ohm]	A Hesaplanan A Bağıl Hata	B Hesaplanan B Bağıl Hata	C Hesaplanan C Bağıl Hata
t < 0 °C	3	100	2,84E-14	2,03E-02	6,84E-04	-4,48E-08
		1,42E-14		3,06E+02	-1,37E+05	2,24E+06
	4	100	5,68E-14	5,00E-03	-5,00E-07	-2,00E-12
		2,84E-14		2,46E-12	-9,10E-10	1,33E-08
	6	100	2,84E-13	5,00E-03	-5,00E-07	-2,00E-12
		-1,28E-13		-1,24E-11	4,87E-09	-7,64E-08
Tüm Bölge	11	100	1,71E-13	5,00E-03	-5,00E-07	-2,00E-12
		-2,84E-14		-4,68E-13	-2,18E-11	1,40E-11
	12	100	2,13E-13	5,00E-03	-5,00E-07	-2,00E-12
		-5,68E-14		5,03E-13	1,13E-11	-3,09E-12
	14	100	3,69E-13	5,00E-03	-5,00E-07	-2,00E-12
		8,53E-14		7,81E-13	3,53E-11	-2,06E-11

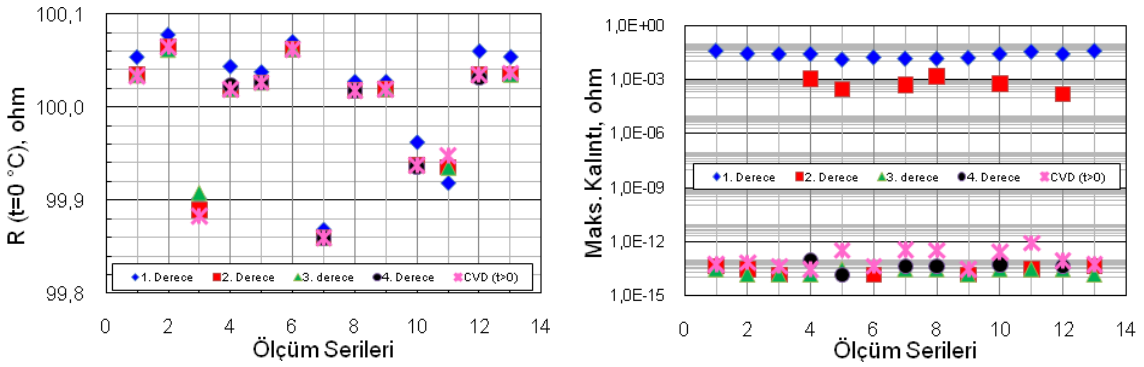
3. PRT KALİBRASYONLARINDA ELDE EDİLEN SICAKLIK-DİRENÇ VERİLERİNİN ANALİZİ

Farklı dönemlerde yapılan 14 adet PRT kalibrasyonundan elde edilen sıcaklık-direnç verilerinin analizi yapılmıştır. Bu kalibrasyonlardan elde edilen veriler, Ölçüm serileri S1, …, S14 olarak adlandırılmıştır ve sıcaklık aralıkları, ölçüm bölgelerine göre mevcut veri sayıları Tablo 6'da verilmiştir. Kalibrasyonlar, gelen talepler doğrultusunda farklı sıcaklık aralıklarında ve farklı veri sayılarında yapılmış oldukları anlaşılmaktadır.

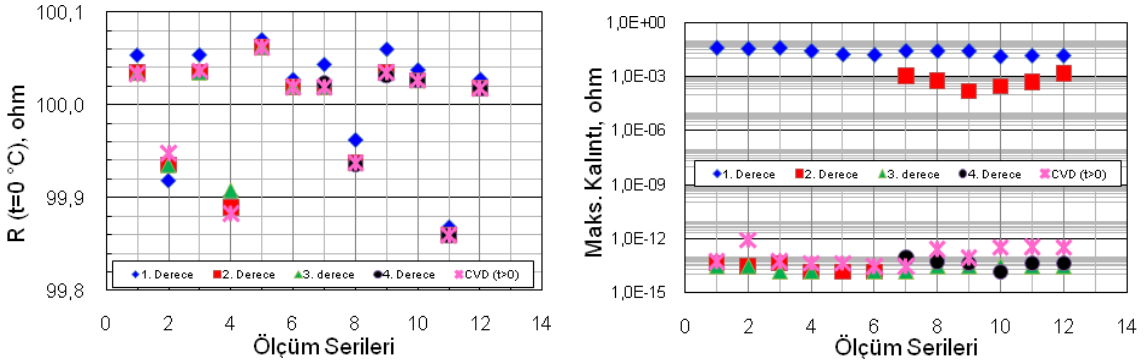
Tablo 6. Kalibrasyonlarda elde edilen ölçüm serilerine ait parametrik özellikler

Parametre	Ölçüm Serileri													
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
t < 0 °C için alt sıcaklık	-60	-50	-40	-60	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-60	-60	-60	-60
Veri Sayısı	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3
t > 0 °C için üst sıcaklık	550	400	500	650	540	400	420	450	400	400	550	550	550	500
Veri Sayısı	8	5	7	8	7	6	6	9	6	6	8	8	8	7
Toplam Veri Sayısı	11	8	10	11	11	9	9	13	10	9	12	11	12	10

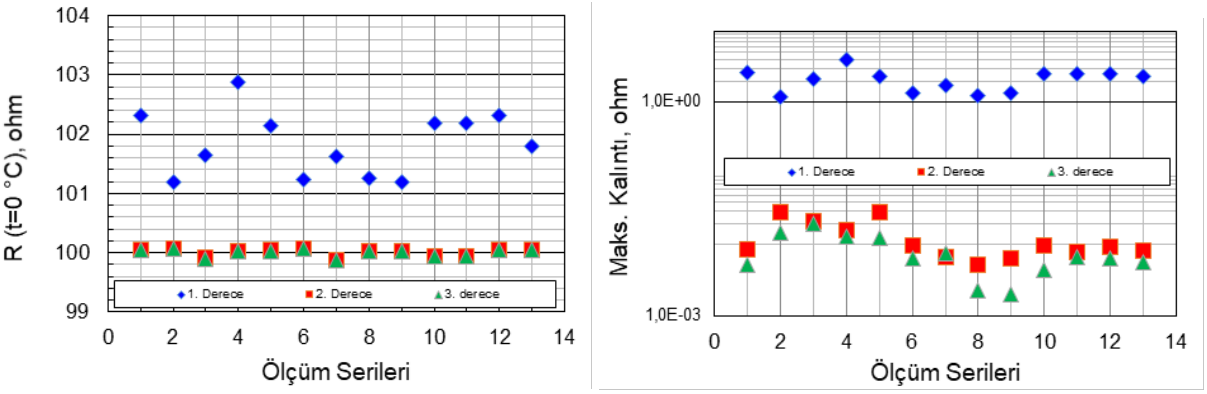
Eğri uydurma sonuçlarının değerlendirmesinde kullanılmak üzere, S1,…,S14 ölçüm serilerinin sıcaklık bölgeleri ve ver sayıları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre t<0 °C bölgesi alt sıcaklık değerleri, -60 °C, -50 °C ve -40 °C'dir. Bu bölgelerde ölçüm yapılmış olan sıcaklık değerleri (veri sayısı) 3 ve 4'tür. Aynı değerlendirme t>0 °C bölgesi için de yapılabilir. Sıcaklık aralıkları ve veri sayısı parametrelerinin aynı olduğu ölçüm serileri gruplandığında, t<0 °C bölgesi için aynı grup içinde yer alan ölçüm serilerinin "S1, S12, S14", "S3, S6, S10", "S4, S11, S13" ve "S5, S8, S9" oldukları görülür. t>0 °C bölgesi için aynı grup içindeki ölçüm serileri "S1, S11, S13", "S3, S5, S14" ve "S6, S9, S10"'dir. Kalibrasyonlarda elde edilen sıcaklık-direnç verileri, Matlab yazılım kullanılarak yazılan ve doğrulaması yapılan kod ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Şekil 1- 6'da verilmiştir.



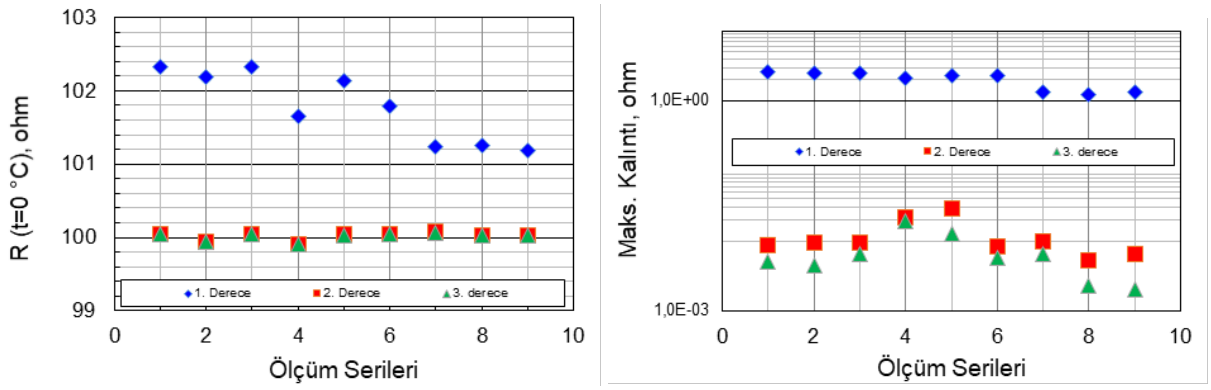
Şekil 1. t < 0 °C bölgesinde sırası ile (S1,…,S6,S8,…,S14) serileri için 0 °C sıcaklık değerine karşılık gelen direnç ve maksimum kalıntı (residual) grafikleri,



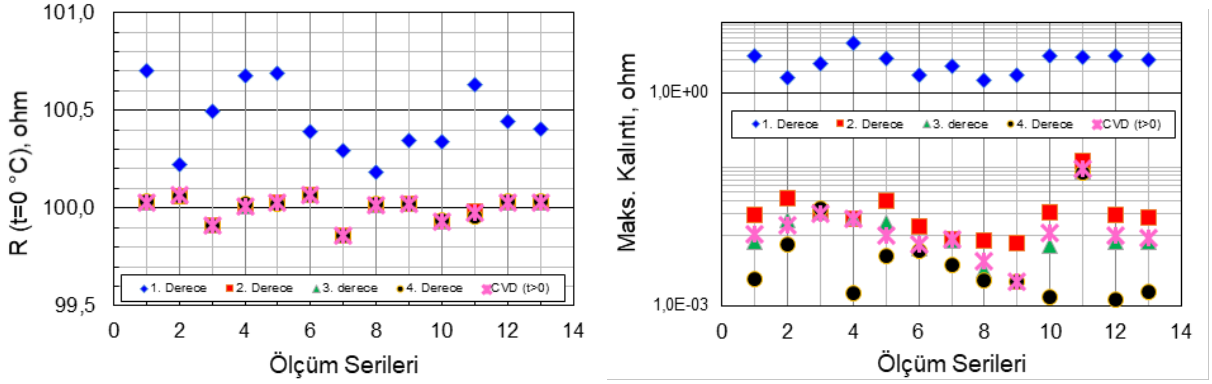
Şekil 2. t < 0 °C bölgesinde benzer sıcaklık ve veri aralıklı sırası ile (S1,S12,S14), (S3,S6,S10), (S4,S11,S13) ve (S5,S8,S9) serileri için 0 °C sıcaklık değerine karşılık gelen direnç ve maksimum kalıntı (residual) grafikleri



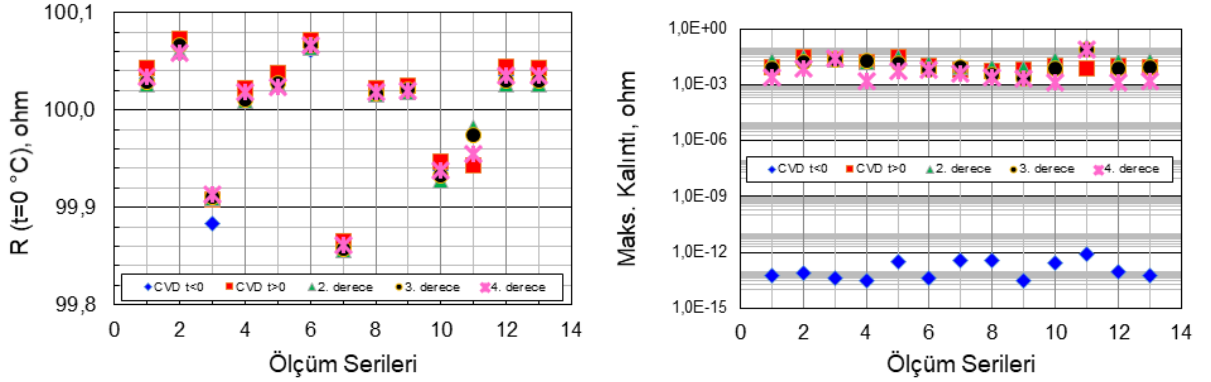
Şekil 3. t > 0 °C bölgesinde sırası ile (S1,…,S6,S8,…,S14) serileri için 0 °C sıcaklık değerine karşılık gelen direnç ve maksimum kalıntı (residual) grafikleri



Şekil 4. t > 0 °C bölgesinde benzer sıcaklık ve veri aralıklı sırası ile (S1,S11,S13), (S3,S5,S14) ve (S6,S9,S10) serileri için 0 °C sıcaklık değerine karşılık gelen direnç ve maksimum kalıntı (residual) grafikleri



Şekil 5. (-60 < t < 650) °C bölgesi içinde bulunan sırası ile (S1,…,S6,S8,…,S14) serileri için 0 °C sıcaklık değerine karşılık gelen direnç ve maksimum kalıntı (residual) grafikleri



Şekil 6. (S1,…,S6,S8,…,S14) serileri için 0 °C sıcaklık değerine karşılık gelen direnç değeri ve maksimum kalıntı (residual) grafikleri

a) CVD t<0°C, negatif sıcaklık bölgesi için,
b) CVD t>0°C, pozitif sıcaklık bölgesi için,
c) 2., 3. ve 4. derece, negatif ve pozitif sıcaklıkları aralığındaki tüm bölgeler

Tablo 6'dan görüleceği üzere S4 kodlu ölçüm serisi, en geniş sıcaklık aralığını oluşturmaktadır (-60 < t < 650) °C. Örnek olması amacı ile bu sıcaklık aralığındaki direnç kalıntı değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

Kalibre edilen PRT'lerin, 0 °C civarında ölçülen ve uygulana model fonksiyona bağlı olarak elde edilen R(t=0) direnç değerleri kullanılarak hesaplanan bağıl hata ve PRT sıcaklık katsayısı (α) parametreleri Tablo 7'de verilmiştir. PRT sıcaklık katsayısı, eğri uydurma sonucu elde edilen değerlerden eşitlik (7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / (R_0 * 100\ °C) \qquad (°C^{-1}) \qquad (6)$$

Tablo 7. PRT'lerin 0 °C civarında ölçülen ve eğri uydurma ile hesaplanan R(t=0) direnci için bağıl hata ve fit verileri ile hesaplanan sıcaklık katsayısı, α parametreleri

Parametre	Ölçüm Serileri													
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
dR/R (μΩ/Ω)	4,8	-17,9	54,9	-41,0	-20,4	47,7	9,5	18,5	9,9	4,4	14,9	192,1	40,5	4,9
α ($x10^{-3}$)	3,926	3,929	3,928	3,844	3,861	3,924	3,852	3,928	3,927	3,927	3,846	3,841	3,926	3,926

SONUÇ

Matlab yazılımı kullanılarak yazılan hesaplama kodunun doğrulama hesaplama sonuçları, Tablo 1 – Tablo 5, incelendiğinde; R(t=0) direnç değerinin (1) – (5) eşitlikleri ile belirlenen değerindeki en büyük bağıl hata değerinin $1{,}2 \cdot 10^{-13}$ mertebesinde olduğu görülür. Eğri uydurma ile hesaplanan ve (1) – (5) eşitlikleri ile hesaplanan direnç değerleri arasındaki fark olarak tanımlanan kalıntı değerlerindeki maksimum değer $1{,}2 \cdot 10^{-13}$ohm mertebesindedir. Bu değerlerin, direnç ölçümlerinden kaynaklan belirsizlikler dikkate alındığında ihmal edilebilir düzeyde oldukları, böylelikle yazılan kodun doğrulaması yapılmış olduğu teyit edilmiş olur.

13 adet kalibrasyon sonucunun değerlendirmesinin yapıldığı Şekil 1 – Şekil 6 verilerinden, R(t=0) direncinin belirlenmesiyle hesaplanan maksimum kalıntının 1. dereceden polinomdan geldiği görülmektedir.

Şekil 1 ve 2'den t < 0 °C bölgesi için 2 ve daha yüksek dereceli polinomlar için maksimum kalıntı $1 \cdot 10^{-13}$ ohm mertebesinde olup, 4. derece polinom CVD' ye göre daha 10 mertebesi kadar daha küçük kalıntı sağlamıştır.

Şekil 3 ve 4'ten t > 0 °C bölgesi için maksimum kalıntı değerinin 2. dereceden polinom için 30 mΩ, 3. dereceden polinom için 20 mΩ mertebelerinde olduğu görülmüştür. Bu bölgede elde edilebilen minimum kalıntı değerleri, 2. derece polinom için 5 mΩ, 3. derece polinom için 2 mΩ mertebelerindedir. 13 kalibrasyon sonucu için eğri uydurmanın standart sapma değeri, maksimum kalıntı için 6,8 mΩ, minimum kalıntı için 2,3 mΩ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5 ve 6 incelendiğinde tüm ölçümlerin yapıldığı tüm sıcaklık bölgesi için, maksimum kalıntı değerleri, 2. derece polinom için 110 mΩ, 3. derece polinom için 80 mΩ, 4. derece polinom için 75 mΩ, CVD eşitliği için 90 mΩ mertebelerindedir. Minimum kalıntı değerlerinin, 2. derece polinom için 8 mΩ, 3. derece polinom ve CVD için 2 mΩ, 4. derece polinom için 1 mΩ mertebelerindedir. Sadece 3 ve 4. dereceli polinomlar dikkate alındığında 13 kalibrasyon sonucu için eğri uydurmanın standart sapma değeri, maksimum kalıntı için 6,7 mΩ, minimum kalıntı için 0,5 mΩ olarak hesaplanmıştır.

t < 0 °C, t > 0 °C ve t_1 < 0 °C <t_2 ölçüm bölgelerindeki sonuçların birbirleri ile karşılaştırmaları dikkate alınırsa, PRT'lerin sıcaklık-direnç ilişkilerinin belirlenmesinde, t < 0 °C ve t > 0 °C bölgeleri için ayrı polinom kullanılması, eğri uydurma sonuçlarında t_1 < 0 °C <t_2 bölgesinden elde edilen değerlere göre daha küçük kalıntı değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Nominal direnç değerleri aynı olan her bir PRT genel olarak benzer davranış gösterse de kalıntı analizinin yapılması kalibrasyon ölçüm belirsizlik değerlendirmelerine katlı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] LOS, J.M., “The Calibration of Platinum Resistance Thermometers in the Temperature Range 11 K to 90 K”, Canadian Journal of Physics Vol. 29, pp 142-150.
[2] MOISEEVA, N. P., “Individual Calibration Of Resistance Thermometers for Measuring Temperature Difference”, Measurement Techniques, Vol. 53, No. 9, 2010.
[3] VAN DUSEN, M. S., “Platinum-Resistance Thermometry at Low Temperatures”, https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01679a007
[4] FERNICOLA, V. C., “Approximating the ITS-90 Temperature Scale with Industrial Platinum Resistance Thermometers”, Int J Thermophys (2008) 29:1817–1827 DOI 10.1007/s10765-008-0463-4
[5] YANG, I., “Interpolating Equation Of Industrial Platinum Resistance Thermometers in The Temperature Range Between 0 °C And 500 °C”, Meas. Sci. Technol. 26 (2015) 035104 (7pp), doi:10.1088/0957-0233/26/3/035104.
[6] BOJKOVSKİ, J., “Practical Limits of Measurement Uncertainties in Calibration of Standard Platinum Resistance Thermometers by Comparison”, XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, September 6-11, 2019.
[7] RIBERIO., A. S., “Uncertainty Evaluation and Validation of a Comparison Methodology to Perform In-house Calibration of Platinum Resistance Thermometers using a Monte Carlo Method”, Int J Thermophys (2008) 29:902–914. DOI 10.1007/s10765-008-0409-x
[8] Zand, M., “A New Experimental Procedure for Estimating and Predicting of a Standard Platinum Resistance Thermometer (SPRT) Lifetime in a Case Study”, 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation (ICCIA), 2011.
[9] BS EN 60751, “Industrial Platinum Resistance Thermometers and Platinum Temperature Sensors”, 2008
[10] ASTM E644-11, “Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers”, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Eyüp BİLGİÇ

1966 yılı Ankara doğumludur. 1988 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendislik Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Anadolu Üniversitesi’den Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nden Doktor ünvanı almıştır. 1991 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarında çalışmaktadır. Halen Akustik Laboratuvarı sorumlusu, TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde Baş denetçi, teknik alanda denetçi olarak görev yapmaktadır.

Murat KALEMCİ

1972 yılı İzmir doğumludur. Bornova Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü’nden 1996 yılında mezun olmuştur. 1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü’nden Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2011 yılında ise Yeditepe Üniversitesi’nden Doktor ünvanı almıştır. 1998 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Sıcaklık Laboratuvarında çalışmaktadır. 2011 yılından bu yana Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olup TÜBİTAK UME’nin EURAMET TC-T ve BIPM CCT nezdinde temsilciğini yapmaktadır. Ayrıca TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde denetçi olarak görev yapmaktadır.

Mücahit KORKMAZ

1994 yılı Manisa doğumludur. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Bölümünden 2014 yılında mezun olmuştur. 2014 yılında Vestel Beyaz Eşya A.Ş. Test ve Ar-Ge Laboratuvarı’nda test teknikeri olarak göreve başlamıştır. 2017 yılı Ocak ayından itibaren UME Sıcaklık Laboratuvarında teknisyen olarak görev yapmaktadır.

Melda PATAN ALPER

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü, 2007 yılında Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yüksek Lisansını, 2019 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2004-2006 yılları arasında Simkal Kalibrasyon Merkezinde Sıcaklık Kalibrasyon Laboratuvarı sorumlusu ve kalite yönetim sistemi vekili olarak görev almıştır. 2006 yılından bu yana Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı kalite sistem yöneticisi, sıcaklık kalibrasyon laboratuvarı sorumlusu, Fizik Bölümü öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2008 yılından buyana TÜRKAK sıcaklık kalibrasyonları alanı denetçisi ve 2014 yılı itibarı ile başdenetçi olarak görevini sürdürmektedir.

Mehmet K. TORUN

1976 yılı İstanbul doğumludur. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri bölümünü, 2006 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansını ve 2017 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Doktorasını tamamlamıştır. 2007 yılından 2011 yılına kadar Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon laboratuvarı Kalite Sistem Yönetici vekili, 2007 yılından günümüze Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölümü PHYS 102, PHYS 308 ve PHYS 319 derslerinin laboratuvar sorumlusu, 2011 yılından 2017 yılına kadar Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı Sıcaklık Laboratuvar yardımcısı ve 2018 yılından günümüze Boyut Laboratuvar sorumlusu olarak görevini sürdürmektedir.

Ahmet T. İNCE

1962 yılı Zara-Sivas doğumludur. 1992 yılında, İngiltere, Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Enstrümantasyon ve Analitik Bilim bölümünden (DIAS-UMIST) doktorasını almıştır. 1992-1994 yılları arasında doktora sonrası çalışmalarında Londra Üniversitesinde devam etmiştir. 1993-1998 yılları arasında TÜBİTAK UME' de Fizik grup Başkanı ve Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olarak çalışmıştır. 1997 yılında Doçentlik ve 2002 yılında da Profesörlük ünvanını almıştır. 1998 yılında Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı olarak çalışmaya başlamıştır. 2002-2005 yılları arası Yeditepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Dekan yardımcılığı görevini yapmıştır. 2005 yılından bu yana ise aynı fakültenin dekanlık görevini sürdürmektedir. 2016-2018 yılları arasında Yeditepe Üniversitesi Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2012 yılından bu yana TÜBİTAK-UME Sıcaklık laboratuvarının danışmanlığını yapmaktadır. Ayrıca, TÜRKAK denetçisi, Baş Denetçisi olarak görev almakta olup, yaklaşık 8 yıl TÜRKAK Sektör Komitesi Başkanlığı yapmıştır.

ISILÇİFT KALİBRASYONLARINDA HİSTEREZİS ETKİSİNİN ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNE KATKISI

Melda PATAN ALPER
Ahmet T. İNCE
Maria AIORDACHIOAIEI
Berfu NACAR

ÖZET

Termokupllar (ısılçiftler), geniş ölçüm aralıkları ve yüksek sıcaklık ölçüm kabiliyetleri nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılan termoelektrik sensörlerdir. Isılçiftler ile yapılan ölçümlerde histerezis etkisi ölçüm belirsizliğini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Araştırmalar göstermektedir ki bazı mekanik işlemlerle histerezis etkisi azaltılabilir ve böylelikle ölçüm belirsizliği düşürülebilir. Bu çalışmada 200...+1000 °C sıcaklık aralığında S tipi (soy metal) ısılçiftlere bu mekanik işlemlerden biri olan tavlama işlemi uygulandı ve tavlama işleminin ölçüm belirsizliği bütçesine olan etkisi araştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Isılçift, Histerezis, Tavlama

ABSTRACT

Thermocouples are thermoelectric sensors commonly used in the industry due to their wide measuring range and high temperature measurement capabilities. Hysteresis effect in thermocouples is one of the important factors affecting the uncertainty of measurement. Research has shown that the effect of hysterisis can be reduced by certain mechanical procedures, thereby reducing measurement uncertainty. In this study, annealing process, which is one of these mechanical processes, was applied to S type (noble metal) thermocouples in the temperature range of 200 ... + 1000 ° C and the contribution of annealing to the measurement uncertainty budget was investigated.

Key Words: Termocouple, Hysteresis, Annealing

1. GİRİŞ

Termokupllar -200°C'den +2320°C'ye kadar geniş ölçüm aralığına sahip sıcaklık sensörleridir. Geniş ölçüm aralıkları, düşük maliyeti, dayanıklılıkları, kullanım ömrünün uzun olması sebebiyle demir-çelik endüstrisinden, kimya sanayine, nükleer santrallerden, ilaç endüstrisine kadar geniş kullanım alanına sahiptir. Kullanımı en basit sıcaklık sensörleridir, yaygın olarak yüksek sıcaklık ölçümlerinde kullanılırlar. Isılçiftlerin uçları birbiri üzerine dolanmış, farklı metallerden (alaşım) iki telden oluşur. Birbirine dolanmış burulu uçlar ısındığında sıcaklığa bağlı bir gerilim doğar. Kaynak noktası sıcak nokta (ölçüm noktası), açık iki uç soğuk nokta (referans noktası) olarak adlandırılır. Tellerin açık uçları, elektrik gerilimi farkını ölçmeye yarayan bir aygıt olan duyarlı bir voltmetreye bağlıdır. Termokupllar 3 ana grupta incelenir.

1. Asil Metal Termokupllar (S, R, B)
2. Baz Metal Termokupllar (N, K, E, T)
3. Refrakter Metal Termokupllar (C, G, D)

Asil metal olan birinci grup S, R ve B tipi termokupllar genellikle kalibrasyon işlemlerinde referans olarak kullanılmaktadırlar [1-4]. Özellikle yüksek sıcaklık ölçümlerinde ihtiyaç duyulan ısılçiftlerin

avantajlarının yanısıra ölçümlerde histerezis etkisinin direnç termometrelere göre yüksek olması dezavantaj olabilmektedir. Termoelektrik histerezis, termokupl kalibrasyonlarında ölçüm belirsizliğini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Histerezis, termokuplların performansını doğrudan etkiler, maruz kalınan sıcaklık değişimleri termokuplların kristal yapısında kaçınılmaz şekilde değişiklik meydana getirir, bu da kalibrasyon süresince yukarı ve aşağı döngülerde alınan ölçümler arasında farklılığa sebep olur. Bu düzensizlik olayı genellikle 200 ºC ile 600 ºC arasında meydana gelir [5-11]. Termokupların kristal yapılarındaki bu deformasyonun tavlama işlemi ile onarabileceğini biliyoruz [12]. Tavlamanın termokupllar üzerindeki etkisi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen genel olarak, tavlama işlemi iki farklı sıcaklıkta, 450 ºC ve 1000 ºC'de yapılmaktadır [13-17]. Bu çalışmanın amacı, tavlama işlemi yapılan termokupllarda histerezis değişimi ve histerezisin ölçüm belirsizliğine olan katkısını araştırmaktır.

2. CİHAZLAR

Deney düzeneğinde doğrusal gradyan Carbolite TZF 3 bölgeli tel sargılı boru fırın (Model: TZF12 / 100/900 Seri No: 20-400710), İki özdeş S Tipi termokupl Platin / % 10 Rodyum-Platin, 4.8 mm çapta 210 mm uzunlukta (Fluke, Model: 5650 Seri Numarası: 9294 ve 10112) kullanılmıştır. Veriler 8.5 basamaklı multimetreden elde edilmiştir (Fluke, Model: 8508A Seri Numarası: 860948247). Tüm sıcaklık kalibrasyonlarında olduğu gibi, bu çalışmada da kararlı, homojen bir ısı kaynağı ölçümlerin en önemli unsurudur. Çalışmalara başlamadan önce fırının sıcaklık profili yani homojenliği ve stabilitesinin etkisini belirlemek için dikkatli bir değerlendirme yapılmıştır. Bu analiz sonucuna göre fırının ideal bölgesi seçilerek, ölçümlerin tümü bu bölgede gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de fırının stabilite ve homojenite değerleri verilmektedir, bu değerler ölçüm belirsizliği hesaplarında değerlendirmeye katılmıştır.

Tablo 1. Carbolite TZF 3 bölgelifırın stabilite ve homojenite değerleri

Ölçüm Bölgesi	**Stabilite/**°C	**Homojenite/**°C
200-500 °C arası	0.05	0.6
500-800 °C arası	0.07	0.8
800-1000 °C arası	0.10	1.2

3.METOT VE ÖLÇÜMLER

S tipi termokupllar multimetre ile bağlantı noktasında, ortam sıcaklığı nedeniyle meydana gelen potansiyel fark (emf) 0 °C buz noktası kullanılarak ortadan kaldırılır. Multimetreye bağlanan termokupllar fırının içine yatay olarak yerleştirilmiş ve çalışma boyunca tam olarak aynı pozisyonda tutulmuştur. Tavlama işleminden önce, termokupların ölçümü iki aşamalı bir döngüde gerçekleştirilmiştir, ilk ölçümler **ısıtma** olarak adlandırılmış 200 ºC'den 1000 ºC'ye (düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa) ve **soğutma** sürecinde ise 1000 ºC'den 200 ºC'ye (yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa) gerçekleştirilmiştir. Yukarı ve aşağı yönlü 2 setten oluşan bir döngü (1. set yukarı yönlü alınan ölçümler, 2.set aşağı yönlü alınan ölçümler) aynı sıcaklıklarda 200, 400, 600, 800, ve 1000 ºC'de gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm noktası için 10 sn aralıklarla en az 20 değer alınmıştır. Belirtilen işlemler tavlama işlemi öncesi gerçekleştirilmiştir.

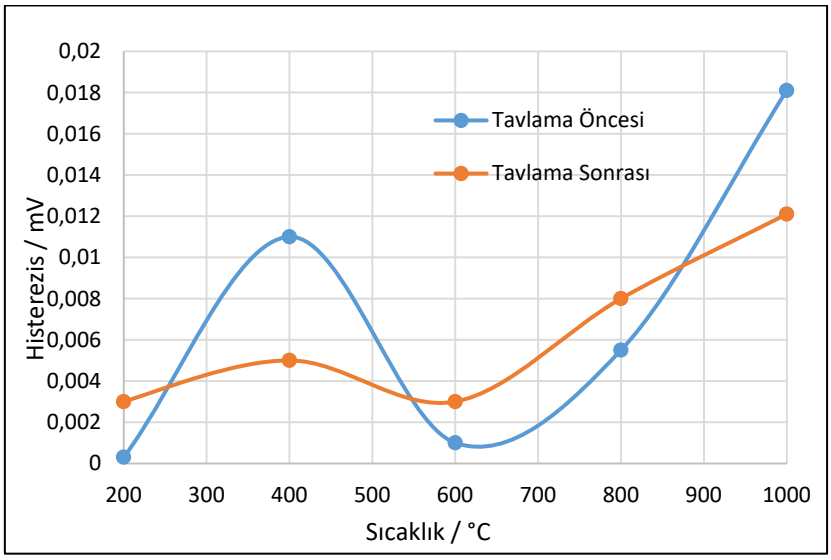
İlk döngü tamamlandıktan sonra her iki termokuplda 1100 ºC'ye ayarlanan fırında, fırın termal dengeye ulaştığında yavaşça 50 cm'lik termokupl uzunluğu boyunca fırına yerleştirildi ve 4 saat süreyle ısıl işleme tabi tutuldu, 4 saatlik işlem bittiğinde fırın kapatılarak oda sıcaklığına kendi kendine ulaşması için bekletildi, bu sırada termokupllar fırın içinde yavaş soğumaya bırakıldı. Fırının soğutma hızı, 300-1200 °C aralığında 50 ° C / saat. Ölçümler tamamlandıktan yaklaşık 24 saat sonra, fırın tamamen ortam sıcaklığına ulaştığında ısılçiftler fırından çıkarıldı ve buz noktası ölçümleri alındı. Buz noktası ölçümleri, ölçümler sırasında termokupllar için sıcaklıktaki herhangi bir değişikliğin olup olmadığını kontrol etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Tavlama işlemi sonrasında termokupllar yeniden yukarıda belirtilen şekilde ölçülmüştür, ilk aşamada ısıtma 200 ºC'den 1000 ºC'ye, ikinci işlem soğutma 1000 ºC'den 200 ºC'ye tekrarlanmıştır ve aynı ölçüm noktalarındaki sıcaklık farkları hesaplanmıştır. Her ölçüm noktasının ısıtma ve soğutma ölçümleri arasındaki sıcaklık farkları, histeresis değeri olarak varsayılmıştır. Elde edilen bu histerezis değerleri ölçüm belirsizliği hesabında kullanılarak, histerezisin

ölçüm belirsizliğine katkısı analiz edilmiştir. Bu değerlendirme tavlama öncesi ve sonrası tüm ölçümleri kapsamaktadır.

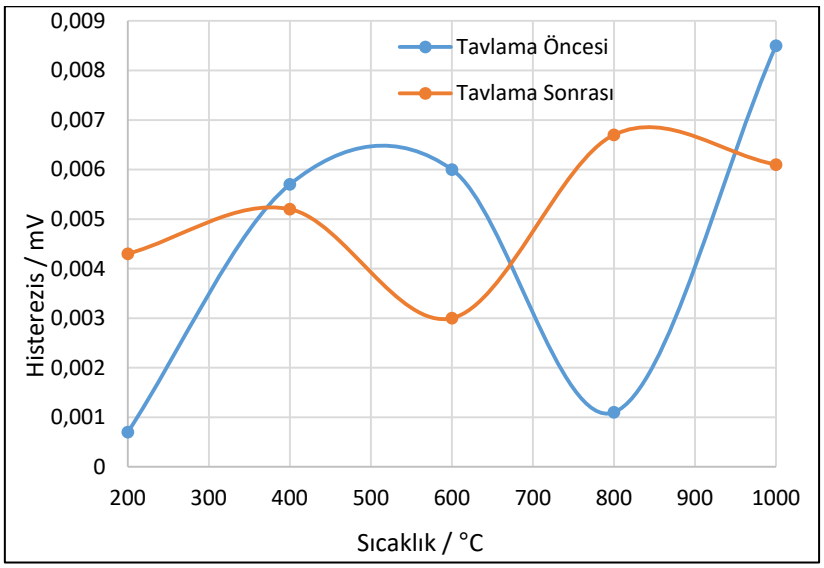
Termokupların tavlama işleminden önce ve sonra ısıtma ve soğutma döngüsünde alınan ölçümler arasındaki fark yani histerezis değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tavlama öncesi ve tavlama sonrası S tipi termokupların histerezis değerleri

Sıcaklık (ºC)	Tavlama Öncesi Isıtma-Soğuma (mV)	4 Saat Tavlama Sonrası (Isıtma-Soğuma) (mV)	Tavlama Öncesi Isıtma-Soğuma (mV)	4 Saat Tavlama Sonrası (Isıtma-Soğuma) (mV)
	Seri:9294	Seri:9294	Seri:10112	Seri:10112
200	0.001	0.003	0.0007	0.0043
400	0.011	0.005	0.0057	0.0052
600	0.001	0.003	0.0060	0.0030
800	0.006	0.008	0.0011	0.0067
1000	0.018	0.012	0.0085	0.0061



Şekil 1. 9294 seri numaralı S tipi termokupl sıcaklık histerezis değişim grafiği



Şekil 2. 10112 seri numaralı S tipi termokupl sıcaklık histerezis değişim grafiği

Çalışmanın ikinci aşaması ölçüm belirsizliği hesaplarını kapsar. Bu kısımda ölçümlere etki eden bütün belirsizlik parametreleri değerlendirilmiştir. Tablo 3'de 1000 °C de örnek olarak 9294 seri numaralı termokupla ait tavlama öncesi belirsizlik hesabı verilmiştir. Ölçümü etkileyen önemli parametrelerden histerezis etkisi de bu bütçede yerini almıştır ve sonuçlara olan etkisi analiz edilmiştir. Tavlama öncesi ve tavlama sonrası histerezis değerleri bütçeye ayrı ayrı yerleştirilmiştir ve ısılişlem sonrası toplam belirsizlikteki değişiklikler incelenmiştir. 1000°C'de her iki termokupla ait tavlama öncesi ve tavlama sonrasına ait genişletilmiş belirsizlik değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. 9294 seri numaralı S tipi termokuplun 1000 °C'de gerçekleştirilen ölçümüne ait ölçüm belirsizliği hesabı

Belirsizlik Kaynakları		**Kısmi Belirsizlikler**							
Belirsizlik Bileşeni	**Tahmini Değer (ºC)**	**Sembol**	**Tipi**	**Belirsizlik**	**İstatistiksel Dağılım**	**Hassasiyet Katsayısı (Duyarlılık)**	**Bölen**	**Standart Belirsizlik (ºC)**	**Varyans (ºC)**
Referans Termometreden Okunan Değer	1000	t_S							
Referans Term. Drift (1 yıl)	0	δt_{RTD}	B	0.01 ºC	Dikdörtgen	1	1.73	0.00578	33.4E-06
Referans Term. Belirsizliği	0	δt_{RU}	B	1.0 ºC	Normal	1	2	0.5	0.25
Referans Term. Kararlılığı	0	δt_{RS}	A	0.00039 mV	Normal	100 ºC/ mV	1	0.0325	1.06E-03
Multimetre 0-100mV bölgesi Belirsizlik	0	δV_{RG}	B	0.0025 mV	Normal	20 ºC/ mV	2	0.025	625.0E-06
Multimetre Çözünürlük	0	δV_{RR}	B	0.00001 mV	Dikdörtgen	100 ºC/ mV	1.73	5.78E-04	3.34E-07
Multimetre Kayma	0	δV_{RGD}	B	0.0037 mV	Dikdörtgen	20 ºC/ mV	1.73	0.043	0.00185
Bağlantı Kablolarından Gelen Belirsizlik	0	δV_{XK}	B	0.0020 mV	Dikdörtgen	137ºC/mV	1.73	0.158	0.025
İnhomojenite Testi	0	δV_{XI}	B	0.00102 mV	Dikdörtgen	137ºC/mV	1.73	0.081	0.0065
Fırın Stabilite	0	δt_{FS}	A	0.1 ºC	Normal	1	1	0.1	0.01
Fırın Homojenite	0	δt_{FH}	B	1.2 ºC	Dikdörtgen	1	1.73	0.693	0.48
Delikler Arası Fark	0	δt_{FX}	B	0.5 ºC	Dikdörtgen	1	1.73	0.289	0.083
Buz Noktası Belirsiz.	0	δt_{BN}	B	0.0044 ºC	Normal	1	2	0.0022	4.84E-06
Test Çözünürlük	0	δV_{XR}	B	0.00001 mV	Dikdörtgen	20ºC/mV	1.73	115.6E-06	13.4E-09
Test Term. Kararlılık	0	δV_{XS}	A	5.0E-04 mV	Normal	100ºC/mV	1	0.05	2.5E-03
Test Term. Histerezis	0	δV_{XH}	B	0.018mV	Dikdörtgen	100ºC/mV	1.73	1.0404	1.082
Kalibre Edilen Termometreden Okunan Değer		t_X							
Toplam Belirsizlik=u(tx)								1.39 ºC	
Genişletilmiş Belirsizlik=U =k.u(tx) k=2(%95 güvenilirlik)								2.78 ºC	

Tablo 4. Tavlama işlemi öncesi ve sonrasında termokupllara ait belirsizlik değerleri

	Belirsizlik ±°C (Seri No:9294)	Belirsizlik ±°C (Seri No:10112)
Tavlama Öncesi	2.78	2.10
Tavlama Sonrası	2.31	1.98

SONUÇ

Bu çalışmada S tipi termokuplların histerezis etkisi incelenmiştir. Tavlama işleminin histerezis değerinde düşüse sebep olduğu yapılan ölçümlerden anlaşılmaktadır. Kalibrasyonlarda belirsizlik değerini düşürmek tavlama işlemi ile mümkündür. 1000°C de belirsizlik tavlama işlemi ile 0.5 °C düşürülebilmekte. Her iki termokuplda benzer belirsizlik değerlerinin görülmemesinin sebebi, 10112 seri numaralı termokuplun yeni olmasından kaynaklanıyor olabilir, 9294 seri numaralı termokupl daha uzun süredir yüksek sıcaklık değişimlerine maruz kalmakta bu sebeple kristal yapısı zaman içerisinde fazlasıyla bozulmuş olabilir ve tavlama işlemi daha etkili sonuçlar verebilir. Sonuçlar göstermektedir ki ısılişlem yada tavlama işlemi termokuplların histerezis değerinde önemli ölçüde değişikliğe ve belirsizlik değerinde düşüşe sebep olur.

Sonraki çalışmalarda tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı değiştirilerek histerezis etkisindeki değişiklik araştırılacaktır. Bununla birlikte farklı tipteki termokupllara ısılişlem uygulanacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Fisher, J., Fellmuth, B., “Temperature Metrology, Rep. Prog.” Phys. 68 (2005) 1043-1094
[2] Bentley, Robin E. “Thermocouples in Temperature Measurement”, National Metrology Institute of Australia, Lindfield, 2004
[3] Quinn, T.J., “Temperature, 2. ed.” (Academic Press, San Diego, 1990), pp. 286-288
[4] Bums, G. W., Scroger, M.G., “The Calibration of Thermocouples and. Thermocouple Materials”, NIST,1989. ↵
[5] Pavlasek, P, Elliott, C J, Pearce, J V, Duris, S, Palencar, R, Koval, M, Machin, G, Hysteresis Effects and Strain-Induced Homogeneity Effects in Base Metal Thermocouples, Int. J. Thermophysics, 2015, 36, (2-3), 467-481
[6] F. Edler, H. Lehmann, Mechanical stability of Pt/Pd thermocouples, CCT/03-10, BIPM open-access document, http://www1.bipm.org/cc/CCT/Allowed/22/CCT03-10.pdf, (2009)
[7] D.D. Pollock, Thermocouples Theory and Practice, p. 225, CRC press, Boca Raton, Florida, (1991), ISBN 0-8493-4243-0
[8] F. Jahan,M. Ballico,in Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, vol.7, ed. by D.C. Ripple , New York: AIP, pp. 469–474, (2003)
[9] A. Mangano, G. Coggiola Stability of K-, N- and S-type thermocouples in the temperature range from 0 °C to 1060 °C Measurement, 12 (1993), pp. 171-182
[10] T.G. Kollie, J.L. Horton, K.R. Carr, M.B. Herskovitz, C.A. Mossman Temperature measurement errors with type K (Chromel vs Alumel) thermocouples due to short-ranged ordering in Chromel Rev. Sci. Instrum., 46 (1975), pp. 1447-1461
[11] M. Scervini, C. Rae, The contributions to drift of positive and negative thermoelements in type K bare-wire thermocouples, Temperature: its measurement and control in science and industry Volume 8: Proceedings of the Ninth International Temperature Symposium. Vol. 1552. No. 1, AIP Publishing (2013), pp. 564-569
[12] E.S. Webster, Effect of Annealing on Drift in Type S Thermocouples below 900°C, August 2015, International Journal of Thermophysics 36(8)

[13] K. D. Hill, an Investigation of Pd Oxidation in the Pt/Pd Thermocouple System, Metrologia · February 2002
[14] F. Jahan · M. J. Ballico, Annealing State Dependence of the Calibration of Type R and Type S Thermocouples, Int J Thermophys (2010) 31:1544–1553
[15] G. W. Burns and D. C. Ripple, Variations in the Thermoelectric Behavior of Palladium Following Heat Treatment, TEMPMEKO 2001 conference, 2001
[16] D.C. Ripple, Thermoelectric Properties of a Selected Lot of Gold versus Platinum Thermocouples, Proceedings TEMPMEKO 2004, Dubrovnik
[17] E.S. Webster, Effect of Annealing on Drift in Type S Thermocouples below 900 °C, Int.J.Thermophys 2015

ÖZGEÇMİŞ

Melda PATAN ALPER

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü, 2007 yılında Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yüksek Lisansını, 2019 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2004-2006 yılları arasında Simkal Kalibrasyon Merkezinde Sıcaklık Kalibrasyon Laboratuvarı sorumlusu ve kalite yönetim sistemi vekili olarak görev almıştır. 2006 yılından bu yana Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı kalite sistem yöneticisi, sıcaklık kalibrasyon laboratuvarı sorumlusu, Fizik Bölümü öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2008 yılından buyana TÜRKAK sıcaklık kalibrasyonları alanı denetçisi ve 2014 yılı itibarı ile başdenetçi olarak görevini sürdürmektedir.

Ahmet T. INCE

1962 yılı Sivas doğumludur. 1992 yılında, Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Enstrümantasyon ve Analitik Bilim bölümünden (DIAS-UMIST) doktorasını almıştır. 1992–1994 yılları arasında doktora sonrası çalışmalarında Londra Üniversitesinde devam etmiştir. 1994–1998 yılları arasında TÜBİTAK UME' de Fizik grup Başkanı ve Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olarak çalışmıştır.

1997 yılında Doçentlik ve 2002 yılında da Profesörlük ünvanını almıştır. 1998 yılında Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı olarak çalışmaya başlamıştır. 2002-2005 yılları arası Yeditepe Üniversitesi Fen–Edebiyat Fakültesi Dekan yardımcılığı görevini yapmıştır. 2005 yılından bu yana ise aynı fakültenin dekanlık görevini sürdürmektedir. 2016-2018 yılları arasında Yeditepe Üniversitesi Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2012 yılından bu yana TÜBİTAK-UME Sıcaklık laboratuvarının danışmanlığını yapmaktadır. Ayrıca, TÜRKAK denetçisi, Baş Denetçisi olarak görev almakta olup, yaklaşık 8 yıl TÜRKAK Sektör Komitesi Başkanlığı yapmışıtır.

Maria AIORDACHIOAIEI

1959 yılı Romanya doğumludur. 1985 yılında Romanya Gheorghe Asachi Teknik üniversitesini bitirmiştir.1985-1992 yılları arasında Romanya Nükleer Santral Kalibrasyon Laboratuvarında çalışmıştır. 2003 yılındandan itibaren Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarında kalibrasyon uzmanı olarak görev almaktadır.

Berfu NACAR

1995 Adana doğumludur. Adana Gündoğdu Kolejinden mezun olmuştur. İstek Belde Okulları gözlemevinde staj yapmıştır. 2019 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü başarı ile tamamlamıştır.

METROLOJİ LABORATUVARLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK DEĞERLENDİRMESİ

İclal YÜKSEL

ÖZET

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 4 üncü maddesine göre risk değerlendirmesi; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları ifade eder. Yine aynı kanunda 10 uncu maddesine göre ise işverenler, iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmakla yükümlüdür. [1]

Metroloji Laboratuvarı çalışma alanları ölçülebilir risklerle doludur. İş hayatında en önemli faktör insan olduğundan, çalışanların sağlık ve güvenliğini kontrol altında tutabilmek için laboratuvarların tasarım ve kuruluşundan başlayarak, eğitimleri, sağlık gözetimleri, mevcut durum değerlendirmesi, ortam ölçümleri vb. unsurlar yönünden çalışma alanları değerlendirilmelidir. Bu çalışma Metroloji Laboratuvarlarında oluşabilecek iş sağlığı ve güvenliği açısından oluşan riskleri tanımlamayı, analiz etmeyi, riski yönetmeyi içeren nitel bir çalışma olarak katkı sunmayı hedeflemektedir. Çalışmada TÜBİTAK Metroloji Laboratuvarları örneğinden yola çıkılarak mevzuat kapsamında risk yönetimi konusunda farkındalık ve ayrıntılı risk planı ve çözüm önerileri sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Risk Yönetimi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Risk Değerlendirme, Metroloji Laboratuvarı

ABSTRACT

Risk assessment according to Article 4 of Occupational Health and Safety Law number 6331; Identify the hazards that may or may not come from the workplace, the factors that cause these hazards to be transformed into risks and the studies to be done in order to analyze and rate the risks arising from the hazards and to decide the control measures. Again, according to Article 10 of the same law, employers are obliged to carry out or make a risk assessment in terms of occupational health and safety.

The Metrology Laboratory's workability is full of measurable risks. In order to keep the health and safety of the employees under control, the most important factor in the business life is to keep the health and safety of the employees under control. In terms of elements can be evaluated in the study table. This study aims to define the required occupational healty and safety risks that may occur in Metrology Laboratories, and to provide a qualitative study that includes analysis and risk management. In the study, TUBITAK Metrology Laboratories will finally be able to set out, a risk management planning and planning risk plan and solutions will be presented.

Key Words: Risk assessment, workers, metrology laboratory, healty and safety

1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği; İşyerlerinde çalışanların iş kazası ve meslek hastalığı oluşmaması açısından işveren tarafından konulan kurallar, talimatlar ile yasal mevzuata uyumlu olma amacı ile kurulan sistemli bir çalışma şeklidir.

İş sağlığı ve güvenliği, ülkemizin AB süreci ile yoğunlaştığı ve son yıllarda önem verdiği konular arasına girmiştir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından hazırlan rehber niteliğindeki risk değerlendirmesi çalışmaları 2012 yılında yürürlüğe giren 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile beraber işletmelerin önemli yükümlülükleri arasına girmiştir.

Tüm çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden tam iyilik hallerinin sağlanması ve yüksek düzeyde tutulmasını amaçlayan iş sağlığı ve güvenliği çalışmaları laboratuvar çalışmalarında da göz ardı edilemeyecek bir bütündür.

2. RİSK DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Yazılı kaynaklara göre, iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin ilk uygulamalar; M.Ö. 460-370 yıllarındaki Hipokrat'ın kurşunun zararlı etkilerini koyduğu çalışmasıdır.

Ülkemizde, 1865 tarihli Dilaver Paşa Nizamnamesi iş sağlığı ve güvenliği açısından ilk düzenlemedir. Bu nizamname, dönemin padişahının onayından geçmemekle birlikte Ereğli Kömür Havzası'nda uygulanmıştır. Daha sonra 1869 tarihinde yürürlüğe giren Maadin Nizamnamesi ile birlikte, iş güvenliğine dair kurallara daha fazla yer verilmiş ve Dilaver Paşa Nizamnamesinde tespit edilen eksikler giderilmeye çalışılmıştır. Cumhuriyet dönemi ile sanayileşme temelleri atılmaya başlanması ile iş sağlığı ve güvenliği açısından yoğun düzenlemelerin başlangıcı sayılabilir. İşçilerin çalışma koşullarının düzenlendiği 1936 yılında çıkarılan 3008 sayılı İş Kanunu ilk kanun sayılır. Daha sonraları bir takım yeni düzenlemeler yapılmıştır [2]. Ancak bu yönetmelikler sadece "Sanayiden sayılan işyerlerine" hitap etmekteydi. Avrupa Birliği uyum sürecinin etkileri ile 2003 yılında 4857 İş Kanunu Yürürlüğe girmiş ve bu İş Kanuna bağlı olarak birden çok yeni İş sağlığı ve Güvenliği Yönetmelikleri çıkarılmıştır. Ancak bu Yönetmelikler çeviri olması sebebi ile bizim ülkemizin çalışma koşullarına pek uyumlu olmadığından 2012 yılında yayımlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile beraber tüm çalışma alanları ve tüm çalışanlar kapsama alınmıştır.

4857 sayılı İş Kanunu 78. maddesine göre çıkartılmış olan tüm yönetmeliklerde yükümlülük olarak yeni bir kavram olan "Risk Değerlendirme" ile ülkemiz tanışmış oldu. Ancak yeni tanışılan bu kavramla ilgili olarak bir yönetmelik, tebliğ vb. yasal bir mevzuatta süreç hakkında bilgi tanımlanmamış olup İş Sağlığı ve Güvenliği Profesyonellerine rehberlik etmesi amacı ile Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından "rehber" yayımlanmıştır. 2012 yılında 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanuna bağlı olarak 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı resmi gazetede " İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir.

Yukarıda anılan Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğe göre; Risk değerlendirmesi; tüm işyerleri için tasarım veya kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, yükümlülükler, dokümantasyon, yapılan çalışmaların güncellenmesi ve gerektiğinde yenileme aşamaları izlenerek gerçekleştirilmesi gerekliliği tanımlanmıştır.

Etkin bir "İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Yönetim Kültürü" için herkesin buna gerçekten inanması gerekir. İş emniyeti önceliği hakkında yönetimden gelen istikrar sinyalleri, tehlikelerin ve risklerin kontrol edilmesi ve tanınması için önemlidir. Uygun bir "İş Emniyeti Kültürü" nü başarmak için, bir organizasyonun risklere karşı sahip olacağı genel davranış biçiminin büyük önemi vardır. Etkin bir risk yönetimi kültürüne sahip olmak demek, insanların içinde birlikte çalışabilecekleri ve herhangi bir kayıp olmadan önce potansiyel problemleri tanıyabilecekleri ve bunları ortadan kaldırabilecekleri proaktif bir yaklaşıma sahip olmaları demektir [3].

İşletmelerde tehlikelerin tanımlandığı, belirlendiği ve bu tehlikelere karşı alınacak önlemlerin belirlenerek azaltma ölçümlemelerinin yapıldığı, riskleri elimine etmek için yasal mevzuatlara entegre programların oluşturulduğu ve uygulandığı, çalışmaların dokümante edilerek çalışanlara bildirildiği yönetim sistemlerine "İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemleri" denmektedir. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sisteminin temel direğini ise "Risk Değerlendirmesi" oluşturmaktadır[4].

İşyerlerinde "Risk Değerlendirme Süreci"nin sağlam temellere oturabilmesi için risk değerlendirme aşamalarının iyi biliniyor olması gerekir. Bunun içinde başlangıçta İş Güvenliği Uzmanı önderliğinde, İşveren ve/veya İşveren vekili, İşyeri Hekimi, Çalışan Temsilcisi, destek eleman ile mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi tecrübeli alanı tanıyan çalışan ya da alanın sorumlusunun dâhil olacağı bir ekip kurulması gereklidir. İşveren, bu ekibin çalışmalarına başlamadan önce "Risk Değerlendirme" konu başlıklı eğitim almasını sağlamalıdır.

Ekip eğitim sonrasında "Risk Değerlendirme Süreci"nde ana faaliyet ile alt faaliyetlere bağlı kalarak çalışmanın en önemli aşaması ve olan "Tehlike Listesi"ni çıkartmalıdır. Tehlikeler belirlenirken kullanılan cihaz, makine, ekipman, görev tanımları, iş akışları, yaşanmış iş kazaları, ramak kalalar, meslek hastalıkları, ofis ortamları, çalışma alanları, iklimlendirme, basınçlı kaplar, kimyasallar ve güvenlik bilgi formları, acil durumlar, doğal kaynak kullanımı, taşıma, depolama, denetim kayıtları, eğitimler, çevreden gelebilecek olan etkiler, yasal mevzuat, işyerine ait özel mevzuatlar gibi konular gözden geçirilmelidir.

Tehlike envanteri oluşturulduktan sonra ilgili alanlar ekip tarafından yerinde görülerek tehlike ve risk tanımlaması yapılmalıdır. Bu alanda çalışanların görüşlerine yer verilmelidir. Mevcut olan risk kontrol tedbirleri ile alınmasını istenilen ilave risk kontrol tedbirleri tespit edilmelidir. Bu tespitlerin hepsi işyeri için hazırlanacak olan "iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme formu" ile kayıt altına alınmalıdır. Tehlike ve riskler kayıt altına alınırken bu risklere kimlerin maruz kalacağı da işlenmelidir. Stajyerler, ziyaretçiler, hassas çalışanlar, tedarikçiler, temizlikçiler, bakım onarımcılar, eğitime gelenler, tatbiki çalışanlar vb.

Risk Değerlendirme Ekipleri; Tespit edilen her bir riskin ağırlık oranı hesaplanarak önem derecelerini "Risk Değerlendirme Metotlarından" birini seçerek belirlemeli, riskleri öncelik sıralamasına tabii tutmalı ve seçilen metoda uygun kayıt altına alabilmek için form tasarlamalıdırlar.

Hesaplanan riskler metoda göre kabul edilebilir risk olarak görülmez ise alınması gerekli olan kontrol önlemleri belirlenmeli, riski düşük olanlar için ise tekrar ortaya çıkmamaları için izleme takibi yapılmalıdır. Alınması gereken kontrol önlemleri için iyileştirme aksiyon planları hazırlanmalı, sorumlular belirlenmeli ve riskin kabul edilemez sınırını geçememesi için takip edilmelidir.

Risk değerlendirme çalışması; "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliği" tehlike sınıfına göre çok tehlikeli, tehlikeli ve az tehlikeli işyerlerinde sırasıyla en geç iki, dört ve altı yılda bir yenilenmelidir [4]. Aşağıda belirtilen durumlarda ortaya çıkabilecek yeni risklerin, işyerinin tamamını veya bir bölümünü etkiliyor olması göz önünde bulundurularak risk değerlendirmesi tamamen veya kısmen yenilenmelidir.

a) İşyerinin taşınması veya binalarda değişiklik yapılması,
b)Uygulanan teknoloji, kullanılan madde ve ekipmanlarda değişiklikler meydana gelmesi,
c) Üretim yönteminde değişiklikler olması.
ç) İş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olay meydana gelmesi,
d) Çalışma ortamına ait sınır değerlere ilişkin bir mevzuat değişikliği olması,
e) Çalışma ortamı ölçümü ve sağlık gözetim sonuçlarına göre gerekli görülmesi,
f) İşyeri dışından kaynaklanan ve işyerini etkileyebilecek yeni bir tehlikenin ortaya çıkması,

Risk analizi metodu her işyeri için aynı olmak zorunda değildir. İş sağlığı ve Güvenliği Profesyoneli işyerinde yapılan çalışmaları göz önünde bulundurarak karar vereceği metodu seçip uygulamalıdır.

İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesini yapabilmek için çok sayıda metod bulunmaktadır. Aşağıda en çok tercih edilen ve genel olarak kullanılabilecek olanlar verilmiştir [3].

- Cheklist kullanılarak Ön Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis using checklist – PHA)
- Kinney Metodu (Mathematical Risk Evaluation Method)
- Olursa Ne Olur? (What If..?)
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis – FTA)
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysıs - ETA)
- Makine Risk Değerlendirme (Machine Risk Asessment)
- Olası Hata Türleri ve Etki Analizi Metodolojisi (Failure Mode And Effects Analysis - FMEA)
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard and Operability Studies- HAZOP)
- Neden Sonuç Analizi (Cause-Consequence Analysis)
- Matris Metodu
- BOW TIE Metodolojisi

3. METROLOJİ LABORATUVARLARINDA RİSK DEĞERLENDİRMESİNE BAKIŞ

Uluslararası Metroloji Temel ve Genel Terminoloji Sözlüğü (VIM)'ne göre Metroloji; ölçüm ile iştigal eden bilim alanıdır [5].

Metroloji, karmaşıklık ve doğruluk derecesine göre bilimsel, endüstriyel ve yasal metroloji olmak üzere üç kategoride ele alınmaktadır. Konu alanları arasında kütle, boyutsal, elektrik, gerilim, zaman ve frekans, RF&Mikrodalga, akustik, akışkanlar, kimyasal, optik, elektromanyetik, manyetik, kuantum, sıcaklık, vb. yer almaktadır.

Metroloji laboratuarları deney ve test hizmetleri açısından İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliğine göre "tehlike sınıfı" olarak değerlendirilmiştir [6]. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanuna göre Metroloji laboratuarlarında da İş Sağlığı ve Güvenliği profesyonelleri çalışması gereklidir. Bu çalışanlar tarafından risk değerlendirmesi yapılmalı ve en geç dört yılda bir güncelliği takip edilmelidir [4].

Metroloji Laboratuvarları çalışma alanlarına bakıldığında bir fabrika gibi üretim yapan yerler olmadığı için iş sağlığı ve güvenliği ikinci plana atılmaktadır. Oysaki incelendiğinde birden fazla tehlike kaynağı vardır. Bu sebeple öncelikli olarak tehlike kaynakları tablo 1' de verildiği örnekteki gibi tam olarak belirlenmeli bunların yaratabileceği riskler tanımlanmalı ve bu tespit edilen riskler hesaplanarak riskler öncelik sırasına konulmalıdır.

Tablo1. Kütle Laboratuvarı İçin Tehlike ve Risk Tanımlanması [8]

Tehlike Kaynakları	Tehlike	Risk	Önlemler
Ekranlı ekipman ile çalışma	Bilgisayar karşısında uzun süre çalışma	Göz yorgunluğu, kas iskelet Sistemi rahatsızlıkları, yorgunluk, baş ağrısı	Ara vererek çalışma, ekranlı ekipman ile çalışma eğitimi, uzun süreli olarak bilgisayar ile çalıştığını hatırlatan programlar ve egzersiz hareketleri

El aleti ile çalışma	Kontrol edilmeyen el aleti ile çalışma	Yaralanma	Talimat hazırlanması, el aletlerinin kullanıldıktan sonra tanımlı alana konulması
Tekrarlanan hareketler	Sürekli ayakta durma	Dolaşım sistemi rahatsızlıkları	Ara vererek çalışma, başka bir iş yapmak
Kimyasal ile çalışma	Kimyasalın dökülmesi, sızması, sıçraması	Teneffüs edilmesi ile baş ağrısı ve mide bulantısı ve solunum yolarında tahrişe neden olması, gözde yaşarma ve kızarıklık	Kimyasal ile çalışma talimatı, eğitimi, absorbanların olması, maske, eldiven ve gözlük kullanılması
Temizlik kimyasalı	İzopropil alkol ile temizleme sonucu sıçrama, temas	Ciltte kuruluk, alerjik dermatit, gözde tahriş	Eldiven ile çalışma, gözlük kullanılması
Acil durumlar	Laboratuvar ortamında yangın çıkması	Yaralanma, ölüm	Acil duruma hazırlıklı olma eğitimleri, tatbikatlar, yangın söndürme sistemleri test ve bakımları
Tertip düzen	Laboratuvar cihazlarının uygun yerleştirilmemesi	yaralanma	Yerleşim planının yapılması
Tertip düzen	kullanılan ekipmanların yerlerinin belli olmaması	Motivasyon düşüklüğü, stres	Yerlerin belirlenerek etiketlenmesi, talimatlar yazılması ve bu konuda çalışana eğitim verilmesi
İş ekipmanları	İş ekipmanlarının periyodik kontrollerinin yapılmaması	Yaralanma, ölüm	Mevzuata uygun yıllık periyodik muayenelerinin yaptırılması
Yalnız çalışma	Yalnız laboratuarda çalışma yapılması	Mevcut tehlikeleri arttırır	Yalnız çalışma yapıldığında ilgililere haber verilmesi, çalışma alanının ara ara kontrol edilmesi
Mesai sonrası çalışma	Fazla mesai yapılması	Yorgunluk, stres	Yasal süreler aşılmamalıdır.
Görev yerinde yapılan test, ölçüm ve deneyler	Önlem alınmamış tehlike kaynakları	Mevcut tehlikeleri arttırır	İş güvenliğini tehdit eden alanlarda çalışma yapılmaması
Kaldırma aracı olan Vinç ile çalışma	Vincin periyodik bakımının yapılmaması, halatın kopması	Yaralanma, ölüm	Periyodik bakımlarının yapılması, yetkisiz personel tarafından kullanılmaması, yük taşınırken etrafında çalışan olmaması
Ağır kütleler	Ağır yüklerin taşınması	Yaralanma, bel ağrısı	Taşıma araçları ile taşınması, uygun iş ayakkabısı ve eldiven kullanılması
Kaygan zemin	Kaygan zeminlere sıvı dökülmesi	Yaralanma	Uyarı işaretlemesi, dökülen sıvının hemen temizlenmesi
Aydınlatma	Uygun olmayan aydınlatma	Göz yorgunluğu	Ortam ölçümü yapılması ve mevzuata uygun lüx ile aydınlatma yapılması

Kişisel koruyucu donanımlar	Uygun olmayan kişisel koruyucu donanım alınması, donanımın kullanılmaması	Yaralanma	Standartlara uygun kişisel koruyucu alınması, eğitim verilmesi, denetim yapılması
Yangın algılama, söndürme sistemleri	Test ve bakımları yapılmamış sistemler	Yangın	Periyodik olarak bakım ve testlerinin yapılması, yılda en az 1 kez tatbikat yapılması
Eğitim	Eğitimsiz personel çalıştırılması	Mevcut tehlikeleri arttırır	İş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ile mesleki eğitimi olmayan personelin çalışmasına izin verilmemesi

SONUÇ

Çalışma ortamının ve koşullarının insan odaklı olarak tasarlanması, memnuniyeti arttıran bir unsurdur. Bu durumda çalışanların motivasyonu artacak, iş günü kaybı azalacak, güvenli bir çalışma ortamı yaratılmış olacaktır. Böylece verimlilik, kalite artacak, iş kazası meslek hastalığı oluşmayacaktır. Böylece işletme sağlam temeller üzerine kurulmuş olacaktır. İSG temel felsefesi; sadece tehlikelerin önlenmesi değil, risklerin değerlendirilmesi, risklerle kaynağında mücadele edilmesi suretiyle çalışanların yanı sıra işletmenin ve üretimin güvenliğini birlikte sağlanmasıdır.

İş Sağlığı ve Güvenliği yönetimi, yalnızca üst yönetimin sorumluluğunda düşünülmemeli, firma danışmanlarından genel müdürlere veya İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanları ile tüm çalışanlarına kadar tam katılımcı yönetim anlayışını barındıran bir kültürdür. Organizasyonel öncellikleri belirleyen üst yönetimden, bir kazayı veya potansiyel tehlikeyi gözlemleyebilecek çalışana kadar herkesi kapsar ve taahhüdünü gerektirir.

Etkin bir risk yönetimi kültürüne sahip olmak demek, insanların içinde birlikte çalışabilecekleri ve herhangi bir kayıp olmadan önce potansiyel problemleri tanıyabilecekleri ve bunları ortadan kaldırabilecekleri proaktif bir yaklaşıma sahip olmaları demektir. Etkin bir “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Yönetim Kültürü” için herkesin buna gerçekten inanması gerekir. İş emniyeti önceliği hakkında yönetimden gelen istikrar sinyalleri, tehlikelerin ve risklerin kontrol edilmesi ve tanınması için önemlidir. Uygun bir “İş Emniyeti Kültürü” nü başarmak için, bir organizasyonun risklere karşı sahip olacağı genel davranış biçiminin büyük önemi vardır. Tüm çalışanlarda bir güvenlik kültürü oluşturarak güvenlik iklimi düzeylerinin yükseltilebilmesi için yöneticilerin bir takım görev ve sorumlulukları yerine getirmek durumunda oldukları kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

[1] 6331 sayılı İş sağlığı ve Güvenliği Kanunu,
[2] ÖZKILIÇ, Ö., İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, TISK, Ankara, Mart, 2005.
[3] ÖZKILIÇ, Ö., Risk Değerlendirmesi Kavramı, TİSK, İş-veren Dergisi, Ankara, Haziran, 2005
[4] İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği
[5] Kısaca Metroloji kitabı 3. Baskı, 2008.
[6] İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliğine
[7] 4857 Sayılı İş Kanunu
[8] YÜKSEL, İ. Kütle Laboratuvarında Risk Değerlendirmesi Nisan, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

İclal YÜKSEL

1972 yılı İzmit doğumludur. 1997 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2001 yılında aynı üniversitede Yönetim Organizasyon yüksek lisansını tamamlamıştır. 1997-2008 yılları arasında İZAYDAŞ' ta çeşitli görevlerde çalışmıştır. 2008- yılından buyana A sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak TÜBİTAK UME' de çalışmaktadır.

DENEY VE KALİBRASYONLARI İÇİN ISO 17025:2017 STANDARDI VE RİSK TEMELLİ DÜŞÜNCE

Melda PATAN ALPER
Ahmet T. İNCE

ÖZET

TS EN ISO IEC 17025:2017 "Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar" standardının Aralık 2017 tarihinde yayınlanmasıyla, akredite ve akredite olmaya hazırlanan laboratuvarlar için yeni bir dönem başlamıştır. Yeni standart, süreç, prosedürler ve organizasyonun sorumlulukları ile gereksinimlerde daha fazla esneklik sağlasa da risk temelli düşünce yapısı, standardın birçok maddesinde (Tarafsızlık, Donanım, Personel, Metrolojik İzlenebilirlik, Metot vb.) derinlemesine analiz ve değerlendirme gerekliliği doğurmuştur.

Bu çalışmada risk analizi değerlendirmesinin gerekli ve önemli olduğu standart maddeleri incelenmiş ve örnek risk değerlendirme çalışmaları paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: TS EN ISO IEC 17025:2017, Risk Analizi

ABSTRACT

With the publication of the TS EN ISO IEC 17025: 2017 "The General Requirements for Qualification of Testing and Calibration Laboratories" in November 2017, a new era has started for the accredited and accredited laboratories. Although the new standard provides greater flexibility in the processes, procedures and responsibilities of the organization and the requirements, the risk-based thinking structure has led to in-depth analysis and evaluation in many items of the standard (Impartiality, Equipment, Personnel, Metrological Traceability, Method etc.).

In this study, standard items that the risk analysis assessment is necessary and important were examined and sample risk assessment studies were shared.

Key Words: TS EN ISO IEC 17025:2017, Risk Analysis

1. GİRİŞ

ISO 17025: 2005 laboratuvarların yeterliliği için genel şartlar standardının maddelerinin pek çoğunun 2017 versiyonuyla benzer olduğunu görmekteyiz. Geçiş aşamasında yeni oluşturulan yönetim sistemi dokümanlarının bir önceki ile büyük ölçüde uyumludur. Önemli farklılıkları sıralayacak olursak:

1. Yönetim sistemi dokümantasyonun yapısındaki değişiklik, standart maddelerinin numara ve içeriklerindeki değişiklikler sistem dokümantasyonun yeniden oluşturulması gerekliliğini doğurmuştur. Teknik maddelerin çoğunun değişmemiş olması bu alanda hızlı bir geçiş sağlamaktadır. ISO 9001 standardı ile 17025 standardının entegre edilmesi, ISO 9001 standardına sahip laboratuvarlarda daha az dokümantasyon hazırlığı gerektirmekte. Kilit personel, kalite yöneticisi gibi kavramlara yeni standartta yer verilmediği için, personelin görev ve sorumluklarını ayrıntılı bir şekilde tanımlaya ihtiyaç vardır.

2. Riske dayalı yaklaşım, önem derecesi açısından birinci sırada gibi gözükse de, laboratuvarların riske yönelik eylemleri önceki standartta da hali hazırda yaptığı ilerleyen bölümlerde daha net görülecektir. Laboratuvarlar tarafından hangi risk ve fırsatların ele alınacağı önemlidir. Standartta tarafsızlık, uygunluk beyanı ve uygun olmayan iş maddelerinde risk kavramında vurgu yapılsa da standardın tüm maddeleri için değerlendirme yapılması uygun olacaktır. [1,2,3]

Sonraki bölümlerde standardın yapısı ve risk temelli düşünce hakkında ayrıntılı bilgi paylaşılmıştır.

2. TS EN ISO IEC 17025:2017 Standardının Yapısı

Uluslararası standardizasyon organizasyonunun (ISO) Aralık 2017 tarihinde yayımladığı TS EN ISO IEC 17025 test ve kalibrasyon laboratuarı akreditasyon standardının yeni bir sürümü 5 ana başlıktan ve 2 ekten oluşmaktadır

1. Genel Gereklilikler
2. Yapısal Gereklilikler
3. Kaynak Gereklilikleri
4. Proses Gereklilikleri
5. Yönetim Sistemi Gereklilikleri

Yönetim sistemi maddelerine 4,5, 8. maddelerde teknik şartlara ise 6 ve 7. maddelerde değinilmiştir. Bu bildiride 5 ana maddenin her birine yönelik risk değerlendirme çalışması yapılacaktır. Fakat laboratuvarlar dikkat etmelidir ki standardın 5. maddesi dışında tüm maddeler, alt başlıklara sahiptir. Tablo 1 standardın tüm alt başlıklarını içermektedir.

Tablo 1. TS EN ISO IEC 17025:2017 maddeleri [1].

4.Genel Gereklilikler	5.Yapısal Gereklilikler	6.Kaynak Gereklilikler	7. Proses Gereklilikler	8.Yönetim Sistemi Gereklilikleri
4.1 Tarafsızlık		6.1 Genel	7.1 Talep, Teklif ve Sözleşmelerin Gözden Geçirilmesi	8.1 Seçenekler
4.2 Gizlilik		6.2 Personel	7.2 Yöntemlerin Seçilmesi, Doğrulanması ve Geçerli Kılınması	8.2 Yönetim Sistemi Dokümantasyonu
		6.3 Tesisler ve Çevresel Koşullar	7.3 Numune alma	8.3 Yönetim Sistemi Dokümanlarının Kontrolü
		6.4 Donanım	7.4 Deney ya da Kalibrasyon Öğelerinin Elleçlenmesi	8.4 Kayıtların Kontrolü
		6.5 Metrolojik İzlenebilirlik	7.5Teknik Kayıtlar	8.5 Risk ve Fırsatların Ele Alınmasına Yönelik Faaliyetler
		6.6 Dışarıdan Tedarik Edilen Ürün ve Hizmetler	7.6 Ölçüm Belirsizliğinin Değerlendirilmesi	8.6 İyileştirme
			7.7 Sonuçların Geçerliliğinin Güvence Altına Alınması	8.7 Düzeltici Faaliyetler
			Numune alma	8.8 İç Tetkikler
			7.8 Deney ya da Kalibrasyon Öğelerinin Elleçlenmesi	8.9 Yönetimin Gözden Geçirmeleri
			7.9 Sonuçların Raporlanması	
			7.10 Şikayetler	
			7.11 Uygun Olmayan İş	
			7.12 Verilerin Kontrolü ve Bilgi Yönetimi	

3. Risk Değerlendirme

ISO Rehber 73'e göre risk, belirsizliklerin hedefler üzerindeki etkisidir. Başka bir tanıma göre ise, belirli bir zaman diliminde, hedeflenen sonuca ulaşmadaki sapma olasılığıdır. Riskin, olma olasılığı ve olduktan sonra yaratacağı etki gibi iki temel özelliği vardır. Laboratuvarlar, beyin fırtınası, SWOT analizi, neden-sebep analizi gibi yöntemlerle bilgi toplayarak, amaç ve hedeflerin gerçekleşmesini engelleyebilecek tüm riskleri önceden tahmin ederek, değerlendirebilir. Beyin fırtınasının tüm laboratuvar personeli ile yapılması önemlidir, özellikle laboratuvar faaliyetlerini tecrübe eden personel risklerin belirlenmesi aşamasına büyük katkı sağlar. Neden-sebep analizi, riskleri nedenlerine göre organize etmeye ve daha fazla riskin tanımlanmasını yardımcı olur. SWOT Analizi ise laboratuvarların güçlü taraflarını nasıl kullanacağını, zayıf yanlarını ne şekilde güçlendireceğini belirlemede, fırsatları değerlendirmede ve tehditlere karşı nasıl bir savunma oluşturulacağı konusunda destek sağlar.

Riskler, laboratuar faaliyetlerinde karşılaşılacak sorunlara, tarafsızlığı korumaya, verilen sonuçların güvenilirliğini garanti etmeye, kalite hedeflerinden sapmayı en aza indirecek faaliyetleri belirlemeye yönelik olmalıdır. Risklerin ele alınması ve değerlendirilmesi sürecinde Şekil 1'de gösterilen süreçler izlenir [4, 5, 6, 7]

Şekil 1. Risk Yönetim Planı

ISO 31010 standardı risk değerlendirme teknikleri konusunda yol göstericidir ve farklı 31 metot kullanımı hakkında bilgi vermektedir. [5] Fakat yöntemlerden deney ve kalibrasyon laboratuvarları tarafından uygulanabilir olanları sınırlıdır. Değerlendirme yöntemi seçilirken dikkat edilmesi gereken konuları sıralamak gerekirse:

• Seçilen metot söz konusu duruma veya kuruluşun yapısına uygun olmalıdır;
• Riskin doğası hakkındaki anlayışı geliştiren bir formda sonuçlar oluşturulmalı ve nasıl engelleneceği belirlenmelidir,
• İzlenebilir, tekrarlanabilir ve doğrulanabilir bir şekilde kullanabilmelidir.

Bu koşulları sağlayabilen ve laboratuvarlar arasında yaygın olarak kullanılan metot "etki-olasılık" matrisidir. Bu metodun tercih edilmesindeki sebep ise, Riskin Belirlemesi, Risk Analizinin Sonuçları, Olasılık, Risk Düzeyi, Risk Değerlendirme aşamalarında uygulanabilir sonuçlar vermesidir [5]. Bu yöntemin kullanılması aşamasında laboratuvarlar 5x5, 3x3, 10x10 gibi matrislerden yararlanabilir. Tablo 1'de 5x5 matris uygulaması verilmektedir.

Tablo 1. Etki-Olasılık Matrisi

		Etki				
		Çok Düşük	Düşük	Normal	Yüksek	Çok Yüksek
Olasılık	Çok Düşük	1	2	3	4	5
	Düşük	2	4	6	8	10
	Normal	3	6	9	12	15
	Yüksek	4	8	12	16	20
	Çok Yüksek	5	10	15	20	25

İlk aşamada risk oluşturması muhtemel kaynakların ortaya çıkma olasılıklarını belirlemek gerekir. Ardından gerçekleşme olasılıkları tespit edilen bu risklerin sistem ve faaliyetler üzerinde etkileri belirlenir. Bu etkiler ve olasılıklar için dereceler belirlendir. Örneğin, **olasılık** derecesi; **çok yüksek** dereceye sahip bir durum, "Tehdidi oluşturan açıklık sayısı fazla, herhangi bir kontrol önlemi yok ve tehdidin gerçekleşme olasılığı düzeltici önlem alınmazsa çok yüksek", **çok düşük** dereceye sahip olması ise "Tehdidi gerçekleyecek açıklık sayısı düşük seviyede, kontrol önlemi var ve yeterli, oluşma olasılığı çok düşük." anlamına gelir. **Etki** derecesi açısından, **çok yüksek** "Kurum itibarını zedeleyebilir, iş kaybına sebep olabilir, telafisi mümkün olamayacak sonuçlar doğurabilir", **çok düşük** etki açısından "Tehdit Oluşturmamaktadır". Risklerin derecelerine karar verirken, laboratuvarların kendi faaliyetlerini ve sistemlerini göz önünde bulundurarak değerlendirme yapmaları gerekir. Bir laboratuvar için çok yüksek bir risk olasılığı başka bir laboratuvar için çok büyük olmayabilir. Örneğin, personelin tarafsızlığı riski konusunda, "Laboratuvar Personelinin Kalibrasyon Hizmeti Alacak Kurum ile İlişkilerinin Olması" bir risktir, daha önce rakip bir firmada çalışma durumunu Gaziantep'te çok yüksek risk olarak kabul eden bir laboratuvar, İstanbul gibi laboratuvar sayısının fazla olduğu bir şehirde düşük bir risk olarak tanımlayabilir. Dolayısıyla risk derecelendirme işlemi laboratuvardan laboratuvara farklılık gösterebilir.

Etki ve olasılık derecelendirme aşamasından sonra olasılık ve etki değerlerinin çarpımından elde edilen sonuç matristen okunur ve risk seviyesi belirlenir. Çıkan risk büyüklüğüne göre yapılacak faaliyetlere ve alınacak önlemlere karar verilir. Laboratuvarların çıktılara göre stratejilerine karar vermeleri gerekecektir. Strateji faaliyetlerini 4 gruba ayırabiliriz:

1. Kaçınma: Riski yaratan sebebi ortadan kaldırmaktır
2. Transfer Etme: Riski başka bir kişi ya da kuruma aktarma, risk tamamen ortadan kalkmaz, sorumluluk başkasına devredilmiş olur (örneğin sigorta yaptırmak yada kalibrasyon yada bakım için cihazın bir kuruma gönderilmesi)
3. Azaltma: Risklerin etkisini veya gerçekleşme olasılıklarını azaltmak için kontroller ve önlemler alınması
4. Kabul Etme: Riskin varlığı kabul edilir, mevcut durumda kullanılmaya devam edilir

Tablo 2. Risk Seviyesi Belirleme Matrisi

Riskin Büyüklüğü	**Riskin Derecesi**	**Değerlendirme**	**Renk**
15-25	Yüksek Risk	Acil Önlem Alınmalı	
8-12	Dikkate Değer Risk	Mümkün Olduğunca Çabuk Müdahale Edilmeli	
1-6	Kabul Edilebilir Risk	Acil Tedbir Gerektirmeyebilir, Dikkatli Olunmalı	

Etki-Olasılık matrisi bize risklerin seviyesi hakkında önemli bilgi vermekte, bunun sonucunda ise risklerin dereceleri ve değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Tablo 2, risk seviyelerinin belirlenmesi ve yapılacak değerlendirmenin analizine ilişkin bilgi vermektedir. İlk aşamada belirlenen risk büyüklüğü gerçekleştirilen aksiyonlar ile düşürülmeye çalışılır. İkinci aşamada yeni bir risk seviyesi belirlenir, tanımlanan aksiyonların yada alınan önlemlerin ne derece faydalı olduğu değerlendirilir.

17025 standardında her maddede risk değerlendirmesinden bahsedilmese de laboratuvarların 4. maddeden itibaren risk analizi yapması önemlidir. Tablo 3'te standardın 4.maddesinden 8. maddesine kadar risk teşkil edebilecek durumlara örnekler verilmiştir. Farklı risk derecelerine sahip durumlar her laboratuvar için ortak olsa da risk olasılıkları farklı seviyelerde olabilir. Verilen 5 örnek oldukça sınırlıdır, deney ve kalibrasyon laboratuvarları için bu sayı 100 ün üzerine çıkabilir. Tespit edilen risklere yönelik gerçekleştirilen aksiyonların laboratuvarın yönetim sistemine entegrasyonu ve etkinliğinin değerlendirilmesi de bu çalışmaların önemli bir parçasını oluşturmaktadır ve buna ilişkin çalışmalar kayıt altına alınmalıdır.

Tablo 3. Risk Analizi Değerlendirme Tablosu

NO	RİSK	TEHDİT	MEVCUT KONTROLLER	ETKİ	OLASILIK	RİSKİN BÜYÜKLÜĞÜ	RİSKİN DERECESİ	STRATEJİ	GERÇEKLEŞTİRİLEN AKSİYONLAR
1	Referans cihazların zamanında kalibrasyona gönderilmemesi riski	Müşteriye verilen hizmette uygun olmayan iş, müşteriyi maddi zarara uğratma	Referans cihazlar yılda bir kez primer seviye başka bir laboratuvara gönderilir.	5	3	**15.00**	Yüksek Risk	Transfer Et	Kalibrasyon Takip Planı ile sağlanır.
2	Personelin rakip firmada daha önce çalışmış olması riski	Personelin tarafsızlığı etkileyecek şekilde çalışması	Personel işe başlamadan önce özgeçmişi incelenir. Yeni personel Tarafsızlık Beyanı/Çıkar Çatışması Bildirisi imzalar	4	3	**12.00**	Dikkate Değer Risk	Kabul Et	Konuya ilişkin eğitimler düzenlenerek yetkili personel eğitilir. İlgili formların kullanıldığı kontrol edilir
3	Hizmet yada cihaz satın alımı sonrası kontrollerin yapılmaması	Müşteri güvenirliğini sarsacak doğrultuda çalışmak.	Satın alma sonrası kontrol işlemleri gerçekleştirilir. Eğer bir kalibrasyon hizmeti satın alımı ise veri aktarımı ve kontrollerinin sağlandığına dair Veri Aktarım Formu doldurulur.	4	2	**8.00**	Kabul Edilebilir Risk	Azalt	Personellerin verilecek eğitimler. Doldurulan formların kontrolü.
4	Tedarikçilerin etkin şekilde değerlendirilmemesi	Alınan ürün yada hizmetin kalitesinin etkilenmesi	Tedarikçi Listesi, Tedarikçi Değerlendirme Formunun oluşturulması, gerekli durumlarda tedarikçinin yeniden değerlendirilmesi sağlanmakta.	3	3	**9.00**	Kabul Edilebilir Risk	Azalt	Onaylı teadarikçi listesi her yıl güncelleniyor ve hizmet alınan tedarikçinin değerlendirme formu muhafaza ediliyor
5	Veri kaybı, yetkisiz erişim, virüs saldırısı, sistemin çökmesi riski	Zararlı dosya, fiziksel müdahale	Sistematik olarak yapılan yedekleme işlemi ve bilgi-işlem departmanı ile işbirliği	4	3	**12.00**	Dikkate Değer Risk	Kabul Et	Yedek verilerin depolandığı alanda kontrolü ve bilgi-işlem personeline imzalatılan gizlilik sözleşmesi

SONUÇ

Bu çalışmada, laboratuvarların hedeflerine ulaşmaları ve hizmet kalitelerini artırmalarına yardımcı olmak için TS EN ISO IEC 17025:2017 standardının 8.5 maddesi irdelenmiştir. Amaca uygun bir kalite yönetim sisteminin oluşturulması, kuruluşların hedeflerine ulaşmaları, sürekli iyileştirme sağlamaları etkin bir risk analizi ile sağlanabilir. Etkin bir risk değerlendirilmesi ancak standardın ilgili tüm maddeleri için yapıldığında, bu faaliyetler izlenebildiğinde ve sürdürülebildiğinde mümkündür. Laboratuvarlar için başlangıç aşamasında en kolay ve hızlı yapılabilecek risk tespiti, önceki yıllara ait düzeltici ve önleyici faaliyet raporlarındaki bulgulardan yola çıkmaktadır. Unutmamak gerekir ki önleyici faaliyet kavramı riske dayalı yaklaşımı ifade eder ve risklerin belirlendiği ve riskleri ele almak için eylemleri ve fırsatları değerlendirir.

KAYNAKLAR

[1] BS EN ISO/IEC 17025:2017 GENERAL REQUIREMENTS FOR THE COMPETENCE OF TESTING AND CALIBRATION LABORATORIES, December 2017, European Standard, CEN-CENELEC Management Centre, BRUSSELS
[2] Morton, C., Bowman, G., “New Requirements for Labs, Laboratories and Accreditation Bodies Tackle Revised ISO Standards”
[3] TS EN ISO/IEC 17025:2005 GENERAL REQUIREMENTS FOR THE COMPETENCE OF TESTING AND CALIBRATION LABORATORIES, May 2005
[4] BS ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines
[5] BS EN 31010:2010 Risk management — Risk assessment techniques
[6] ISO/Guide 73:2009 Risk management — Vocabulary
[7] EUROLAB “Cook Book” – Doc No. 18

ÖZGEÇMİŞ

Melda PATAN ALPER

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü, 2007 yılında Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yüksek Lisansını, 2019 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2004-2006 yılları arasında Simkal Kalibrasyon Merkezinde Sıcaklık Kalibrasyon Laboratuvarı sorumlusu ve kalite yönetim sistemi vekili olarak görev almıştır. 2006 yılından bu yana Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı kalite sistem yöneticisi, sıcaklık kalibrasyon laboratuvarı sorumlusu, Fizik Bölümü öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. 2008 yılından buyana TÜRKAK sıcaklık kalibrasyonları alanı denetçisi ve 2014 yılı itibarı ile başdenetçi olarak görevini sürdürmektedir.

Ahmet T. INCE

1962 yılı Sivas doğumludur. 1992 yılında, Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Enstrümantasyon ve Analitik Bilim bölümünden (DIAS-UMIST) doktorasını almıştır. 1992–1994 yılları arasında doktora sonrası çalışmalarında Londra Üniversitesinde devam etmiştir. 1994–1998 yılları arasında TÜBİTAK UME’ de Fizik grup Başkanı ve Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olarak çalışmıştır. 1997 yılında Doçentlik ve 2002 yılında da Profesörlük ünvanını almıştır. 1998 yılında Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı olarak çalışmaya başlamıştır. 2002-2005 yılları arası Yeditepe Üniversitesi Fen–Edebiyat Fakültesi Dekan yardımcılığı görevini yapmıştır. 2005 yılından bu yana ise aynı fakültenin dekanlık görevini sürdürmektedir. 2012 yılından bu yana TÜBİTAK-UME Sıcaklık laboratuvarının danışmanlığını yapmaktadır. Ayrıca, TÜRKAK denetçisi, Baş Denetçisi olarak görev almakta olup, yaklaşık 8 yıl TÜRKAK Sektör Komitesi Başkanlığı yapmışıtır.

İYONLAŞTIRICI RADYASYON METROLOJİSİ

Çiğdem YILDIZ
Ülkü YÜCEL

ÖZET

Ülkemizde iyonlaştırıcı radyasyon üreten cihaz ve radyoaktif maddelerin kullanımı, başta sağlık sektöründe tanı ve tedavi olmak üzere birçok alanda her geçen gün artmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarını kullanarak faaliyet gösteren üniversitelere, kamuya ve özel sektöre ait laboratuvarlarda, radyasyon güvenliğine ve radyasyondan korunmaya yönelik etkinliğin artırılması, bu laboratuvarların izlenebilir ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmesi için iyonlaştırıcı radyasyon alanında ülkemizin ulusal referans standart altyapısının geliştirilmesi ve uluslararası platformda rekabet gücünün artırılması gerekmektedir. Ülkemizin nükleer enerji programını başlatmış olması bu faaliyetlerinin önemini daha da arttırmıştır.

Türkiye, ulusal metroloji enstitülerinin ölçüm standartlarının ve yaptıkları ölçüm ve kalibrasyonların karşılıklı olarak tanınması için CIPM MRA (Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi Karşılıklı Tanınma Anlaşması) çerçeve anlaşmasını 1999 yılında imzalamıştır. Bilimsel metroloji faaliyetleri, Uluslararası Metroloji Merkezi olan BIPM'in (Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu) koordinasyonunda yürütülmektedir. TÜBİTAK UME, BIPM'in, bölgesel metroloji enstitüleri birliklerinden Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği EURAMET'in ve Avrasya Ulusal Metroloji Enstitüleri İşbirliği COOMET'in üyesidir. Metroloji konusunda TÜBİTAK UME, iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi dışında kalan bütün alanlarda Türkiye'yi temsil etmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), 2008'den itibaren iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi alanında EURAMET nezdinde Türkiye'yi temsil eden yetkili kuruluştur.

TAEK, bir taraftan nükleer teknolojinin ve nükleer tekniklerin ülkemizde yaygın olarak kullanılabilmesi için gereken güven ortamını oluştururken, diğer taraftan en gelişmiş cihazlarla donatılmış araştırma-geliştirme altyapısı ve birikimli insan kaynağı ile hem bu teknolojinin edinilmesi ve ülkemizde geliştirilmesi için gereken faaliyetleri yürütmekte, hem de diğer kurum ve kuruluşlara öncülük etmekte ve yol göstermektedir. TAEK'in en önemli stratejik hedeflerinden biri çalışanların, çevrenin ve toplum bireylerinin radyasyondan korunmasını sağlamak ve bu alanda teknik altyapıyı güçlendirilerek nükleer teknolojinin ülke yararına kullanılmasını sağlamaktır. TAEK, 2690 sayılı kuruluş kanunu kapsamında verilen görev ve sorumlulukları gereğince, nükleer alanda ulusal referans merkeze dönüşmek ve iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi konusunda hak ettiği itibarı uluslararası arenada kazanabilmek için Radyonüklit ve Dozimetrik Metroloji alanında tesis ve laboratuvar altyapısını geliştirmiş ve bu alandaki faaliyetlerini sürdürmektedir.

Bu çalışmada, TAEK'in iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi konusunda Radyonüklit Metroloji Laboratuvarları ve İkincil Standart Dozimetri Laboratuvarı tarafından yürütülen ikincil ve birincil standardizasyon yöntemleri ve yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: İyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi, radyonüklit metroloji, dozimetrik metroloji, birincil standart, ikincil standart, referans malzeme.

ABSTRACT

The use of ionizing radiation generating devices and radioactive substances in our country is increasing day by day in many areas especially diagnosis and treatment in the health sector. In order

to increase the efficiency of radiation safety and radiation protection in the laboratories of universities, public and private sector, and to obtain traceable and comparable results, it is necessary to develop the national reference standard infrastructure of our country in the field of ionizing radiation and to increase its competitiveness in the international platform. The fact that our country started the nuclear energy program further increased the importance of these activities.

Turkey signed the CIPM MRA (International Committee for Weights and Measures Mutual Recognition Arrangement) framework agreement in 1999, which National Metrology Institutes demonstrate the international equivalence of their measurement standards and the calibration and measurement certificates they issue. Scientific metrology activities are carried out under the coordination of BIPM (International Bureau of Weights and Measures). TÜBİTAK UME is the member of the BIPM, EURAMET (European Association of National Metrology Institutes) and COOMET (Euro Asian Cooperation of National Metrology Institutes) and represents Turkey in all areas Metrology except ionizing radiation metrology. Turkey Atomic Energy Agency (TAEK) is the designated institute in the field of ionizing radiation metrology in Turkey and the member of the EURAMET Technical Committee for Ionizing Radiation (TCIR) and International Committee of Radionuclide Metrology (ICRM).

TAEK while creating the atmosphere of trust necessary for the widespread use of nuclear technology and nuclear techniques in our country, carries out the necessary activities for the acquisition and development of this technology with its fully-equipped infrastructure and human resources and leads the other organizations. One of the most important strategic objectives of TAEK is to ensure that employees, the environment and community members are protected from radiation and to strengthen the technical infrastructure in this field and to use nuclear technology for the benefit of the country. TAEK has developed facilities and laboratories in the field of Radionuclide and Dosimetric Metrology in order to be transformed into a national reference center in the nuclear field and to earn its deserved reputation in the international arena in accordance with the duties and responsibilities given under the establishment law No. 2690 and continues its activities in this field.

In this study, information on secondary and primary standardization studies carried out by TAEK's Radionuclide Metrology Laboratories and Secondary Standard Dosimetry Laboratory in the field of ionizing radiation metrology will be given.

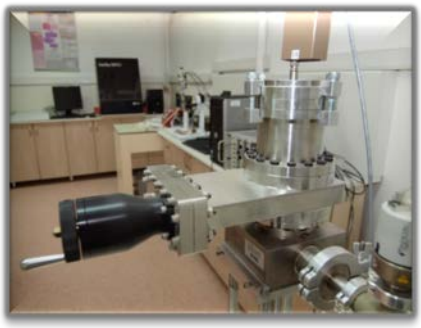
Key Words: Ionising radiation metrology, radionuclide metrology, dosimetric metrology, primary standard, secondary standard, reference material.

1. GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla Akkuyu ve Sinop'ta kurulacak nükleer güç santrallerinin yanı sıra Ermenistan ve Bulgaristan sınırlarımıza çok yakın mesafedeki eski Sovyet teknolojilerine sahip nükleer santrallerin mevcudiyeti, halk sağlığı ve çevre açısından çevresel radyoaktivitenin programlı ve sürekli olarak izlenmesini gerektirmektedir. Radyoaktivite ölçümü yapan laboratuvar sayısının her geçen gün artması nedeniyle, referans standart ihtiyacının ve doğru ve izlenebilir ölçümler yapılabilmesini sağlamak üzere referans standartların doğru bir biçimde kullanılması için bilgi transferinin sağlanması gerekmektedir. Radyasyon Metrolojisi Bölümü 2012 yılında iyonlaştırıcı radyasyon metroloji alanında araştırma-geliştirme çalışmaları yaparak ölçüm birliği ve güvenilirliğini sağlamak, bu doğrultuda uluslararası kabul gören referans ölçüm standartları ve teknikleri oluşturmak, geliştirmek, muhafaza etmek ve yaygınlaştırmak amacıyla kurulmuş ve radyonüklit metrolojisi alanındaki faaliyetleri yürütmüştür. 2017 yılında İkincil Standart Dozimetri Laboratuvarının (İSDL) kurulması ve kalibrasyon faaliyetlerine başlamasının ardından 2018 yılında Radyasyon ve Hızlandırıcı Teknolojileri Daire Başkanlığı (RHTDB)'nda Radyonüklit Metrolojisi Laboratuvarları ve İkincil Standart Dozimetri Laboratuvarı'ndan oluşan Radyasyon Metrolojisi Birimi olarak yeniden yapılandırılmıştır.

2. RADYONÜKLİT METROLOJİSİ LABORATUVARLARINDA YÜRÜTÜLEN FAALİYETLER

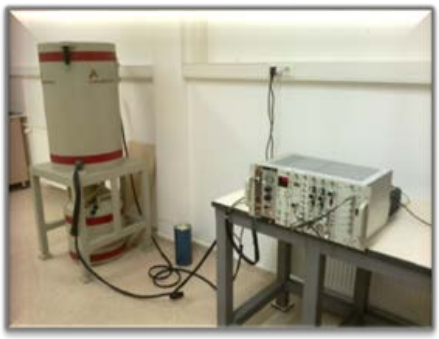
TAEK-RHTDB'de geçmişte radyonüklit metrolojisi alanında yapılan çalışmalar olsa da metrolojik çalışmalar resmi olarak 2009 yılında "Türkiye'de Kimyasal ve İyonlaştırıcı Radyasyon Metrolojisi Altyapısının Geliştirilmesi" başlıklı 3 yıllık Avrupa Birliği projesiyle başlamıştır. Bu proje, radyonüklit metrolojisi alanında kurumsal kapasitenin artırılmasına yönelik olarak 7 araştırmacının JRC-IRMM'de eğitilmesine olanak sağlamıştır. Bu projeye paralel olarak yürütülen ulusal proje ile radyonüklit metrolojisi laboratuvarlarının kurulması amaçlanmıştır. Birincil ve ikincil standardizasyonda kullanılan Compton baskılama spektrometrisi, farklı boyutlarda PIPS dedektörler, iyon odası, HPGe dedektörler, tanımlı katı açı (DSA) alfa parçacık sayım sistemi, üçlü/ikili çakışma oranı (TDCR) sıvı sintilasyon sayım sistemi, kuyu tipi NaI dedektörü ve kaynak hazırlamada ihtiyaç duyulan ekipmanlar temin edilerek radyonüklit metrolojisi laboratuvarları kurulmuştur.



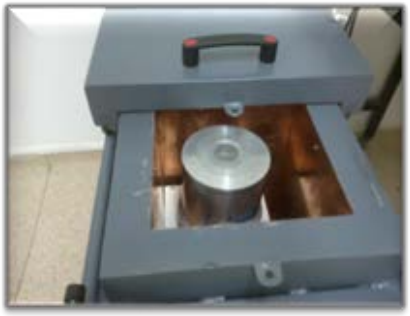
Şekil 1. DSA (Tanımlı Katı Açı) Alfa Parçacık Sayım Sistemi (birincil standardizasyon).

Şekil 2. TDCR (Triple to Double Coincidence Ratio) Sıvı Sintilasyon Sistemi (birincil standardizasyon).

Şekil 3. İyon odası (ikincil standardizasyon-PTB)



Şekil 4. Compton baskılama spektrometresi (ikincil standardizasyon)



Şekil 5. Kuyu tipi NaI dedektör sistemi (birincil standardizasyon).

Birincil ölçüm sistemleri ile ölçüm yeteneklerinin artırılması için sistem tasarımı ve kurulumu çalışmaları devam etmektedir.

Türkiye'nin de taraf olduğu Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi Karşılıklı Tanıma Düzenlemesine (CIPM MRA) göre ülkelerin yaptıkları kalibrasyon ve ölçümlerin doğruluğunun ve izlenebilirliğinin dünya çapında tanınması için Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu (BIPM) tarafından tamamlayıcı ve anahtar karşılaştırma testleri düzenlenmektedir. RHTDB Radyasyon Metrolojisi Birimi ile Ölçüm ve Analiz Hizmetleri Birimi, BIPM İyonlaştırıcı Radyasyon Danışma Komitesi tarafından organize edilen "Referans Malzemelerdeki Radyoaktivite Ölçümleri (Cs-137, K-40, Sr-90)-Yaban Mersini" başlıklı Tamamlayıcı Karşılaştırma Testinde (CCRI(II)-S8) referans değere en yakın sonuçları elde eden laboratuvar olma başarısını göstermiştir. Söz konusu üç radyoizotop için hazırlanan Kalibrasyon ve Ölçüm Yetenekleri (CMC) tablosu EURAMET ve diğer bölgesel metroloji kuruluşları tarafından değerlendirilmiş, kalibrasyon ve ölçüm yeteneğinin uluslararası göstergesi olan BIPM CMC veri tabanında 2014 yılında yayınlanmıştır. Bu üç ölçüm yeteneğiyle, iyonlaştırıcı radyasyon alanında Türkiye olarak ilk veri girişimiz sağlanmıştır. CMC veri girişlerinin artırılması çalışmaları devam etmektedir. Bu kapsamda CCRI(II)-K2.Ge-68 anahtar karşılaştırma testine ve "Buğday ununda Cs-134 ve Cs-137 aktivitelerinin belirlenmesi" başlıklı tamamlayıcı karşılaştırma testine (CCRI(II)-S13) katılım sağlanmış, ölçüm sonuçları BIPM'e gönderilmiştir. Ayrıca, BIPM'in Uluslararası Referans Sistemi (SIR) programı kapsamında TAEK-RHTDB Radyonüklit Metrolojisi Laboratuvarlarında ölçümleri yapılan Ba-133, Co-60, Cs-137, Ge-68 and Eu-152 standart çözeltileri BIPM tarafından da ölçülmüştür. Bu testlerin ve BIPM ile yapılan karşılaştırmalı ölçümlerin raporları yayınlandığında yeni CMC girişleri için EURAMET'e başvuru yapılacaktır.

Yürütülmekte olan ulusal proje ile Radyonüklit Metrolojisi Laboratuvarlarında 4π-β-γ birincil standart radyoaktivite sayım sistemlerinin tasarımı, kurulması ve standardizasyon yöntemlerinin geçerli kılınması hedeflenmiştir. Böylece ülkemizde bir ilk olan 4π-β-γ çakışma sisteminin kurulumu tamamlanmış, çoğu ticari olarak satılmayan gerekli yazılım ve elektronik bileşenler geliştirilmiş ve deneme ölçümleri yapılmıştır. Bu sistemin ülkemize kazandırılmasıyla herhangi bir kalibrasyon kaynağı ve referans malzeme kullanmadan yurt dışından bağımsız olarak ülke standartlarının üretilmesi sağlanacak, radyoaktif referans malzeme üretiminde yapılan referans ölçümler daha hassas olarak yapılabilecek, BIPM KCDB veri tabanına yeni ölçme ve kalibrasyon yetenekleri girilerek TAEK bünyesinde yapılan daha fazla ölçüm ve kalibrasyon dünya çapında tanınır hale gelecektir.

Şekil 6. 4π-β-γ radyoaktivite sayım sistemi (birincil standardizasyon).

Ülkemizde ölçüm birliğini ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla RHTDB Radyonüklit Metrolojisi Laboratuvarları tarafından bugüne kadar üç yeterlilik testi düzenlenmiştir.

2013 yılında ilk defa düzenlenen TAEK-RMB-2013-01 "Toprakta Doğal Radyonüklitlerin Aktivite Derişimlerinin Belirlenmesi" yeterlilik testine 16 laboratuvar katılmış, sonuç gönderen 12 laboratuvarın başarı oranının %50'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu yeterlilik testinden önce düzenlenen "Çevresel Radyoaktivite Ölçümleri Çalıştayı"na 23 üniversiteden katılan 38 araştırmacıya radyoaktivite ölçüm yöntemleri ve ölçüm belirsizliği gibi konularda teorik ve pratik eğitim verilmiştir.

2015 yılında düzenlenen "TAEK-RMB-2015-01 İşlenmiş Çayda Cs-137, K-40 ve Sr-90 Aktivitelerinin Belirlenmesi Üzerine Yeterlilik Testi"ne 7'si yurtdışından olmak üzere 21 laboratuvar katılmıştır.

Raporlanan 45 sonuç değerlendirildiğinde başarı oranının %53, uyarı ile başarılı oranının %18 olduğu görülmüştür. Bir önceki yeterlilik testi sonuçları ile karşılaştırıldığında her ne kadar başarı oranı artmış gibi görünse de, bu artışın nedeninin yurtdışı katılımcı laboratuvarlardan kaynaklandığı, üniversitelerimizin başarı oranında herhangi bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir.

2018 yılında "Sularda U-238, U-234, Ra-226 ve gama yayan radyoizotopların aktivitelerinin belirlenmesi" başlıklı üçüncü yeterlilik testi düzenlenmiş, 2'si yurtdışından olmak üzere 16 laboratuvara dağıtımları yapılmıştır. Katılımcı laboratuvarlar sonuçlarını raporladığında değerlendirilmesi yapılacak ve raporu hazırlanacaktır. Ayrıca, hem sonuçları değerlendirmek, hem de ölçümlerle ilgili bilgileri tazelemek amacıyla "Çevresel Radyoaktivite Ölçümleri ve Yeterlilik Testi Değerlendirme Çalıştayı" düzenlenecektir.

"İşlenmiş çayda Cs-137, K-40 ve Sr-90 Aktivitelerinin Belirlenmesi" üzerine ulusal ve uluslararası laboratuvarların katılımlıyla düzenlenen yeterlilik testi çalışmasında kullanılan çay numunesinin referans değerleri belirlenmiş, "Referans Malzeme Bilgi Formu" ve "Referans Malzeme Raporu" hazırlanarak onaylanmıştır. "TAEK-RM-1 Siyah Çay Tozu Radyoaktif Standart Referans Malzemesi" olarak ürün satışa sunulmuştur. Radyoaktif standart referans malzemenin yanı sıra radyoaktif standart nokta kaynak hazırlama hizmeti de verilmektedir.

Şekil 7. TAEK-RM-1 Siyah Çay Tozu
Radyoaktif Standart Referans Malzemesi.

Avrupa Metroloji Araştırma Programı kapsamında desteklenen üç yıllık JRC-ENV57 kodlu "Avrupadaki Radyolojik Erken Uyarı Ağları için Metroloji" başlıklı EMRP projesi kapsamında yapılan çalışmalar sonunda, hava filtrelerinde alfa ve beta yayan radyonüklitlerin hızlı analizi için metot geliştirilmiş, geçerliliği sağlanmış ve kullanıma sunulmuştur.

3. İKİNCİL STANDART DOZİMETRİ LABORATUVARINDA (İSDL) YÜRÜTÜLEN FAALİYETLER

Ülkemizde iyonlaştırıcı radyasyon üreten cihaz ve radyoaktif maddeler, başta sağlık sektöründe tanı ve tedavi olmak üzere birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun olası zararlı etkilerinin önlenebilmesi, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) tarafından ve ulusal mevzuat kapsamında belirlenen radyasyondan korunma ilkelerinin tam olarak uygulanması, iyonlaştırıcı radyasyon içeren uygulamaların etkinliği, uluslararası geçerliliği, ölçüm sistemlerinin doğru ölçüm yapabilmesine ve ölçüm sonuçlarının izlenebilirliğine bağlıdır. Radyasyon ölçümleri konusundaki uluslararası standartlara uygunluğun sağlanması amacıyla, radyasyondan korunma ve doz ölçümlerinde kullanılan cihazlar için kalibrasyon hizmetlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

Ülkemizde iyonlaştırıcı radyasyon ölçümlerinde doğruluk ve izlenebilirliğin sağlanması için TAEK'e önemli görevler düşmekte, iyonlaştırıcı radyasyon ölçümlerinde kullanılan cihazların doğruluğunun birincil standartlarla uyumlu hale getirilmesi için köprü oluşturacak laboratuvarların ülkemize kazandırılması büyük önem arz etmektedir.

TAEK tarafından, Kalkınma Bakanlığı desteği ile "Türkiye'nin Radyasyondan Korunmada Teknik Altyapısının Geliştirilmesi" isimli proje 2011 yılında başlatılmıştır.

- İkincil Standart Dozimetri Laboratuvarı ve hizmet birimleri binasının inşası,
- İSDL sistem, cihaz ve donanımlarının temin edilmesi

olarak iki aşamadan oluşan proje 2017 yılı sonunda tamamlanmıştır.

İSDL'nin kurulmasındaki amaç:

- İyonlaştırıcı radyasyon ölçümlerinde doğruluk, hassasiyet ve güvenilirliği sağlamak amacıyla doz ölçüm metotlarının izlenebilirlik ve karşılaştırılabilirliğini temin etmek ve ulusal referansları sağlamak,
- Birincil Standart Dozimetri Laboratuvarları ile iyonlaştırıcı radyasyon kullanıcıları arasında köprü oluşturmak,
- Ülkemizde iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi alanında referans laboratuvar olma özelliğiyle nükleer enerji santral işleticilerine, sağlık ve endüstri sektörleri ile araştırma ve uygulama kuruluşlarına hizmet vermek,
- Tanı ve tedavi amaçlı uygulamalarda, endüstriyel uygulamalarda ve araştırma faaliyetlerinde, kalite kontrol faaliyetlerinde, ortam dozu ve kişisel dozları izleme amaçlı ölçümlerde kullanılan her türlü radyasyon ölçüm cihazının kalibrasyonlarını yapmak,
- Yetkili dozimetri servislerine, kişisel dozimetrelerin performans testleri, kalite kontrol testleri ve kalibrasyonları için ışınlama hizmeti vermek,
- Dozimetrik ölçümlerle ilgili ulusal ve uluslararası karşılaştırma programları düzenlemek,
- Radyasyon ölçümlerini gerçekleştiren ulusal merkezlerin yaptıkları ölçümlerin karşılıklı tanınması amacıyla uluslararası kuruluşlar, Avrupa Birliği ülkeleri ve diğer ülkelerle işbirliği yapmaktır.

Ankara'daki Sarayköy yerleşkesinde bulunan Radyasyon ve Hızlandırıcı Teknolojileri Dairesi Başkanlığı (RHTDB) bünyesinde kurulan İSDL, güncel teknolojik özelliklere sahiptir ve en geniş enerji spektrumunda kalibrasyon hizmeti verebilecek şekilde tasarlanmıştır. RHTDB-İSDL'de, hava kerma, suda absorblanan doz, ortam doz eşdeğeri ve personel doz eşdeğeri şeklindeki ölçüm nicelikleri için uluslararası standartlar ve protokoller kullanılarak Gy (Gray) ve Sv (Sievert) şeklindeki SI birimleri cinsinden kalibrasyon hizmeti verilmektedir.

RHTDB-İSDL sekiz sistemden oluşmaktadır:

1. Gama Kalibrasyon Sistemi – Tedavi Düzeyi

Tedavi Düzeyi Gama Kalibrasyon Sistemi, yüksek enerjili gama kalibrasyon kaynağı içeren ve özellikle radyoterapi uygulamalarında kullanılan doz ölçerlerin kalibrasyonu için kullanılan sistemdir.

Şekil 8. Gama Kalibrasyon Sistemi - Tedavi Düzeyi.

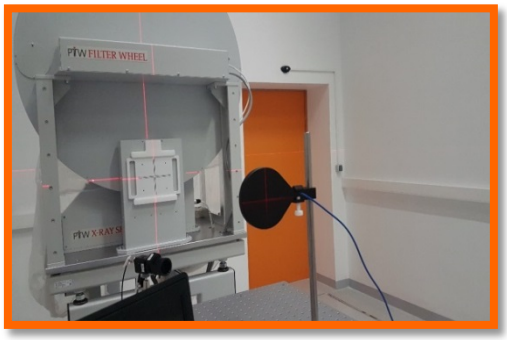
2. Gama Kalibrasyon Sistemi – Korunma Düzeyi

Korunma Düzeyi Gama Kalibrasyon Sistemi, farklı aktivitede 7 adet gama kalibrasyon kaynağı içeren ve özellikle radyasyondan korunma amacıyla kullanılan doz ölçerlerin kalibrasyonu için kullanılan sistemdir. Gama radyasyonu çoğunlukla, sağlık, endüstri ve araştırma uygulamalarında referans radyasyon olarak kullanılmaktadır.

Şekil 9. Gama Kalibrasyon Sistemi - Korunma Düzeyi.

3. X-Işını Kalibrasyon Sistemleri (320 kV, 160 kV ve Mamografi)

Bu sistemler, tanı, tedavi ve radyasyondan korunma amacıyla kullanılan doz ölçerlerin ve radyolojide kalite kontrol amacıyla kullanılan cihazların kalibrasyonu için kullanılan sistemlerdir. Sağlık alanında, endüstriyel ve araştırma amaçlı uygulamalarda X-ışını sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulama çeşitliliğinin fazla olması, kalibrasyonu yapılacak cihazların kullanıldıkları uygulamaya göre teknik özelliklerinin farklılık göstermesi nedeniyle, RHTDB-İSDL'deki X-Işını Kalibrasyon Sistemleri ülkemizde kullanılan tüm X-ışını uygulamalarını karşılayacak özellikte kurulmuştur.



Şekil 10. X-Işını Kalibrasyon Sistemi – 320 kV.

4. Beta Kalibrasyon Sistemi

Beta Kalibrasyon Sistemi, farklı aktiviteye sahip beta kaynakları içermektedir. Üç farklı kaynak ile en sık kullanılan beta enerjileri elde edilebilmekte sahadaki uygulamaların tamamına hizmet verilebilmektedir.

Şekil 11. Beta Kalibrasyon Sistemi.

5. Nötron Kalibrasyon Sistemi

Nötron Kalibrasyon Sistemi, ülkemizde nötron uygulamalarına yönelik kalibrasyonlar için kurulan ilk ve tek laboratuvar olma özelliğini taşımaktadır. Bu anlamda özellikle nükleer enerji santrallerinin de kurulmaya başlandığı bu dönemde ülkemizde önemli bir boşluğu dolduracak, nötron radyasyonu ile ilişkili tüm çalışmalarda ihtiyaç duyulan referans laboratuvar ihtiyacını karşılayacaktır.

Şekil 12. Nötron Kalibrasyon Sistemi.

Nükleer alanda nötron içeren uygulamalar nükleer enerji santrallerinde yoğunlaşmakta ve bu tesislerde nötron ölçümleri yapılması gerekmektedir. Ayrıca, toprakta yoğunluk ve nem ölçümü gibi endüstriyel sistemlerde de nötronlar kullanılmaktadır. Hem nötron uygulamalarının etkin bir şekilde yapılabilmesi, hem de çalışanların, toplum üyelerinin ve çevrenin radyasyondan korunmasına yönelik ölçüm doğruluğu ve izlenebilirlik için, RHTDB-İSDL nötron içeren uygulamalarda referans laboratuvar olarak görev yapacaktır. Bu sistem ile ülkemizde kullanılan tüm nötron ölçerlerin kalibrasyonu, istenilen malzemelerin nötron ile ışınlanması, araştırmalarda ihtiyaç duyulabilecek ışınlamaların yapılabilmesi mümkün hale gelmektedir.

6. Panoramik Işınlama Sistemi

Bu sistemin kullanım amacı, aynı doz değerinde ışınlanması gereken çok sayıda malzeme olduğunda tümünün aynı anda ışınlanabilmesini sağlamaktır. Özellikle kişisel dozimetreler ve benzeri cihazların aynı değere sahip gruplu ışınlamalarında kullanılacak olan bu sistem, radyasyondan korunmaya yönelik uygulamalar ve araştırma amaçlı ışınlamalar için kullanılmaktadır.

Şekil 13. Panoramik Işınlama Sistemi.

Kalibrasyon faaliyeti gösteren laboratuvarlarda tanı ve tedaviye yönelik uygulamalar için ölçüm belirsizlikleri oldukça düşük olmakla birlikte, mevcut durumda radyasyondan korunmaya yönelik faaliyetlerde ölçüm belirsizlikleri % 15'e kadar çıkabilmektedir. Personel doz eşdeğeri niceliğine ilişkin göz dozu Hp(3) için ise kabul görmüş ve ortak uygulanan uluslararası standart metotlar bulunmamaktadır. Bu nedenle iyileştirme çalışmaları yürütmek üzere, aralarında PTB ve TAEK'in de bulunduğu uluslararası paydaşlar ile bir çalışma grubu oluşturulmuş ve 2018 yılında Avrupa Metroloji Enstitüsü EURAMET'e bir proje sunulmuştur.

EMPIR 17RPT01 kodlu projenin amacı, kalibrasyon laboratuvarlarında yürütülen radyasyondan korunmaya yönelik faaliyetlerde özellikle göz dozu başta olmak üzere eksik görülen standart metotların oluşturulması, ölçüm belirsizliklerinin % 5 ve daha düşük seviyeye indirilebilmesi için daha hassas ölçüm metotlarının geliştirilmesi ve uluslararası uyumun sağlanması hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, birincil standart laboratuvarlar da dahil olmak üzere, laboratuvarların kapasitelerinin incelenmesi, iyileştirmelerin yapılması ve tüm laboratuvarların aynı yöntemleri uygulamaya alması öngörülmektedir. Bununla birlikte projenin diğer bir hedefi de RHTDB-İSDL gibi yeni laboratuvarların ihtiyacı olan uluslararası karşılaştırma testlerinin düzenlenmesi, bu laboratuvarların BIPM tarafından oluşturulan ve laboratuvarların kapasitelerini, izlenebilirliklerini ve tanınırlıklarını gösteren referans nitelikteki CMC veri girişleri yapmalarının sağlanmasıdır. Birçok Avrupa ülkesinin referans kalibrasyon laboratuvarlarıyla ortaklaşa yürütülen proje, RHTDB-İSDL'de bulunan tüm sistemler ile kalibrasyon/ışınlama hizmetinin güncel ve izlenebilir metotlarla yürütülmesi, projede yer alan diğer İSDL'ler ile işbirliği yapılması ve CMC veri tabanına giriş yapılması gibi kısa ve uzun vadeli hedeflerin gerçekleştirilmesine büyük katkı sağlayacaktır.

SONUÇ

TAEK, radyasyonla çalışanların, çevrenin ve toplum bireylerinin radyasyondan korunmasını sağlamak ve bu alanda teknik altyapıyı güçlendirilerek nükleer teknolojinin ülke yararına kullanılmasını temin etmek amacıyla, ülkenin ihtiyacı olan ve iyonlaştırıcı radyasyon konusunda uzmanlık gerektiren hizmet alanlarında en gelişmiş teknolojik altyapıyı kendi bünyesinde oluşturmaktadır.

TAEK'in en önemli stratejik hedeflerinden biri, iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi alanında sahip olduğu özellikler bakımından ülkemizde tek olma özelliğine sahip, bölge ülkelerine de hizmet edecek yapıdaki laboratuvarları ile RHTDB'nin referans bir merkeze dönüşmesini sağlamaktır.

İSDL ve radyonüklit metroloji laboratuvarları ile sağlık, endüstri ve araştırma sektörlerinde yapılmakta olan iyonlaştırıcı radyasyon ölçümlerinin doğru ve izlenebilir olmasının temini ile iyonlaştırıcı radyasyon uygulamalardan en yüksek yararın elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Ayrıca, iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi alanındaki deneyim ve bilgi birikimi ile gelecekte bu alanda ülke geneline birincil standart düzeyde hizmet vermek ve ülke olarak kendine yeter hale gelmek hedeflenmektedir.

Ülkemizde kurulmakta olan nükleer enerji santralleri, sayısı her geçen gün artan radyasyon kaynakları ve radyasyon ölçüm sistemleri, sınır kapılarında bulunan radyasyon ölçüm sistemleri ve buna benzer birçok uygulama, uluslararası kuruluşlar ile işbirliği içinde çalışan ve bu alanda en geniş bir enerji spektrumuna sahip olan RHTDB-İSDL'nin ülkemize kazandırılmış olmasını daha da önemli hale getirmiştir.

TAEK'in iyonlaştırıcı radyasyon metrolojisi alanındaki altyapısı, deneyimi ve bilgi birikimi ile uluslararası tanınırlığı olan ülkeler arasına girmemiz ve radyasyondan korunma konusunda Avrupa Birliği mevzuatına tam uyum sağlamamız konusunda ülkemiz açısından son derece önemli bir adımdır.

ÖZGEÇMİŞ

Çiğdem YILDIZ

1967 yılı Babadağ/Denizli doğumludur. 1989 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 1995 yılında yüksek lisans çalışmalarını tamamlayarak Bilim Uzmanı, 2009 yılında Doktor unvanını almıştır. 1990-2000 yılları arasında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. TAEK Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde 2007-2011 yılları arasında Sağlık Fiziği Birim Koordinatörlüğü, 2011-2018 yılları arasında Sağlık Fiziği Bölüm Başkanlığı görevlerini yürütmüştür. Ulusal ve uluslararası pek çok projede görev almıştır. Radyasyondan Korunma, Kişisel Dozimetri, Dozimetrik Metroloji çalışma konularıdır. 2011-2017 yılları arasında İkincil Standart Dozimetri Laboratuvarının kurulmasına yönelik projenin yürütücülüğünü yapmış olup, Radyasyon ve Hızlandırıcı Teknolojileri Dairesi Başkanlığında Radyasyon Metrolojisi Birim Sorumlusu olarak görevine devam etmektedir.

Ülkü YÜCEL

1959 yılı Ankara doğumludur. 1982 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünü Bölümünü bitirmiştir. 1982-1984 yılları arasında İzmir Bornova Anadolu Lisesinde Kimya öğretmeni olarak çalışmıştır. 1984 yılında Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda Araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 1988 yılında ODTÜ Kimya Bölümünden Bilim Uzmanı, 1997 yılında Ankara Üniversitesi Kimya Bölümünden Doktor unvanını almıştır. TAEK Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde 2008-2012 yılları arasında Radyoaktivite ve Analitik Ölçüm Bölüm Başkanlığı, 2012-2018 yılları arasında Radyasyon Metrolojisi Bölüm Başkanlığı görevini yürütmüştür. Halen Radyasyon ve Hızlandırıcı Teknolojileri Dairesi Başkanlığında radyonüklit metrolojisi alanında araştırmacı olarak çalışmaktadır.

UME KİBBLE BALANS KUANTUM ÖLÇÜMLERİ

Recep ORHAN
Hacı AHMEDOV
Beste KORUTLU

ÖZET

UME Kibble Balans ölçüm yaklaşımında, Faraday Endüksiyon Yasası ve Amper Kuvvet Yasası eş zamanlı gerçekleştirilmektedir. Bunlar; mıknatıs devresinin merkezinde yer alan bobinde, mıknatısın salınımlı hareketi ile indüklenen AC Faraday gerilimi ve elektromanyetik kuvvet oluşturmak için bobinin üzerinden geçen DC akımdır. Elektrik ölçümlerinde 10^{-9} mertebesinde bağıl belirsizliğe ulaşılabilmesi için proje kapsamında dinamik tabanlı yeni ölçüm tekniği geliştirilmektedir. Bu iki büyüklüğün, Kuantum Hall Etkisi ile kalibre edilmiş standart dirençler kullanılarak ve iki adet 10 V Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı ile diferansiyel örnekleme tekniğiyle ölçülmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, bir adet Programlanabilir Josephson Gerilim (PJGS) sistemi kurulmuştur ve ikinci sistemin kurulum aşaması devam etmektedir. Bu bildirinin amacı UME Kibble Balans dinamik (AC) elektriksel ölçüm tekniklerinin özetlenmesidir.

Anahtar Kelimeler: Kibble Balans, Elektrik Kuantum Standartları.

ABSTRACT

In UME Kibble Balance measurement approach, Faraday Law of Induction and Ampere's Force Law are realized simultaneously. These are; AC Faraday voltage induced by oscillating motion of the magnet in the coil located at the center of the magnet circuit and DC current passing through the coil to generate electromagnetic force. A new dynamic-based measurement technique is being developed within the scope of the project in order to achieve relative uncertainty about 10^{-9} in electrical measurements. It is aimed to measure these two quantities by using standard resistors calibrated with Quantum Hall Effect and differential sampling technique with two 10 V Programmable Josephson Voltage Standards (PJVS). To this end, one PJVS system has been installed and the installation phase of the second one system is in progress. The purpose of this paper is to summarize the UME Kibble Balance dynamic (AC) electrical measurement techniques.

Key Words: Kibble Balance, Electrical Quantum Standards.

1. GİRİŞ

16 Kasım 2018 tarihinde gerçekleştirilen oylamada, kütle birimi kilogramın izlenebilirliğinin, BIPM'de (International Bureau of Weights and Measures) muhafaza edilen Uluslararası Kilogram Standardı'ndan (IPK) Planck sabitine aktarımı oy birliği ile kabul edilmiştir. 20 Mayıs 2019 tarihinden itibaren yeni tanım yürürlüktedir. Makroskopik kütleyi Planck sabitine bağlamakta kullanılan yöntemlerden biri, mekanik gücün, mıknatıs içinde bulunan, mıknatısa göre bağıl hareketi olan ve içinden akım geçen bobin üzerindeki elektromanyetik güce eşitlenmesi prensibine dayanan Kibble Balans sistemleridir. Geleneksel Kibble Balanslarda, bobin üzerinden geçen akım ölçümü ve bobinin hareketi dolayısıyla oluşan Faraday gerilimini sırasıyla tartım ve hareketli faz olarak adlandırılan iki fazda peş peşe ölçmektedir [1]. Bu sistemler, ölçümler farklı zamanlarda alındığı için ortam koşullarına daha hassastır. UME'de geliştirilen Kibble Balans sisteminde ise bobin sabit, mıknatıs hareketlidir ve

mıknatısın salınımı sinüzoidaldir. Böylelikle akım ölçümleri ile Faraday gerilim ölçümleri aynı anda yapılabilmektedir ve bu durum mekanik sistemin kurulumunda birçok avantaj sağlamaktadır [2-5]. UME Kibble Balans deney düzeneğinin en önemli avantajlarından biri, sinüzoidal hareket sebebiyle endüklenen gerilimin AC formda olması ve bu sayede akım ölçümlerinde karşılaşılan DC gerilimle aynı anda ölçüme izin vermesidir. Böylelikle, Faraday Endüksiyon Yasası ve Amper Kuvvet Yasası eş zamanlı olarak test edilebilmektedir. Ölçüm konseptinin avantajlarının yanı sıra, veri analizinde de AC gerilim ve hızın yarım periyot integralleri oranlandığı için manyetik alan ve sıcaklık değişimlerinin sonuca etkisi bastırılmaktadır. Bu sayede mıknatıs ve mekanik sistem daha küçük boyutlarda tasarlanabilmektedir. Sistemin fizibilitesi, kuantum gerilim standartları yerine, yüksek doğruluklu örnekleyiciler ile yapılmış ve 0.3 ppm kararlılık gözlenmiştir. Kuantum standartlarının entegrasyonu tamamlandığında, birkaç ppb doğruluk seviyesi hedeflenmektedir.

2. UME KİBBLE BALANS GERİLİM ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ

Kibble Balans ölçüm prosedürü aşağıdaki gibi formülize edilebilir.

$$\frac{h}{h_c} = \frac{\langle F \rangle}{\langle J \rangle} Q\{u\,|V\} \tag{1}$$

Planck Sabiti, bu denklemde elektrik ölçümlerin Josephson etkisi ve Kuantum Hall etkisine dayanması sebebiyle arka planda kendini göstermektedir. h_c değeri BIPM üye ülkelerinin mutabakatıyla belirlenen Planck sabiti değeridir, h ise deneyin sonucunda elde edilen gerçek Planck sabitidir. Bobinden akan akımın J ve bobinde oluşan lorentz kuvvetinin F ölçüm esnasındaki ortalama değerleri $\langle J \rangle$ ve $\langle F \rangle$ ile gösterilmiştir. Kibble Balans sistemlerinde Lorentz kuvveti test kütleyi yer çekim kuvveti ile dengelenmektedir. Q faktörü manyetik alan ve bobin geometrisine, ısıl etkilere ve diğer doğrusal olmayan etkilere bağlı bir parametredir. Dik yönde hareket eden mıknatısın hızı u ve bu süreçte bobinde oluşan gerilim ise V ile gösterilmiştir.

$$\{u\,|\,V\} = \frac{1}{2N} \sum_{k=1}^{2N} \frac{\langle \Delta u \rangle_k}{\langle \Delta V \rangle_k} \tag{2}$$

Burada $\Delta u = u - \langle u \rangle$ hız parametresinin ortalama değerinden sapmasıdır. $\langle u \rangle$ hızın bütün ölçüm süresi için ortalamasını temsil etmektedir. $k=1,\ldots,2N$ sinüzoidal hareketin yarı çevrimlerine karşılık gelmektedir. N ölçüm süresindeki toplam periyot sayısıdır. Hem hız hem de Faraday gerilimi tekrarlanabilir sinüs davranışı göstermektedir.

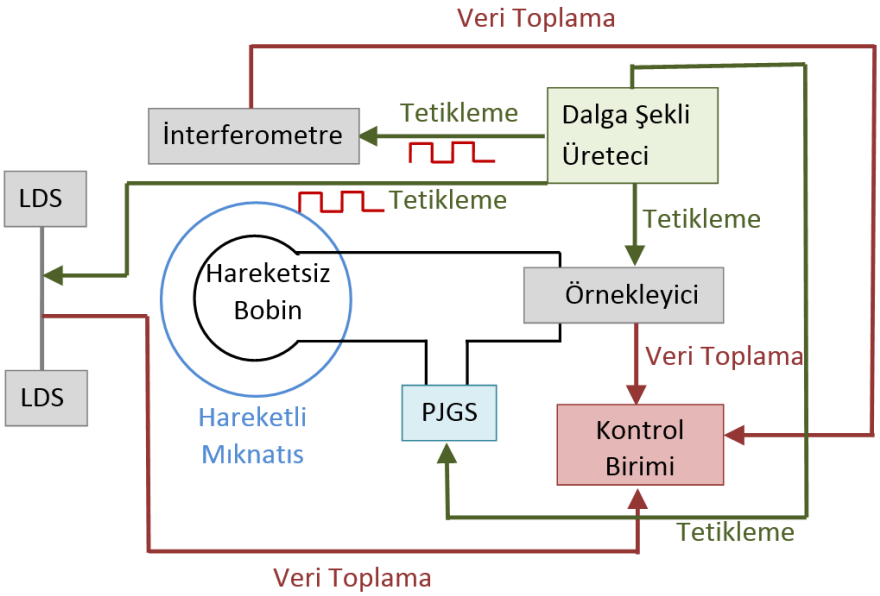
Bu çalışmada Faraday geriliminin ölçüm belirsizliği ele alınacaktır. Bütün diğer büyüklüklerin ideal ölçüldüğü varsayılarak

$$\frac{h_m}{h} = \{V_m\,|V\} \tag{3}$$

eşitliği elde edilir. Burada h_m ve V_m ölçülen değerler, h ve V gerçek büyüklüklerdir. Referans işaret V için Josephson 1 Hz 1000 adımlı merdiven adım sinüzoidal yaklaşımı kullanılarak Keysight 3458A sayısal multimetrenin dinamik kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyon sonucunda 3×10^{-7} belirsizlik elde edilmiştir [4-5]. Dolayısıyla, kilogramın gerçekleştirilmesi hedefine ulaşılabilmesi için Josephson gerilim kaynağının ölçüm sitemine entegrasyonu gerekmektedir. 3. Bölüm'de diferansiyal ölçüm deney düzeneği açıklanmıştır. Diferansiyel ölçüm verilerinin analizi 4. Bölüm'de verilmiştir.

3. FARADAY GERİLİMİ ÖLÇÜM DENEY DÜZENEĞİ

Şekil 1'de Faraday gerilimi ölçüm düzeneği görülmektedir. Keysight 33512B, dalga şekli üreteci cihazların senkronizasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Bobinin bağıl hızını ölçmek için kullanılan Michelson interferometresinin modeli SIOS AE SP 2000E'dir, her konum örneği Faraday gerilimi ve lazer yerdeğiştirme sensörleri örnekleriyle eş zamanlı alınmaktadır. Keyence LK-HD500 lazer yerdeğiştirme sensörü, mıknatısın yanal hareketlerini ölçmek için kullanılmaktadır. Faraday gerilimi ve PJGS'nin fark geriliminin örneklenmesinde ise PXI-5922 ΣΔ ADC kullanılmıştır. Faraday gerilimi ölçümleri, PJGS ve Faraday geriliminin senkronlanarak farklarının ölçülmesi prensibine dayanır. Faraday geriliminin frekans ve genlik parametrelerinin kontrolünün çözünürlüğü oldukça düşüktür, ayrıca faz kontrolü imkanı yoktur. Bu sebeple Faraday gerilimi referans işaret olarak alınmıştır ve PJGS dalga şekli üreteci yardımıyla Faraday gerilimine senkronlanmıştır.

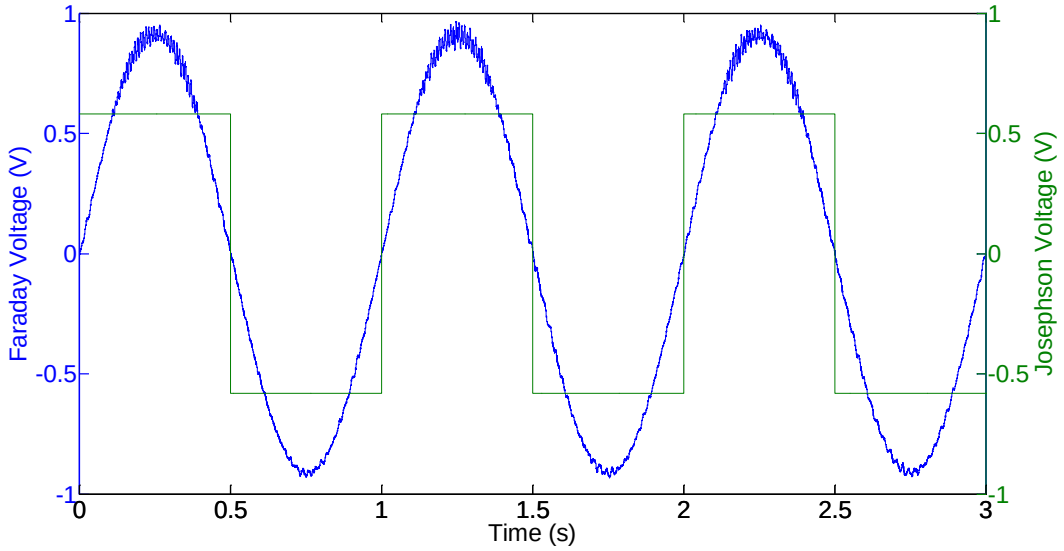


Şekil 1: Faraday gerilim ölçüm şeması

TÜBİTAK UME'de Programlanabilir Josephson Gerilim Standartları (PJGS), Kibble Balans proje çerçevesinde kurulmuştur [6]. PJGS çipi ikilik sistemde, toplam 18 segment olarak düzenlenen eklemlerden oluşmaktadır. SNS teknolojisi ile Supracon firması tarafından üretilen çip, 10 V'a kadar 145 µV çözünürlükle gerilim üretebilmektedir. Çip, mikrodalga gücün iletilmesini sağlayan dalga kılavuzunu ve bias akımını ileten telleri içeren bir probun ucuna monte edilmiştir. Prop, çipin süper iletken faza geçebilmesi için 4,2 K sıcaklığında olan sıvı helyuma daldırılmıştır. Çipin kuantum doğruluğunda gerilim üretebilmesi için, çipe yaklaşık 80 mW gücünde ve 69-71 GHz aralığında belirli bir frekansta RF uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, yüksek frekans doğruluğu için RF kaynağın 10 MHz referansının Rubidyum standardına kilitlenmesi gerekmektedir. Yine çipten kuantum doğruluğunda gerilim elde edilebilmesi için bias akım kaynağından uygulanan akımın her segment için belirli aralıklarda olması gerekmektedir. Sabit gerilim değeri veren akım platosu Shapiro adımı olarak adlandırılmaktadır. Belirli kuantum gerilim seviyesi elde etmek için aktif segmentler belirlenir ve bu segmentlere Shapiro adımlarının merkezine denk gelen akımlar verilir. PJGS'nin düzgün çalışabilmesi için bias akım kaynağının şebekeden izole olması gerekmektedir. Bu sebeple bias source 12 V'luk akü ile beslenmiştir. Ayrıca dalga üretecinin PJGS için ürettiği tetikleme sinyali optik olarak izole edilmiştir. Bu sayede PJGS şebekeden tamamen izole durumda çalışmaktadır. Fark gerilimi elde edebilmek için örnekleyici de şebekeden izole edilerek 12 V'luk akü ile beslenmiştir, yine PJGS ile aynı şekilde dalga üretecinden gelen tetikleme ve saat sinyalleri optik olarak izole edilmiştir.

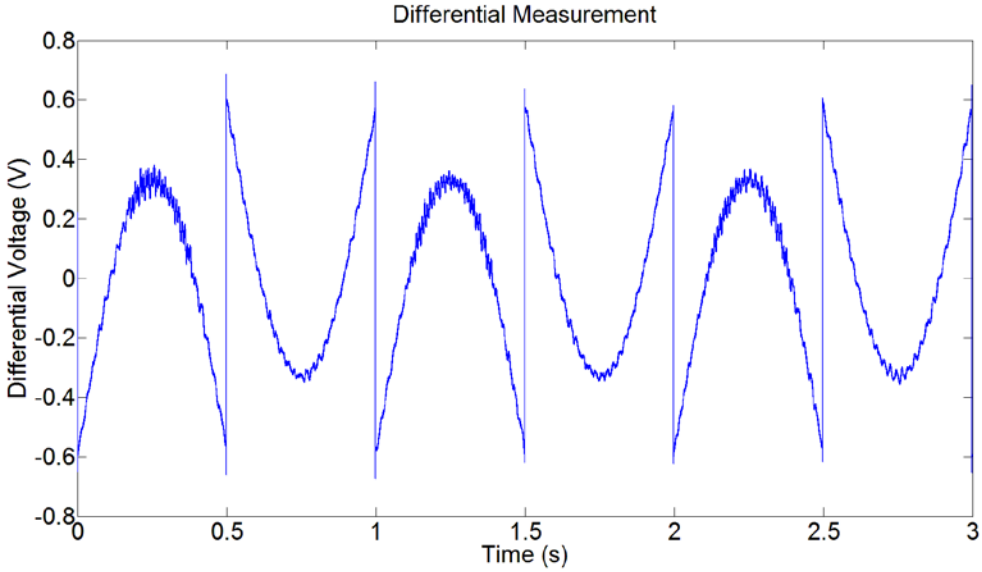
4. VERİLER VE ANALİZ

Klasik kuantum gerilim ölçümlerinde, PJGS çıkış gerilimi çok sayıda adıma sahip merdiven sinüs olarak ayarlanır. Ardından ölçülecek olan gerilimle senkronlanarak fark gerilimi ölçülür ve işaret tekrar oluşturularak parametreleri belirlenir. UME Kibble Balans sisteminde, klasik kuantum ölçümlerinden farklı olarak önemli olan Faraday geriliminin yarım periyot integralidir. Bu yüzden, PJGS ile yarım periyot integrali Faraday geriliminin yarım periyot integraline denk gelecek kare işaret üretmek yeterli olacaktır. Şekil 2'de Faraday gerilimi V_m ve Josephson gerilimi V_j verilmiştir. Bu grafik nominal 1 Hz mıknatıs hareket frekansı için senkronizasyonu göstermektedir. Faraday geriliminin frekansı, motorun nominal 1 Hz değeri için 1.001088 Hz olarak bulunmuştur. Gerilimin genliğinin ise 0.91408978 V olduğu sinüs uydurma algoritması [7] ile bulunmuştur. PJGS gerilim adımlarının her biri rastgele dalga üreteci ile tetiklenmektedir. Bu yüzden örnekleyici ile tam senkronizasyon için, örnekleyicinin 10 MHz saat girişi dalga üretecinin saatine kilitlenmiştir.



Şekil 2: Faraday gerilimi (mavi) ve Josephson gerilimi (yeşil).

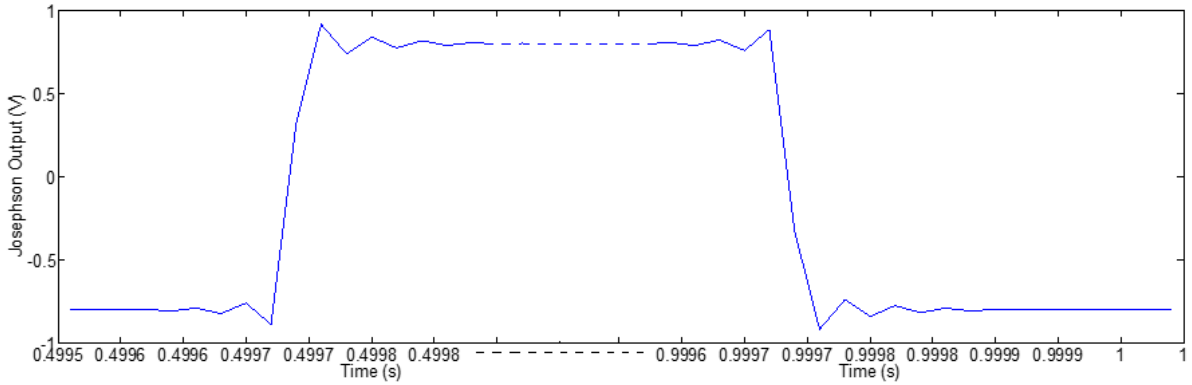
Diferansiyel ölçümlerde Faraday gerilimi ve Josephson standardı ile üretilen gerilim arasındaki fark $V_d=V_m-V_j$ örnekleyici ile ölçülür. Şekil 3'te ise fark gerilimi örneklenmiştir.



Şekil 3: Fark gerilimi.

Şekil 2 ve 3'te örnekleme frekansı 50 kHz olarak seçilmiş ve 600 saniyelik ölçüm alınmıştır. Ardından, ölçüm 60'ar saniyelik 10 sete bölünmüş ve her set için dört parametreli sinüs uydurma algoritması uygulanarak Faraday geriliminin frekansı, fazı, genlik ve sabit değer parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerin kararlılığı bu 10 sete göre değerlendirilmiştir. Nominal 1 Hz salınım frekansında kararlılığın 0,5 ppm'den daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca aralarında bir hafta olan ölçümler değerlendirildiğinde, frekans kaymasının ihmal edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Frekansın yanında genlik kararlılığı da analiz edilmiş, aynı gün alınan ölçümlerde ortalama değerden sapmanın 50 µV'un altında olduğu gözlenmiştir. Bu değer, PJGS'nin çözünürlüğünün altında olduğu için, sinüs algoritması ile belirlenmiş olan PJGS parametrelerinin ölçüm esnasında değiştirilmesine gerek olmadığı anlaşılmıştır. Bu şekilde, diferansiyel ölçümler için gerekli olan temel koşullar sağlanmıştır.

PJGS'nin ürettiği kuantum gerilim seviyesi değişimlerinde görülen geçişlerde gerilim değerleri hesaplanabilir değildir. Bu yüzden klasik AC gerilim ölçümlerinde geçiş zamanına denk gelen örnekler silinir. UME Kibble Balans gerilim ölçüm analizi, gerilimin yarım periyodunun entegraline dayandığı için, geçiş bölgelerinin ortalamaya katkısı incelenmiştir. PJGS çıkışı 1,6 $V_{p\text{-}p}$ genliğe ve 1 Hz frekansa sahip kare sinyal üretecek şekilde ayarlanmıştır. Çıkış gerilimi 600 sn boyunca PXI-5922 ile 50 kHz örnekleme frekansıyla örneklenmiştir. Ardından ölçüm 60 saniyelik 10 set olacak şekilde parçalanmıştır. Şekil 4'te Josephson kare sinyalinin 1 periyodu gösterilmiştir.



Şekil 4: Josephson kare sinyalinin 1 periyodu.

Bu grafikte yükselen ve düşen kenarlar geçiş gerilimi (V_j^g), olarak tanımlanır ve bu bölgedeki gerilim kuantum doğruluğunda değildir. Kare sinyalin plato bölgesindeki gerilimi V_j^k ise kuantum tabanlıdır. Josephson sinyali bu iki gerilimin toplamı olarak $V_j=V_j^g+V_j^k$ şeklinde ifade edilebilir.

Bu bilgiler ışığında (3) eşitliği

$$\frac{h_m}{h} = \{V_j^k \mid V\} + \{V_j^g \mid V\} + \{V_d \mid V\} \tag{4}$$

şeklinde yazılır. Eşitlik (4) kullanılarak, Faraday gerilim ölçümlerinde oluşabilecek belirsizlik parametrelerini aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz. Eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim belirsizliğe katkı vermez. İkinci ve üçüncü terimler ise sırasıyla geçiş bölgesinden kaynaklanan ve cihaz ölçüm kapasitesinden kaynaklanan belirsizlikleri içermektedir. Yapılan deneylerde ikinci terimin büyüklüğü $1\text{x}10^{-5}$ civarında elde edilmiştir. Bu sinyalin tekrarlanabilirliği ise 4 ppb civarındadır. Dolayısıyla, geçiş bölgesinin karakterizasyonu yapılarak bu terimden kaynaklanan belirsizlik katkısı için 4 ppb değeri kullanılabilir. Yapılan ölçümlerde üçüncü terimin $\{V_d|V\}$ büyüklüğünün $1\text{x}10^{-4}$'ten daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Gerilim ölçümlerindeki belirsizliğin 3 ppb altında tutulması için örnekleyici cihazın belirsizliğinin 30 ppm olması yeterli olacaktır. Sonuç olarak yapılan çalışmalarda Faraday gerilimi 4 ppb civarında belirsizlikle ölçülmesi mümkündür. Kilogram gerçekleştirme deneyleri için yeterli belirsizliğe ulaşılabilir.

5. SONUÇ

UME Kibble Balans Faraday gerilim ölçümü için kuantum ölçüm sistemi kurulmuştur. Dinamik ölçüm konsepti kullanılarak yapılan fizibilite çalışmaları, bu sistemle gerçekleştirilen elektrik ölçümlerinde 4 ppb'nin altında belirsizliklere ulaşılabileceğini göstermiştir. UME Kibble Balans sistemi kullanularak kilogram biriminin gerçekleştirmesi için gereken belirsizliklere ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

[1] ROBİNSON, I. A., "The Kibble Balance and the Forthcoming Revision of the SI", *2018 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2018)*. IEEE, 2018.
[2] Ahmedov, H, "An Oscillating magnet watt balance", CPEM 2016 Conf. Digest, 2016.
[3] AHMEDOV, H., BABAYİĞİT AŞKIN, N., KORUTLU, B., ORHAN, R., "Preliminary Planck constant measurements via UME oscillating - magnet Kibble balance", Metrologia 55, 326, 2018.
[4] AHMEDOV, H., KORUTLU, B., Orhan, R., "Optimization Procedure for Faraday's Voltage in UME Kibble Balance", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1-4, 2019.
[5] AHMEDOV, H., KORUTLU, B., Orhan, R., "Optimization Procedure for Faraday's Voltage in UME Kibble Balance." *2018 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2018)*. IEEE, 2018.
[6] ARİFOVİC, M., ORHAN, R., KANATOGLU, N., "10 V Programmable Josephson Voltage Standard Established in TÜBITAK UME", *2018 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2018)*. IEEE, 2018.
[7] 1057 - IEEE Standard for Digitizing Waveform Recorders, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Recep ORHAN

Recep Orhan 1988 yılında Bayburt'ta doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında TÜBİTAK BİLGEM UEKAE'de araştırmacı olarak işe başlamış, Mobil Verici Yön Tespit Sistemi (MobDF) Projesi'nde yazılım geliştirme ve sistem testlerinin gerçekleştirilmesinde görev almıştır. 2014 yılında UEKAE'den ayrılarak TÜBİTAK UME Gerilim Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak işe başlamıştır. Gerilim cihazları kalibrasyonu, otomatik kalibrasyon programları geliştirmenin yanı sıra Programlanabilir Josephson Gerilim Standardı sisteminin kurulumunda yer almış ve kontrol yazılımını geliştirmiştir. 2018 yılında Elektrodinamik Laboratuvarında göreve başlamış, Kibble Balans deneyine elektrik ölçüm sisteminin kurulumu, kontrol ve analiz yazılımları ile katkıda bulunmuştur. Çalışma alanları; kuantum gerilim standartları, işaret işleme ve ölçüm otomasyonudur. Üniversite giriş sınavında ilk yüz derecesi vardır.

Hacı AHMEDOV

Hacı AHMEDOV 1971 yılında Bakü, Azerbeycan'da doğdu. Yüksek Lisans derecesini 1994 yılında Moskova Rusya'da bulunan Moscow State Üniversitesi Fizik Bölümü'nden, Doktora derecesini 1998 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü'nden aldı. 1998 – 2012 yılları arasında TÜBİTAK Feza Gürsey Enstitüsü'nde uzman araştırmacı olarak çalıştı. 2014 yılından beri başuzman araştımacı olarak çalıştığı TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'nde fikir öncüsü olduğu Kibble Balans projesini koordine etmektedir. Plazma Metrolojisi ve Uygulamaları Projesi'nin de yürütücüsüdür. Elektrodinamik Laboratuvarı'nın sorumlusudur. Uluslararası hakemli dergilerde, ulusal ve uluslararası konferanslarda 40 üzerinde bilimsel makale ve bildirisi vardır. Araştırma konuları, kuantum alan teorisi, matematiksel fizik, genel rölativite, kuantum metroloji ve matematiksel istatistiktir. 2003 yılında TÜBA, GEBİP üstün başarılı genç bilim insanı ödülüne layık görüldü.

Beste KORUTLU

Beste Korutlu, 1982 yılında Eskişehir'de doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Fizik Bölümü'nden yüksek lisans derecesini 2007 yılında tamamlayarak mezun oldu. Doktora derecesini 2012 yılında Montreal, Kanada'da bulunan Concordia Üniversitesi Fizik Bölümü'nden aldı. 2006-2009 yılları arasında Çankaya Üniversitesi, Matematik ve Bilgisayar Bölümü'nde uzman olarak görev yaptı. 2009-2012 yılları arasında Concordia Üniversitesi Fizik Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2013-2015 yılları arasında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2015 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'nde uzman araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Elektrodinamik Laboratuvarı Laboratuvar Sorumlusu Vekilidir. Araştırma konuları standart model ötesi fenomonoloji odaklı teorik yüksek enerji fiziği, kütle metrolojisi ve kuantum metrolojidir. Uluslararası hakemli dergilerde, ulusal ve uluslararası konferanslarda 20 üzerinde makale ve bildirinin yazarıdır. 2012 yılında Concordia Accelerator Ödülüne layık görüldü. TÜBİTAK 2232 - Yurda Dönüş Araştırma Burs Programı kapsamında finanse edilen İki Higgs Dublet Modeli'nde Vektör Benzeri Fermiyonlar (Proje No: 113C002) başlıklı projenin yürütücülüğünü yaptı.

NANOKARBON ESASLI SÜPERKAPASİTÖR ELEKTROTLARIN FARKLI TARAMA HIZLARINDAKİ ÖLÇÜMLERİ

Utkan ŞAHİNTÜRK
Hamide AYDIN
Ümran KURTAN
Ahmet EKERİM

ÖZET

Elektrot malzemesinin kapasitif özelliklerinin belirlenmesinde döngüsel voltametri (CV) sıklıkla kullanılan bir ölçme tekniğidir. CV tekniği ile elektrokimyasal bir sistemin akım-voltaj eğrisi çevrim sayısına bağlı döngüsel olarak ölçülerek elde edilen sayısal veriler elektrokimyasal tepkimelere ilişkin çeşitli hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada karbon esaslı nano-malzemeler olan; İndirgenmiş Grafen Oksit/Gözenekli Karbon Nano Fiberden hazırlanmış (rGO/PCNF) kompozit çalışma elektrotunun ve başka bir karşıt elektrottan oluşan iki elektrotlu sistemin 1 M H_2SO_4 elektrolit içerisinde farklı tarama hızlarındaki akım-voltaj eğrileri ölçülmüştür. Bu eğriler 0 ila 1V potansiyel çalışma aralığında döngüsel olarak takip edilmiştir. Çalışılan potansiyel aralıkta, çevrim eğrilerinin altında kalan alanların integre edilmesi ile hesaplanan kapasitans değerleri tarama hızına (miliVolt/saniye) bağlı olarak değişmektedir. Döngüsel tarama eğrileri; düşük tarama hızlarında (10 mV/s) başarılı bir süperkapasitör için paralelkenara yakın kapanırken; aynı aygıtın elektrolitik ortam içerisinde tarama hızındaki artışla birlikte, döngüsel eğriler bu paralelkenarlığı sağlayan simetriden uzaklaşabilmektedir. Özellikle yüksek tarama hızlarından itibaren (200 mV/s) bu sapma daha baskın hale gelmektedir. Bu sapma elektrot, elektrolit iyonları ve diğer birçok nedenle ilişkili olmakla birlikte; Elektriksel Çift Tabaka Kapasitansı (EDLC) oluşum mekanizmasına göre depolanan yüklerin dağıtıldığı elektrot malzemesinin nano-boşluklu karbon matriksi içerisindeki elektrolit hareketine karşı oluşan omik dirençle (IR düşüş) ilişkisi de mevcuttur.

Aynı malzemelerin dönüşümlü Galvanostatik Şarj-Deşarj (GCD) (akımı sabit tutarak) potansiyellerinin ölçülmesiyle elde edilen eğrilerin; Düşük tarama hızlarında ikizkenar üçgen biçimine olduğu (yani ideale yakın tersinir bir kapasitif davranış göstererek CV tekniğinden elde edilen döngüsel akım-voltaj eğrilerinin paralel kenar kapanmasıyla örtüşürken) tarama hızı yükseldikçe tersi durumun gerçekleştiği ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Süperkapasitör, Döngüsel Voltametri (CV), Galvanostatik Şarj-Deşarj (GCD), Grafenoksit, Karbon nanofiber.

ABSTRACT

In order to determine the capacitive properties of any electrode material, cyclic voltammetry is generally preferred as technique. By using CV, the current-voltage curve of any electrochemical system can be measured as cyclic and numeric data can be used for the various electrochemical calculations. In this study, the electrochemical performances were investigated in a two-electrode configuration. The composite prepared from reduced graphene oxide and carbon nanofiber which are carbon based nano-materials, was directly used as working electrode. 1M H_2SO_4 solution was employed as electrolyte. First, supercapacitor device was assembled by using a pair of rGO/CNF papers as the working electrode, electrolyte and commercial separator. Then CV test was performed in the voltage window of 0-1V at different scan rates from 10mV/s to 100mV/s. Capacitance values are calculated by integrating the areas under the curves in the studied potential range and can be

changed depending on the scan rate (mV/s). CV curves generally move away from the symmetry with the increasing scan rate. This deviation is related to the electrode, electrolyte ions and many other reasons. Electrical Double Layer Capacitance (EDLC) is also associated with the ohmic resistance (IR drop) of electrolyte movement in the electrode material. In order to correlate this deviation over the scan rate, galvanostatic Charge-Discharge (GCD) (keeping the current constant) curves are obtained by measuring the potential.

The curves obtained by measuring the cyclic Galvanostatic Charge-Discharge (GCD) potentials of the same materials; showed that each charge-discharge cycle at constant current is completed close to the isosceles triangle at low scanning rates, while this symmetry is distorted at higher scanning rates.

Keywords: Supercapacitor, Cyclic Voltammetry (CV), Graphene oxide

1. GİRİŞ

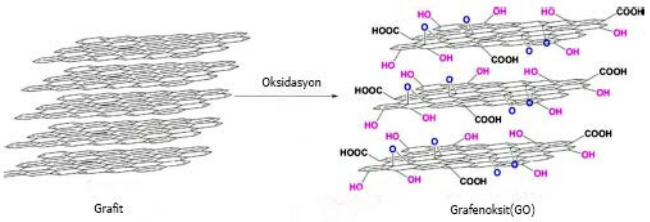
Elektrokimyasal tekniklerde, elektrot–çözelti sistemine bir elektriksel etki uygulanarak sistemin verdiği cevap ölçülür. Daha çok akım olarak ortaya çıkan bu cevap, sistemin özellikleri hakkında bilgi verir. Hemen hemen bütün elektrokimyasal tekniklerde potansiyel, akım ve zaman parametreleri bulunur. Tekniklerin çok büyük bir kısmında akım gözlenir ve bunlar çoğunlukla potansiyel kontrollü veya akım kontrollüdür. Elektrokimyasal tekniklerin çok çeşitli sınıflandırılmaları vardır. Dönüşümlü voltametri tekniği elektrokimyasal teknikler içinde en yaygın kullanılan tekniktir. Herhangi bir çözelti içerisindeki çalışma elektrotuna zamanla doğrusal olarak artan bir potansiyel uygulandığında akım–potansiyel eğrisinin bir pik şeklinde çıktığı görülür. Bu uygulamada potansiyel taraması ileri yönde belli bir potansiyel değerine ulaştıktan sonra yine doğrusal olarak azalacak biçimde ters çevrilirse, bu tekniğin adı dönüşümlü voltametri olur [1]. CV tekniği birçok enerji depolama sistemlerinde kullanıldığı gibi süperkapasitörlerde de sıklıkla kullanılmaktadır [2].

Bu çalışmada Grafen Oksit/Gözenekli Karbon Nanofiberden (rGO/PCNF) hazırlanmış elektroda sahip süperkapasitör aygıtlar hazırlanarak farklı tarama hızlarındaki Dönüşümlü Voltametri (CV) ve Galvanostatik Şarj-Deşarj (GCD) ölçümleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL PROSEDÜR

2.1. Grafen Oksit Sentezi

Hummer's metodundaki bazı modifikasyonlar ile doğal grafit yükseltgenerek GO sentezlenmiştir [3-6].



Şekil 1. Grafitin oksidasyonu

2.2. İndirgenmiş Grafen Oksit Sentezi (rGO)

GO saf suda dispers edilip önce manyetik karıştırıcıda sonra ultrasonik banyoda karıştırılmıştır. İndirgeyici olarak 1 mg/mL GO konsantrasyonu başına 1 µL hidrazin hidrat (% 65) eklenerek kendi kapalı kap atmosferinde 1 dakika sürede 1600W ve 2450 MHz de çalışan mikrodalga destekli reaksiyon sisteminde indirgenmiştir. Soğuduktan sonra saf su, etil ve metil alkol ile 15000 rpm de

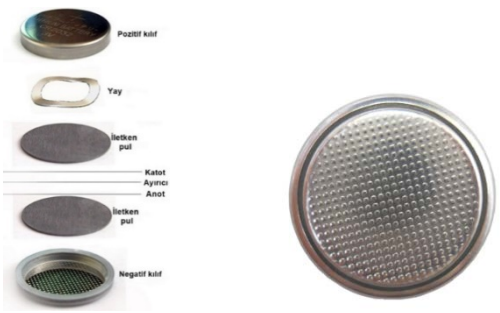
santrifüj edilerek yıkanmış ve dekantasyonu sonucunda elde edilen rGO (indirgenmiş grafenoksit) çökelti liyafilizatöre (dondurarak kurutucu) alınarak en az. -55 °C' de vakuma göre -60 °C' ye kadar inilirek en az 24 saat süre ile kurutulmuştur [3-7].

2.3. CNF ve 3rGO-PCNF elektrotlarının sentezi

Saf polimer nanofiberleri hazırlamak için ilk olarak toz halinde bulunan Poliakrilonitril (PAN) ve Polimetilmetakrilat (PMMA) polimeri uygun sıcaklıkta DMF (dimetilformamid) içerisinde çözülerek % 10'luk Polimer/DMF çözeltisi hazırlandı. rGO; PAN' a göre ağırlıkça % 3 oranında ayarlandıktan sonra DMF çözeltisi içerisine katılarak 2 saat ultrasonik banyoda tutuldu. Bu dispersiyona PAN polimeri yavaş yavaş eklendi ve 1 gece manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra elektrospin yapılacak 3rGO/PAN çözeltisi hazırlanmış oldu. Hazırlanan çözeltiler 10 ml enjektöre alınıp perfüzör pompasına yerleştirildi ve 1 mL/saat hızla elekrospin cihazında beslendi. Toplayıcı altlık ve enjektör ucuna bağlı elektrot arasındaki mesafe 15 cm olarak ayarlanıp ve iki elektrot arasında 18 kV yüksek gerilim uygulandı. Altlık malzeme üzerinde elektro-eğrilmiş polimer Daha sonra kontrollü atmosfer fırınında 800 °C' de karbonizasyon işleminden sonra porlu karbon nano fiber (PNCF) üretilmiş oldu.

2.4. Süperkapasitör Hücrelerinin Hazırlanması ve elektrokimyasal analizler:

Süperkapasitörlerin hazırlanmasında Şekil 2'de görülen 2032 hücre kılıflarından yararlanılmış ve döngüsel voltametri ve galvanostatik şarj-deşarj testleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen karbon nanofiber elektrotlar anot ve katot olarak, 25µm gözenekliliğe sahip whatman camsı fiber (GF-D) separatör, 1M H_2SO_4 ise elektrolit olarak kullanılmıştır. Elektrotlar arasına yerleştirilmiş separatörler yeterince elektrolit çözeltisi ile ıslatılmış ve buton 2032 kılıflar arasına elektrotlar ve diğer parçalar Şekil 1'de belirtilen sıra ile yerleştirilerek elektronik kontrollü pil basma presi ile basılmıştır. Böylece Şekil 1'de gösterilen süperkapasitör(SK) aygıt hazırlanmıştır. Buton 2032 hücre kılıf kullanılmasının nedeni ticari olarak mevcut olan batarya basma presi ve batarya analizör test stantlarının 20XX hücre kılıflarına göre olmasıdır.



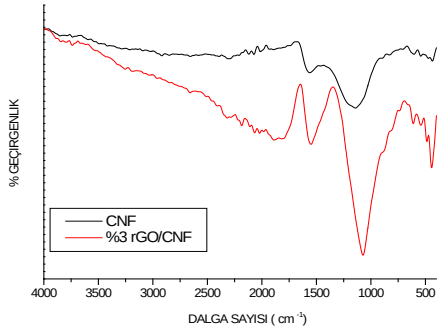
Şekil 2. Buton tipi SK hücresi.

SK elektrotların elektrokimyasal karakterizasyonlarında kullanılan teknikler; Dönüşümlü Voltametri (CV) ve Galvanostatik Şarj/Deşarj (GCD) metotlarıdır. CV ölçümleri Gamry marka 1010B model potansiyostat/galvanostat cihazı kullanılarak yapılmıştır. CV ölçümleri 10; 25; 50; 75; 100 ve 200 mV'/sn tarama hızlarında gerçekleştirilmiştir. GCD ölçümleri ise MTI marka 10 mA akıma kadar ölçüm yapabilen batarya analizatöründe yapılmıştır. Uygulanacak akım yoğunluğu değeri elektro aktif malzeme kütlesine bağlı olarak belirlenerek 1 A/g'da gerçekleştirilmiştir.

3. MALZEME KARAKTERİSYONLARI ve ÖLÇÜMLER

3.1. Fourier dönüşümlü IR spektroskopisi (FTIR) Analizi:

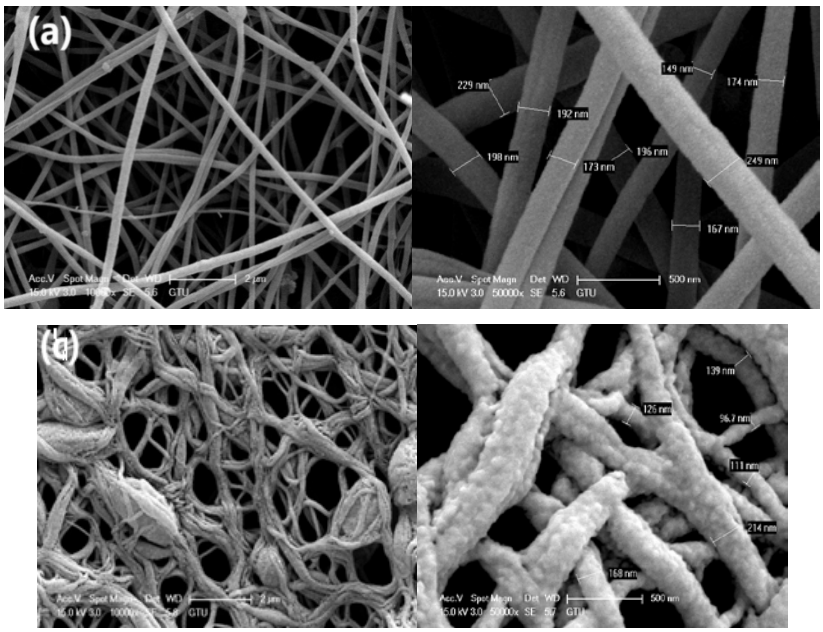
Saf CNF ve 3rGO-PCNF'nin fourier dönüşümlü IR spektrumları (FT-IR) Şekil 3'de gösterilmiştir. Spektrumlarda karbon nanofiberin karakteristik bağları görülmektedir. Bunlar sırasıyla C-C ve C=C bağ titreşimlerinden kaynaklanan yaklaşık 1100 cm^{-1} ve 1380 cm^{-1}, deki piklerdir.



Şekil 3. CNF ve 3rGO-PCNF'ye ait FTIR ölçümleri.

3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

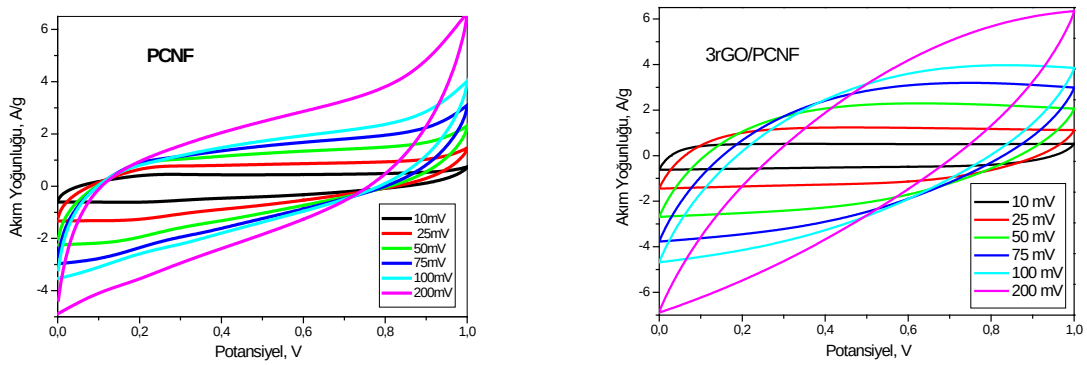
Şekil 4'te PCNF ve 3rGO/PCNF'ye ait SEM görüntüleri yer almaktadır. SEM görüntülerinde görüldüğü üzere rGO eklenmiş PCNF' lerde yüzey morfolojileri saf haldeki karbon nanoliflere göre değişim göstermiştir. rGO eklenmesi ile lifler düzgün bir yapıdan örgüsel bir yapıya dönüşmüşlerdir.



Şekil 4. (a)CNF (b) 3rGO/PCNF' ye ait SEM görüntüleri

3.3 PCNF ve 3rGO/PCNF Elektrotlarının Kullanıldığı Süperkapasitörlerin Fiziksel Elektrokimya Ölçümleri

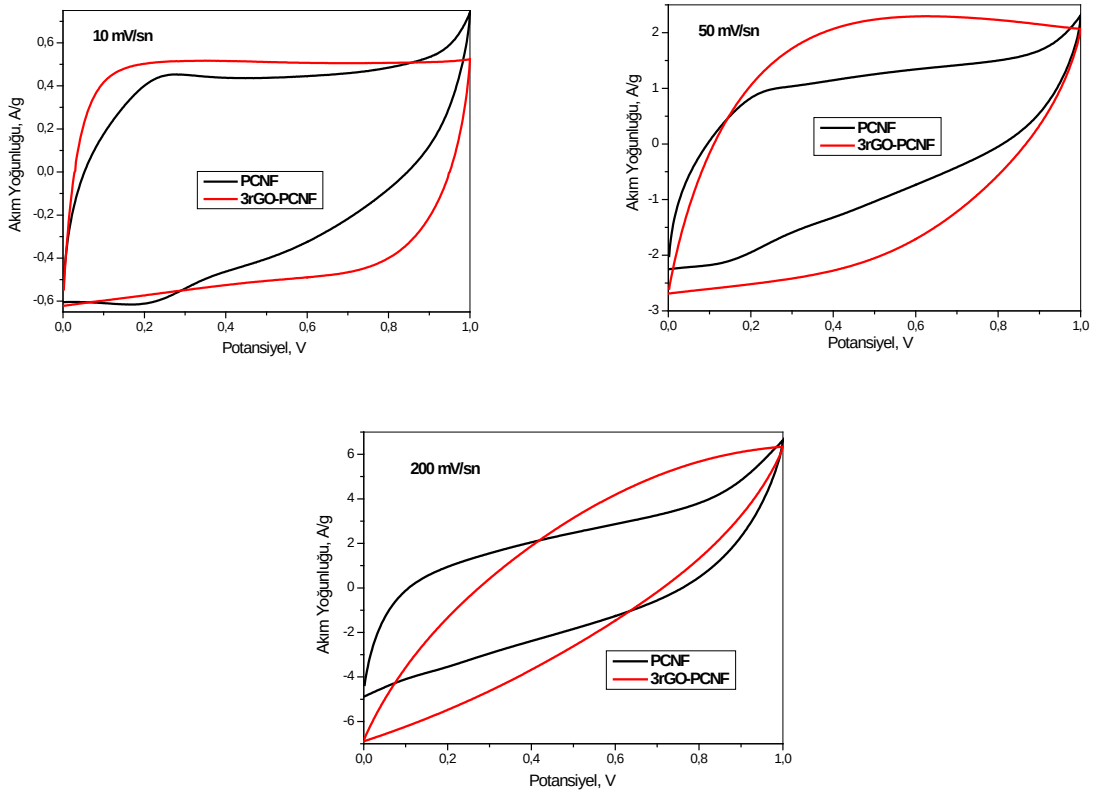
Sentezlenen PCNF ve 3rGO-PCNF'nin CV eğrileri Şekil 5' te gösterilmiştir. CV eğrileri incelendiğinde PCNF' nin akım değerinin arttığı görülmektedir. Ancak yüksek tarama hızlarında ideal dikdörtgensel şekilden sapma gözükmekte bunun sebebi ise yüksek tarama hızlarında, elektrot porlarındaki yük taşınımının yavaşlamasıdır. Bu bozulma % 3 rGO katkılanması durumunda paralelkenar simetrisinden daha az ödün vererek devam etmektedir ki, bu yüksek kapasitans ve çevrim kararlılığı açısından **olumludur.**



(a) **(b)**

Şekil 5. (a) PCNF ve **(b)** 3rGO/PCNF kullanılarak hazırlanmış süperkapasitör aygtıların farklı tarama hızlarından elde edilen CV eğrileri

Şekil 6.da ise en düşük tarama hızında, orta ve en yüksek tarama hızlarındaki CV eğrileri her iki elektrot ile birlikte kaşılaştırmalı verilmiştir. % 3 rGO katkısının sağladığı ideal kapasitif davranış ölçülmüştür:



Şekil 6. 10, 50 ve 100 mV/s tarama hızından elde edilen karşılaştırmalı CV eğrileri.

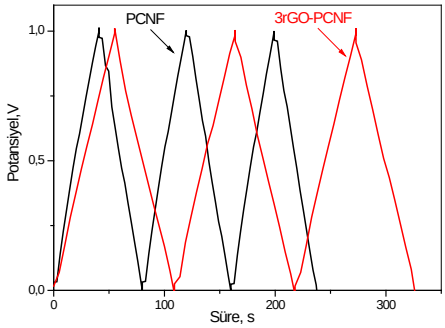
Tablo 1. de SK aygıt kapasitans değerleri verilmiştir. % 3 rGO katkısı yukarıda bahsedilen ideal kapasitif geometrileri sağlarken; ki bu durum yüksek çevrim sayılarına çıkılmasını sağlayacaktır; aynı zamanda kapasitans değerlerine de olumlu katkı sağlamaktadır.

Tablo 1. CV ölçümlerinden elde edilen SK aygıt kapasitansları

mV	PCNF	3rGO
10 mV/sn	81,44 F/g	95,12 F/g
25 mV/sn	62,27 F/g	84,65 F/g
50 mV/sn	47,68 F/g	72,14 F/g
75 mV/sn	39,77 F/g	62,33 F/g
100 mV/sn	34,59 F/g	54,47 F/g
200 mV/sn	25,44 F/g	36,04 F/g

Dolayısıyla CV ölçümlerinden elde edilen sonuçlar; düşük tarama hızlarında paralelkenara yakın davranışlar ile şarjın depolanması ve geri boşaltılması aşamalarının hızlı ve tersinir bir şekilde gerçekleştiğini ve potansiyel değişimlerine karşı elektrot yüzeyinde çift tabaka oluşumunun hızlı bir şekilde yeniden organize olduğunu göstermektedir. Tarama hızı arttığında ise iyonlar ve elektrolit arasındaki etkileşimin de azalmasıyla voltamogram dörtgensel geometrisinden sapmaktadır. Bu durum tarama hızı 200 mV/s'ye çıkana kadar belirginleşir, ancak grafen malzeme ile bu durum olumlulaştırılmıştır. % 3rGO/PCNF'den hazırlanmış SK aygıtın daha yüksek alana dolayısıyla daha yüksek kapasitansa sahip olduğu görülmektedir. % 3rGO eklenmesi ile saf PCNF'nin kapasitesi de artırılmıştır.

Şekil 7.de ise 0-1 V potansiyel tarama aralığında Süperkapasitör aygıtın 1 A/g sabit akım yoğunluğundaki dönüşümlü Şarj-Deşarj grafikleri verilmiştir.



Şekil 6. PCNF ve % 3rGO/PCNF'nin 1A/g akım yoğunluğundaki döngüsel GCD eğrileri

Şekil 7'den Eşitlik 1' e göre; spesifik kapasitanslar tekrar hesaplanmıştır. Deşarj prosesinin başlangıcında meydana gelen ohmik potansiyel düşmesi miktarları çıkartılmıştır. Şarj-Deşarj koşullarında da benzer değerler elde edilmesi gerçek çalışma koşulları için önemlidir:

$$C_{spesifik}=(2* i* t_d)/(m * \Delta V) \qquad \text{(Eşitlik 1)}$$

- $C_{spesifik}$: spesifik kapasitans, F/g
- i : akım, mA
- ΔV : potansiyel fark, V; omik düşüşleri çıkartılarak.
- t_d: deşarj süresi, sn.
- m: bir elektrotun yüzeyindeki aktif madde kütlesi, mg

1 A/g sabit akım yoğunluğunda gerçekleştirilen GCD ölçümlerinden; spesifik kapasitans değerleri 1A/g akım yoğunluğunda ***PCNF*** elektrotlardan hazırlanmış simetrik süperkapasitör için kapasitans ***80*** F/g ***ve 3rGO/PCNF*** elektrotlardan hazırlanan için ise artarak ***108 F/g*** olarak hesaplanmıştır. SK hücresi için GCD eğrileri incelendiğinde çıkan değerlerin CV ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Ek olarak farkl iki elektrot malzemesinden hazırlanmış bu SK aygıtların GCD ölçümlerindeki deşarj sürelerinden, Eşitlik 2 ve 3' e göre Enerji ve Güç yoğunlukları 1 A/g akım yoğunlukları için hesaplandığında;

Enerji yoğunluğu, E (Watt.saat/g) = 0,5 C_s x ΔV^2/3600 (Eşitlik 2)

Güç Yoğunluğu, P (Watt/g) = E x 3600/ t_d

Enerji yoğunlukları PCNF ve % 3 rGO katkılı PCNF den mamül SK aygıt için; 0,011 ve 0,015 Wattsaat/g olarak hesaplanıp; yani % 3 rGO katkısı % 36 lık bir artış sağlamaktadır. Güç yoğunlukları ise; 0,99 Watt/g ve 1 Watt/g dir. Dolayısıyla rGO katkısının yüksek enerji yoğunluğu hedeflenen SK ler için olumlu karşılanabilir. Çünkü yüksek güç yoğunluklarına sahip SK lerin enerji yoğunluklarının da artırılarak mevcut geleneksel kapasitörlere alternatif bir segmente oturabilmesi için güncel ihtiyaçtır. Ancak deşarj süresi de SK segmentini enerji ve güç yoğunluğu değerleri açısından yakalayan bir Süperkapasitör için önemlidir. Yani SK olabilmek için; yeterli enerji ve güç yoğunluğu kesişimi hangi deşarj süresinde yakalayabilmektedir. Saniye mertebeleri olumlu olmakla birlikte geliştirilerek daha da düşürülmesine ihtiyaç vardır. Daha sonra çevrim sayıları ve kararlılıkları ile ürün oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

[1] SIMON, P., GOGOTSI, Y., 2008., "Materials for electrochemical capacitors", Nat. Mater. 7(11):845-54.

[2] ZHANG, LL., ZHAO, XS., 2009., "Carbon-based materials as supercapacitor electrodes", Chemical Society Reviews, 38,9, 2520-2531.

[3] AKYÜZ, D., KESKİN, B., ŞAHİNTÜRK, U., KOCA, A., 2016. "Electrocatalytic hydrogen evolution reaction on reduced graphene oxide electrode decorated with cobaltphthalocyanine", Applied Catalysis B: Environmental, 188, 217-226.

[4] BERBER, H., UCAR, E., SAHİNTURK, U., 2017. "Synthesis and properties of waterborne few-layer graphene oxide/poly (MMA-co-BuA) nanocomposites by in situ emulsion polymerization", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 531, 56-66.

[5] BOZDOĞAN, A., AKSAKAL, B., ŞAHİNTÜRK, U., YARGI, Ö., 2018. "Influence of heating on spectroscopic, mechanical, and thermal properties of reduced graphene oxide-poly (vinyl alcohol) composite films", Journal of Molecular Structure, 1174, 133-141.

[6] YARGİ, O., GELİR, A., SAHİNTURK, U., OZER, T., CALİSKAN, M., AKSAKAL, B., 2019. "How the Reduced Graphene Oxide Prepared at Different pH Values Affect the Optical Transmittance and the Electrical Properties of Polystrene Latex Films?", Polymer Composites, 40 (S2), E1441-E1450.

ÖZGEÇMİŞ

Hamide AYDIN

1984 yılı Sinop doğumludur. 2008 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünü bitirmiştir. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Fiziksel Kimya Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine devam etmektedir. 2014 yılında Teknogirişim Sermayesi Desteği ile kurduğu Biyonanotronik şirketinde yöneticilik ve aynı zamanda AB Projesi (Eranet-Incomera) yürütücülüğü yapmaktadır. Enerji depolama sistemlerinde (özellikle Lityum iyon bataryalar ve Süperkapasitörler) kullanılan malzemeler (nanokarbon esaslı) üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Ümran KURTAN

1987 yılı İstanbul doğumludur. Kimya lisans ve yüksek lisans ğitimlerinden sonar, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Nanoteknoloji alanında 2018 yılında Doktora eğitimini tamamlamıştır. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Teknokent'te yer alan Biyonanotronik firmasında süperkapasitörler üzerinde çalışmaktadır.

Utkan ŞAHİNTÜRK

1982 yılı Malatya doğumludur. 2006 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bitirmiştir. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü' nden 2011 yılında Yüksek Mühendis ve 2016 yılında Yıldız Teknik Üniversitesinden Doktor ünvanını almıştır. 2012-2016 Yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği' nde Araştırma Görevlisi, 2017' den beri İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa' da Dr. Öğr. Üyesi alarak görev yapmaktadır. Grafen esaslı nano-cmalzemeler ve elektrot hazırlanması konularında çalışmaktadır.

Ahmet EKERİM

1950 yılı doğumludur. 1972 yılında İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Makina Mühendisliği bitirerek, 1974 yılında Yüksek Mühendis, 1982' de Doktor, 1986 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Yardımcı Doçent, 1996 yılında Doçent ve ve 2003 yılında Profesör ünvanını alarak 2017 yılında emekli olmuştur. Ölçme ve Kalibrasyon, Elektrometalurji ve Termodinamik konularında çalışmaktadır.

TEKSTİL/HAZIR GİYİM ALANINDA YAPILAN TEKSTİL PERFORMANS TESTLERİNDE KULLANILAN TEST CİHAZLARINA AİT KALİBRASYON GEREKSİNİMLERİ

Martindale Aşınma ve Boncuklanma Deney Cihazı Kalibrasyonu

Özlem İŞLER

ÖZET

Bu çalışmada, Martindale aşınma ve boncuklanma deney cihazının kalibrasyon metodu geliştirilirken kullanılan ölçüm yöntemlerinin ve referans cihazların kalibrasyon sonuçları ve kalibrasyon süresi üzerindeki etkisi Gage R&R endeksi ve diğer istatistiksel metotlar ile değerlendirilmiştir.

Değerlendirme Tekstil deneylerinin genelinin yapıldığı ISO 139 Standartında belirtilen sıcaklık ve nem değerlerinin etkileri birlikte göz önüne alınarak yapılmıştır. Deneysel çalışmaların tamamı Lab Right Türkiye laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ölçülecek parametreler TS EN 12947-1 standartına göre zaman/devir, boyut (iç çap, dış çap, derinlik), kütle, paralellik ayrıca Lissajous testi olarak belirlenmiştir.

Metot geliştirme öncesi hesaplanan Gage R&R endeksi %50,53 olarak hesaplanmıştır. Endüstride kabul edilen maksimum Gage R&R endeksi %30'dur. Yapılan iyileştirme/standartlaştırma çalışmaları sonrası Gage R&R endeksi yeniden hesaplanmış %13,27 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gage R&R, Lissajous, Martindale, aşınma, boncuklanma, ölçüm verimliliği, yalın, ölçüm belirsizliği

ABSTRACT

In this study the effect of calibration method used and the referance equipment used were evaluated with Gage R&R index and other statistical analysis on martindale abrassion test equipment calibration.

This evaluation taked account of ISO 139 temperature and relative humidy requirements effects. All experimental studies were implemented in Lab Right Turkey.
Parameters measured has been specified according to TS EN 12947-1 as period/time, dimension (inner diameter, external diameter and depth), mass and parallelism also Lissajous test.
According to the results of this experimetal study up to Gage R&R indeks decrease %13,27 than %50,53. The acceptable industry value is ≤ %30.

Key Words: Gage R&R, Martindale, Lissajous, Abrassion, Pilling, productivity, lean, uncertainty

1. GİRİŞ

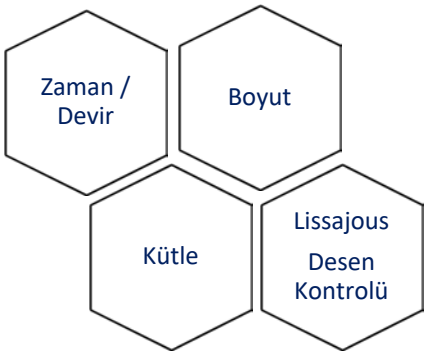
Martindale Aşınma Test Cihazı

Aşındırma masası ve tahrik mekanizmasına monte edilen bir taban kaidesinden oluşmuştur. Tahrik mekanizması, deney parça tutucusu kılavuz plakasının Lissajous desenini takip etmesini sağlayan iki adet dış ve bir adet iç tahrik mekanizmasından oluşur.

Deney parçası tutucusunun kılavuz plakası yatay mahfazaları ve deney parçası tutucusu kılavuz şaftlarını taşıyan sürtünmeli yataklar ile tutturulur. Her bir deney parçası tutucu şaftının alt ucu, bu uca karşılık gelen uygun bir tutucusu gövdesine yerleştirilir. Şaftın üst ucuna ağırlıklar bağlanabilmelidir. Deney parçası tutucusu, bir kaide, tespit elemanı ve cıvatadan oluşur. Cihazda dış tahrik mekanizmalarından birinin devirlerini saymak üzere önceden ayarlanabilir bir sayaç bulunur.

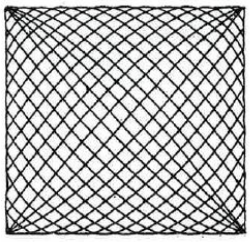
Şekil 1: Martindale Aşınma ve Boncuklanma Test Cihazı

Kalibrasyonda Ölçülen Parametreler



Lissajous Deseni:

Deney cihazının 16 sürtme hareketiyle elde edilen desendir. 31 adet eğriden oluşur.



Kalibrasyon Basamakları

Kalibrasyon İşleminde Kullanılan Cihazlar ve yardımcı malzemeler

Cihaz Adı	Cihaz Kodu	Marka	Model	Açıklama
Hassas Terazi	REF-51	Mettler Toledo	XPE3003S	Res: 0,0001 g / Kapasite: 3000 g
Dijital Kumpas	REF-08	Mitutoyo	150 mm	Res: 0,01 mm / Kapasite: 150 mm
Kalınlık Ölçer	REF-57	ACCUD	0,05 mm	Kapasite: 0,03 mm- 1,00 mm
Kronometre	REF-39 REF-40	Casio	HS-70W-1DF	Res: 200 ms
Yapışkan kağıt	NA	3M James Heal	NA	100 mm çapında kağıt
Çelik gömlekli çizim kalemi	NA	SDL ATLAS James Heal	NA	Tükenmez kalem kartuşu ile kullanılır.
Laboratuvar sıcaklık nem izleme sistemi	S-01	Elektrothink	NA	ISO 139'a göre belirlenmiş ortam koşulları

2. UYGULAMA

2.1 LISSAJOUS DESEN KONTROLÜ ÖLÇÜMLERİ

Lissajous desen kontrolünde iki farklı kağıt kullanılmış ve farklı kağıtlardan gelen ölçüm değişkenliği incelenmiştir. Üreticinin kullandığı James Heal markalı sarf kağıt ve kırtasiyeden kolay ulaşılabilen 3M markalı kağıt ile ölçüm denemeleri yapılarak sonuçlar Minitab'de değerlendirilmiştir.

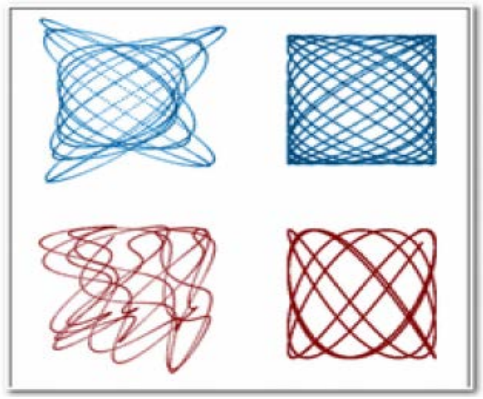
- **Standart olmayan sarı küp kağıt**

(80 g/m²) (75,19 x74,05) mm

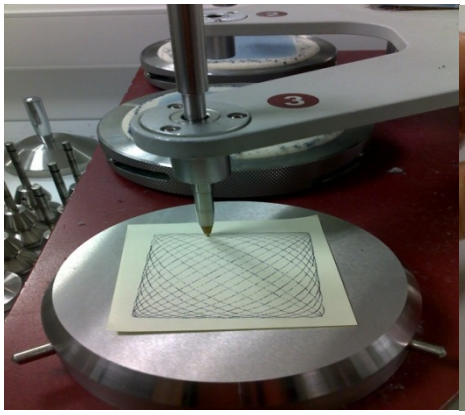
- **Beyaz James Heal küp kağıt**

(87 g/m²) (84,85 x 84,84) mm

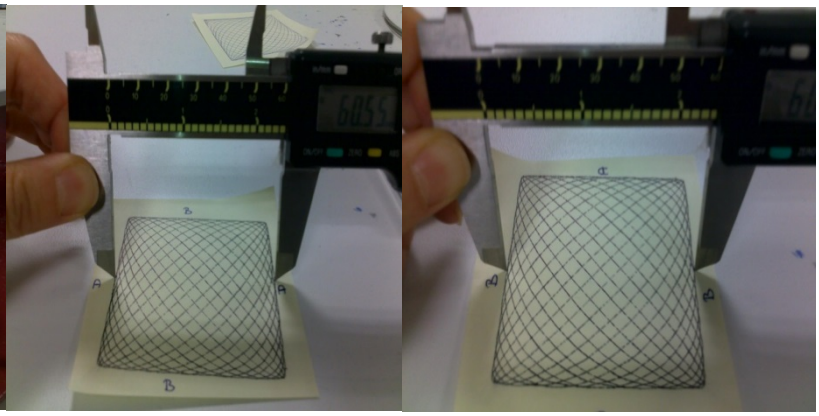
Lissajous deseni test cihazının her bir kafa için çizdirilmiş, referans kumpas ile A ve B kenarlarından ölçüm alınmıştır. Nominal değer: (60,5 ± 0,5) mm



Şekil 2. Uygun olmayan çizim örnekleri



Şekil 3. Lissajous çizimi



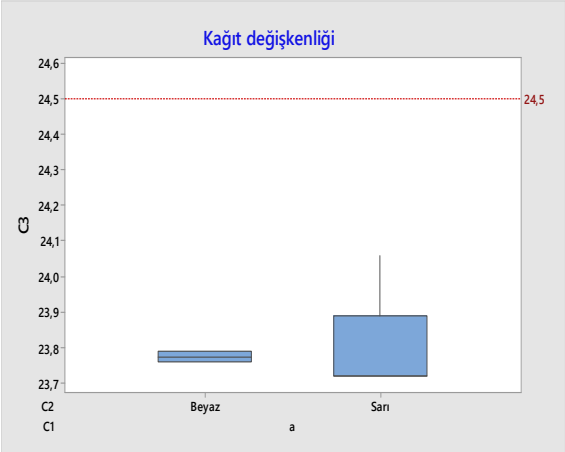
Şekil 4. Kenar ölçümü

*Çalışma iki operatörle yapılmıştır.

*Kağıt farklılığının ölçüm sonucu üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

*Lissajous desen kontrolü çalışması standart olmayan küp kağıt ve beyaz James Heal küp kağıt ile yapılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler Minitab'de değerlendirilmiştir.




```
Factor Information
Factor  Levels  Values
C2           2  Beyaz; Sarı
Analysis of Variance
Source  DF    Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
C2       1  0,000376  0,000376     0,03    0,871
Error    7  0,093380  0,013340
Total    8  0,093756
Model Summary
       S   R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,115499  0,40%      0,00%       0,00%
Means
C2     N     Mean   StDev         95% CI
Beyaz  4  23,7750  0,0173  (23,6384; 23,9116)
Sarı   5  23,7880  0,1521  (23,6659; 23,9101)
Pooled StDev = 0,115499
```

Sarı kağıdın değişkenliği beyaz kağıttan daha fazla, her iki kağıt ile de tolerans değerleri içinde sonuç elde edilmiştir.

2.2 BOYUT ÖLÇÜMLERİ

Boyut Ölçümü Gage R&R Çalışması

Boyut ölçümü için rassas olarak seçilen iç çapı 127 mm ± 0,5 mm değerindeki8 adet sıkıştırma çemberlerinde Gage R&R çalışması yapılmıştır.

Çalışmaya 3 operatör katılmıştır.

İlk çalışma 28.03.2018 tarihinde yapılmıştır. Çalışma sırasında video kaydı yapılmıştır ayrıca kalibrasyon sırasında ölçümler farklı bir gözlemci tarafından izlenmiş ve değişkenlikler not alınmıştır.

Veriler Minitab'de aktarılıp Gage R&R sonuçları ve grafikleri incelenmiştir.

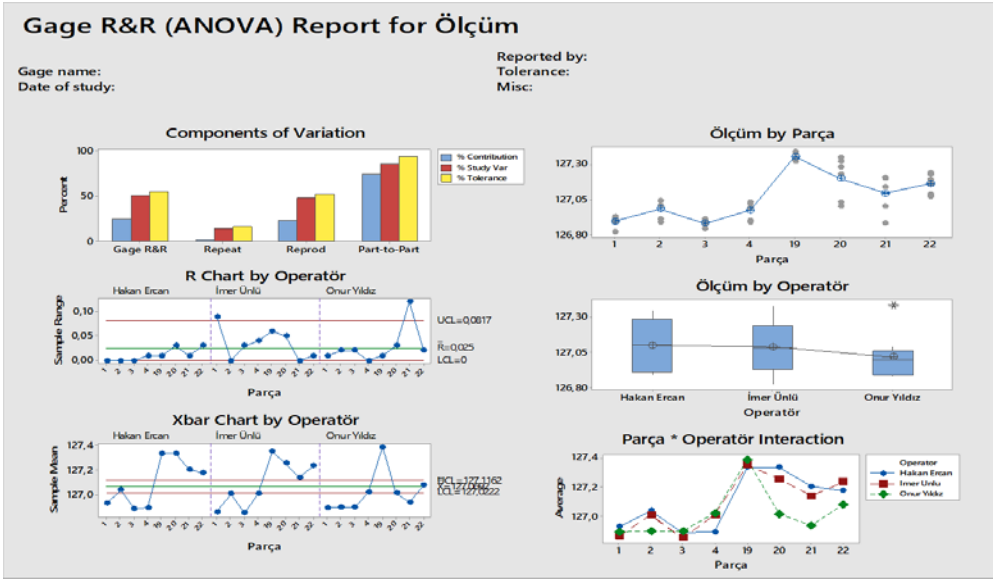
Çalışma sonrası video proje ekibi tarafından izlenerek değişkenlikler belirlenmiştir.

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0085521	25,53
Repeatability	0,0007417	2,21
Reproducibility	0,0078104	23,32
Operatör	0,0012073	3,60
Operatör*Parça	0,0066031	19,71
Part-To-Part	0,0249460	74,47
Total Variation	0,0334981	100,00

Process tolerance = 1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,092477	0,55486	50,53	55,49
Repeatability	0,027234	0,16340	14,88	16,34
Reproducibility	0,088377	0,53026	48,29	53,03
Operatör	0,034746	0,20848	18,98	20,85
Operatör*Parça	0,081260	0,48756	44,40	48,76
Part-To-Part	0,157943	0,94766	86,30	94,77
Total Variation	0,183025	1,09815	100,00	109,81

Number of Distinct Categories = 2



İlk Gage R&R da tespit edilen değişkenlikler

1. Bazı operatörlerin ölçüm sırasında kumpası çenelerden tuttuğu tespit edilmiştir.
   - Kumpasın metal aksamından tutulması aşırı ısınmaya neden olur, insan vücut sıcaklığıyla kumpas ölçüm sonucu değişir.
2. Operatörün sürgüden değil kumpas gövdesinden hızlı şekilde sürgüyü açmaya çalıştığı tespit edilmiştir.
   - Kumpasın çeneleri açılırken sürgüden tutulması gerekmektedir.
   - Kumpas çok hızlı olmadan nazik şekilde sürgüsünden açılmalıdır.
3. Ölçüm sırasında operatörlerin farklı pozisyonlarda ölçüm aldığı görülmüştür. Ölçüm operatörler oturarak ya da ayaktayken gerçekleştirmiştir.
   - Ölçüm sırasında operatörün oturması daha uygundur. Aksi halde masa yüksekliği her operatör için uygun olmayacaktır.

Gage R&R çalışması ile tespit edilen standart olmayan parametreler

- Kumpas tutuş şekli
- Çene açma noktası ve hızı
- Masa yüksekliği- ölçüm pozisyonu

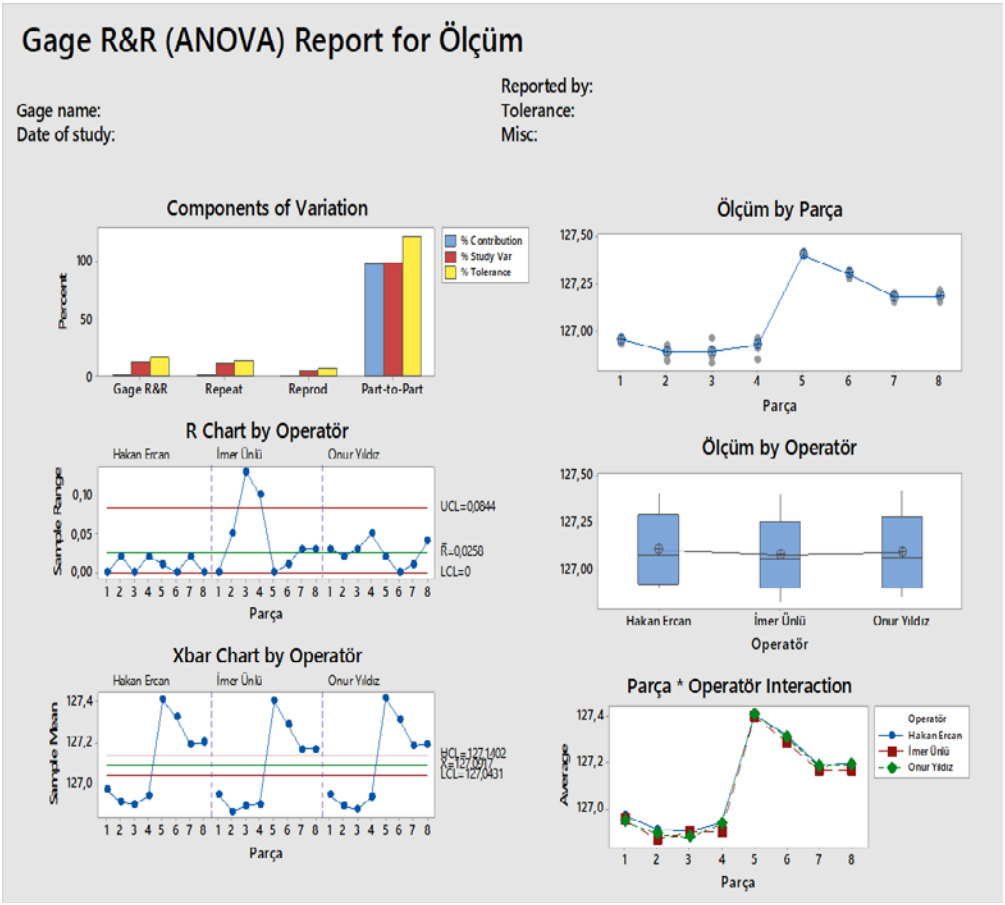
2 Hafta sonra aynı ekip ve aynı cihazda ölçüm tekrarlanmıştır. Belirlenen standart ölçüm yöntemleri sonucunda aşağıdaki Gage R&R endeksi elde edilmiştir. ***Ölçüm by operatör*** tablosundan görüleceği gibi operatörler arasındaki farklılıklar azalmıştır.

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0007379	1,76
Repeatability	0,0006027	1,44
Reproducibility	0,0001351	0,32
Operatör	0,0001351	0,32
Part-To-Part	0,0411384	98,24
Total Variation	0,0418763	100,00

Process tolerance = 1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,027164	0,16298	13,27	16,30
Repeatability	0,024551	0,14730	12,00	14,73
Reproducibility	0,011624	0,06974	5,68	6,97
Operatör	0,011624	0,06974	5,68	6,97
Part-To-Part	0,202826	1,21696	99,12	121,70
Total Variation	0,204637	1,22782	100,00	122,78

Number of Distinct Categories = 10

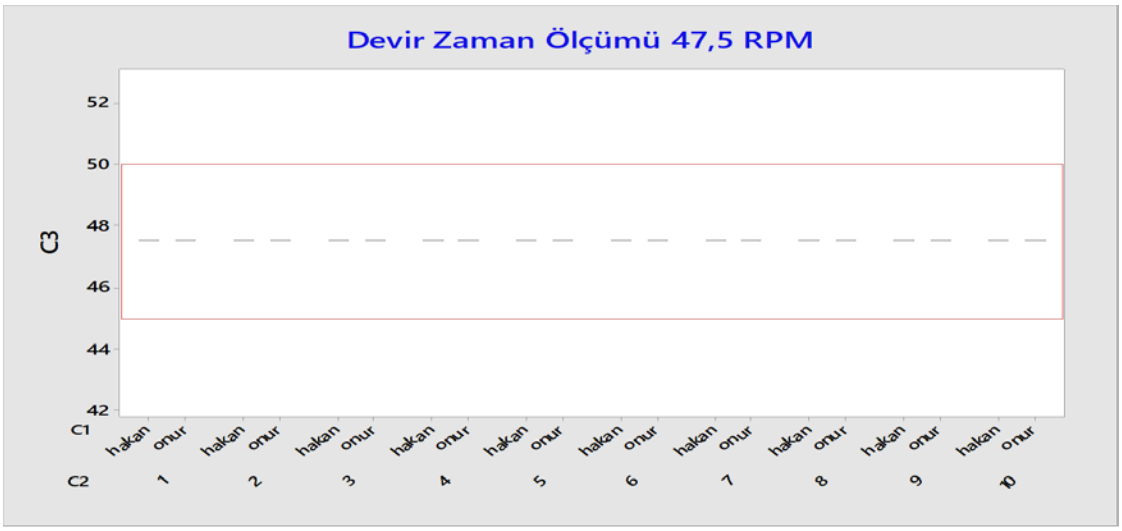


Gage R&R ile standartlaştırılan parametreler aşağıdaki gibidir.

- Kumpasın çenelerden değil gövde ucundan tutulması
- Çenelerin sürgü kullanılarak yavaşça açılması
- Ölçümün oturarak yapılması

2.3 ZAMAN ÖLÇÜMLERİ VE DEVİR HESABI

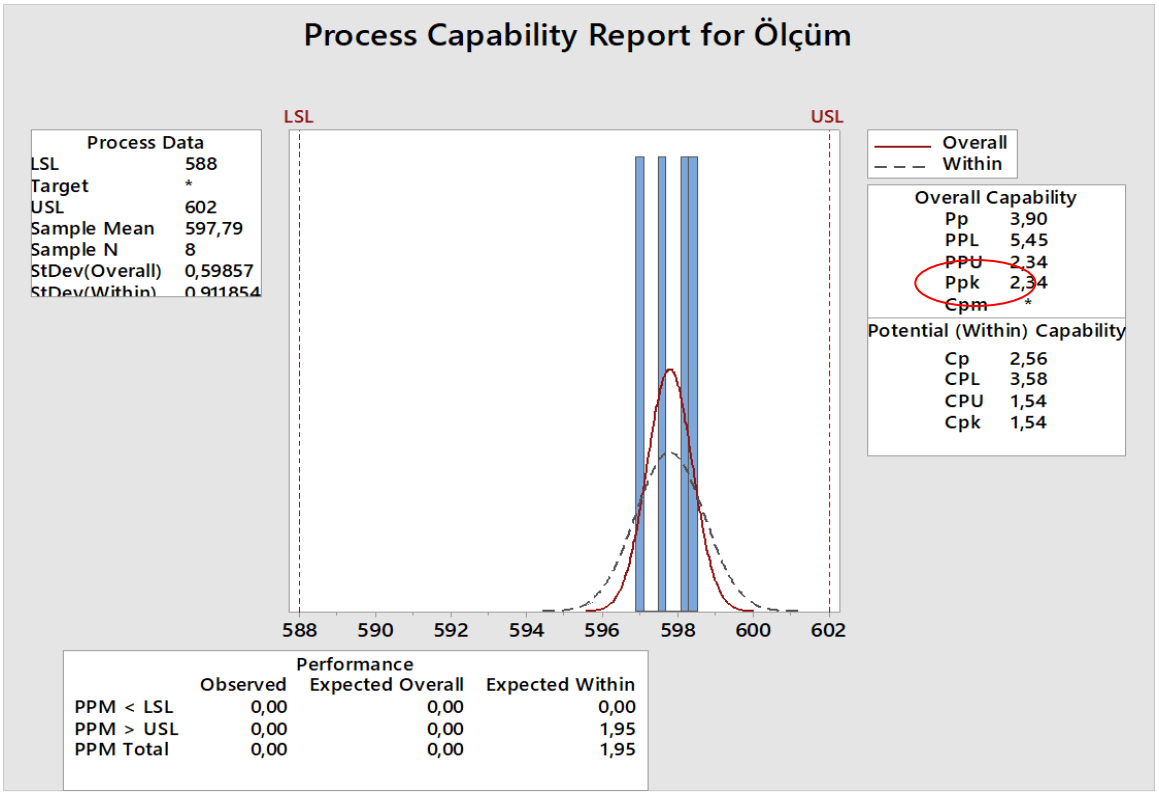
Çalışma iki operatörle yapılmıştır.
Çalışmada iki farklı cihazın zaman parametresi referans kronometre ile kontrol edilmiştir. Günde ikişer veri alınarak 5 günde elde edilen veriler Minitab'de değerlendirilmiştir. Zaman ölçüm yöntemi cihaz gereksinimi için yeterli olarak analiz edilmiştir.
Dış tahrik ünitelerinin dönme frekansı (47,5 ±2,5) rpm'dir. TS EN ISO 12947-1

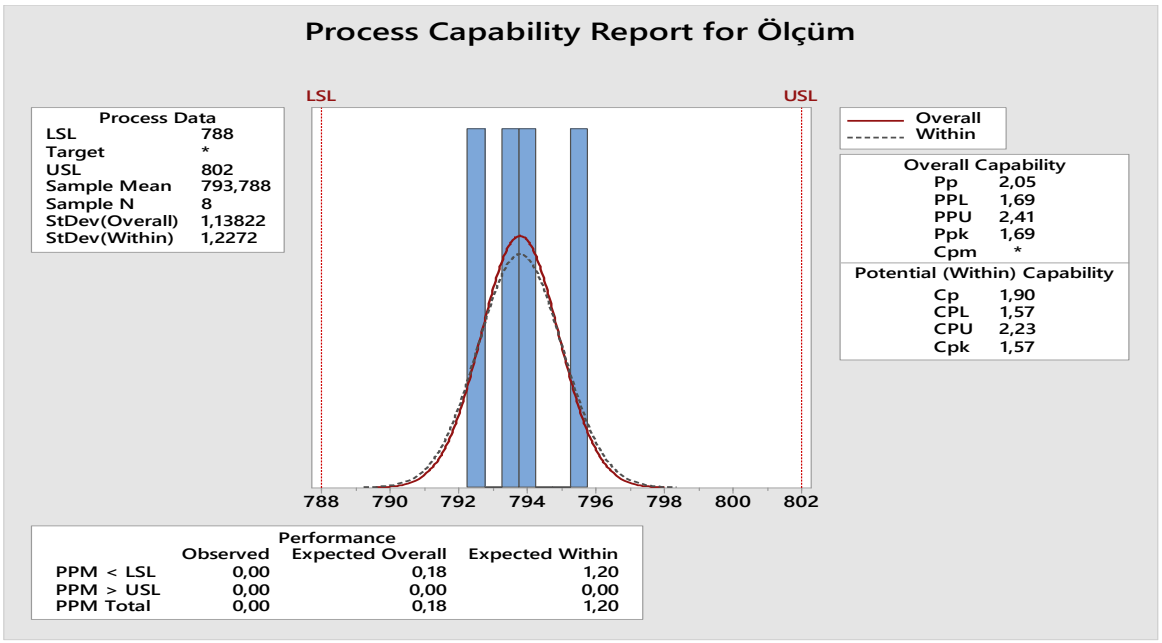


2.4 KÜTLE ÖLÇÜMLERİ

Çalışma iki operatörle aynı cihazda 4 kafada 9 kPa ve 12 kPa için yapılmıştır.
Çalışma sonucunda elde edilen veriler Minitab'de işlenmiştir. Dağılımlar normal olarak elde edilmiştir. LSL ve USL değerleri grafiklerde görüldüğü gibidir. Overall'da prosesin cpk'sı her iki ağırlık için de yeterlidir.

Toplam ağırlık (595±7)g'dır. **TS EN ISO 12947-1**
Toplam ağırlık (795±7)g'dır. **TS EN ISO 12947-1**



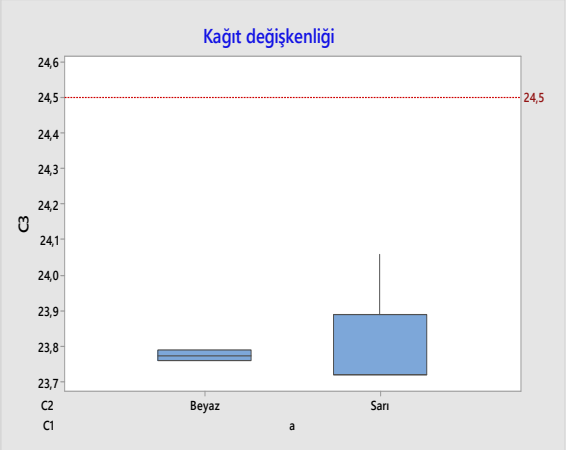


3. SONUÇ

Martindale Aşınma ve Boncuklanma Deney Cihazı kalibrasyon adımları incelenmiş;

Yapılan ölçümler ve analizler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Lissajous testinde hem cihaz üreticisi tarafından kullanılan James Heal markalı kağıt hem de 3M markalı sarı post-it kağıdın değişkenlikleri tolerans içinde tespit edilmiştir. Yine de James Heal markalı beyaz kağıdın değişkenliğinin sarı kağıttan daha düşük olduğu analiz edilmiştir.



- Boyut kalibrasyonunda yetkin ve yetkin olmayan personeller ile yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilmiş ve Gage R&R endeksi % 50,53'den % 13,27 seviyesine indirilmiştir. Endüstride kabul edilen maksimum Gage R&R endeksi %30'dur.
- Zaman ölçüm uygulamalarında sonuçlar toleransın içindedir.
- Kütle kalibrasyonunun kalibrasyon lab. Da yapılması sonucu elde edilmiştir. Dağılımlar normal olarak elde edilmiştir. LSL ve USL değerleri grafiklerde görüldüğü gibidir. Overall'da prosesin cpk'sı her iki ağırlık için de yeterlidir.

Yapılan tüm ölçümler deney cihazında yapılan ***aşınmaya karşı dayanımın tayini*** ve ***kumaşlarda yüzey tüylenmesi ve boncuklanma yatkınlığının tayini*** test sonuçlarının kalitesinin güvencesi için önemlidir. Ölçülen parametreler test edilen deney numunesini ve cihazda üretilen performans testi sonucunu etkileyen parametrelerdir. Kalibrasyon yöntemleri tamamen testin doğru ve ilgili standartlara göre yapılması için seçilmiştir.

4. KAYNAKLAR

[1] TS EN ISO-12947-1 Tekstil – Martindale Metodu- Martindale Metodu Kullanılarak Kumaşların Aşınma Dayanımının Tayini- Bölüm 1: Martindale Aşındırma Deney Cihazı
[2] ISO-12947-2 Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 2 : Determination of specimen breakdown
[3] ISO 139 Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing
[4] EA04 Kalibrasyonda Ölçüm Belirsizliğinin Değerlendirilmesi

ÖZGEÇMİŞ

Özlem İŞLER

1985 yılı İstanbul doğumludur. 2008 yılında Muğla Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nü bitirmiştir. 2010-2013 yılları arasında Koçak Farma İlaç Fabrikası'nda Metroloji ve Kalibrasyon sorumlusu olarak 3 yıl görev yapmıştır. 2013 yılından itibaren LC Waikiki Mağazacılık iştiraki olan LabRight Tekstil ve Ekoloji Laboratuvarında Kalibrasyon Laboratuvarı ve Teknik İşler Yöneticisi olarak 6,5 yıldır çalışmaktadır. Kütle, terazi, hacim, sıcaklık, boyut, kuvvet, hız, sıcaklık/nem ve devir/zaman alanlarında özellikle tekstil test cihazları için akredite kalibrasyon hizmeti veren iç kalibrasyon laboratuvarı kurucusudur. Tekstil test cihazları kalibrasyonları, performans ölçümleri ve yalın 6 Sigma araçlarıyla süreç iyileştirme konularında çalışmaktadır. Yalın 6 Sigma Yeşil Kuşaktır.

YENİ “kg” TANIMLANMASININ MEVCUT BİRİMLERE ETKİSİ

Bülent AYDEMİR

ÖZET

Yeni Kilogram tanımlamak için yapılan son öneride, kuvvet, tork, basınç vb. gibi ilgili birimlerin gerçekleşmesi de dahil olmak üzere tüm izlenebilirlik zincirinin değişmeden kaldığı görülüyor. Bu, yeni kilogram tanımını ve tüm yeni SI (international system of units)'yı daha kabul edilebilir hale getirmek için dolaşan slogandır. Aslında, kilogram gerçekleştirilmesinin Kibble Balans (Kibble Balance or watt balance) gibi sistemler ile elde ettikten sonra, bir belirsizlikle kütle standardı, örneğin bir kuvvet standardının gerçekleştirilmesi için bir başlangıç noktası, olarak kullanılabilir. Aslında, Kibble balans düzeneğini oluşturan denklemler, birincil yöntemle, yalnızca kütle büyüklüğünü değil, aynı zamanda kuvvet büyüklüğünün de belirsizliği en azından nominal olarak düşük olma avantajıyla gerçekleştirmemizi sağlar.

Bu tür standartların bazı deneyleri ve pratik gerçekleştirmeleri, örneğin, SI ile izlenebilirliğinin, yerçekimi kuvvetini dikkate almayan yöntem kullanılarak ilk kez başarılı bir şekilde uygulaması bir tork standardının gerçekleştirilmesi ile yapılmıştır.

Bu yaklaşım, kuvvet, tork, basınç vb. gibi mekanik büyüklüklerin artık kütle ile değil sadece elektriksel büyüklüklerle ilişkili olacağı yeni senaryolara zemin hazırlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kütle tanımı, Kuvvet tanımı, Tork tanımı, Basınç tanımı

ABSTRACT

After redefining the kilogram, the entire chain of traceability, including the realization of related units, is the force, torque, pressure and so on, remains unchanged. This is the motto circulating to make the new definition of kilogram and the whole new SI (international system of units) more acceptable. In fact, after achieving kilogram realization with systems such as Kibble Balance or watt balance, the mass standard with an uncertainty can be used as a starting point for the realization of a force standard. In fact, the equations that regulate the Kibble balancing mechanism enable us to realize by the primary method the advantage of not only the mass size but also the uncertainty of the force size being at least nominally low.

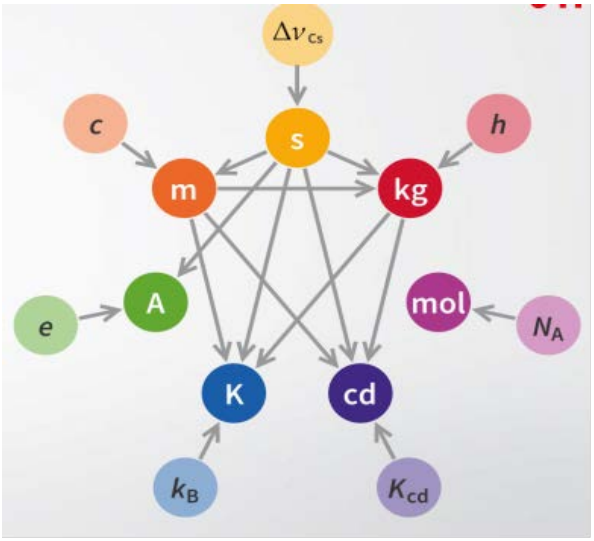
Some experiments and practical realizations of such standards have been made, for example, by the successful implementation of a torque standard for the first time using traceability of SI, using a method that does not take into account the force of gravity.

This approach, force, torque, pressure and so on. such mechanical quantities are no longer associated with mass but only with electrical quantities.

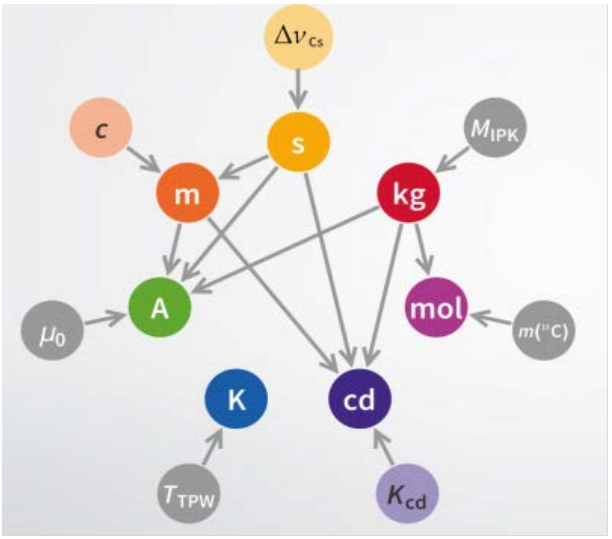
Key Words: Definition of mass, Definition of force, Definition of torque, Definition of pressure

1. GİRİŞ

16 Kasım 2018 tarihinde, 26. Ölçü ve Ağırlıklar Genel Konferansı (CGPM) revize tanımların lehine oybirliğiyle karar verildi. SI temel birimler, .Ağırlık ve Ölçüler Uluslararası Komitesinin (CIPM) daha önce önerdiği 20 Mayıs 2019 tarihinde yeni tanım yürürlüğe girecektir. Kilogram, Amper, Kelvin ve Mol, Planck sabiti (h), temel elektrik yükü (e), Boltzmann sabiti (k) ve Avogadro sabiti (NA) için tam sayısal değerler verilerek tanımlanacaktır. Metre ve kandela zaten fiziksel sabitler tarafından tanımlanmıştır. Yeni tanımlar, herhangi bir birimin boyutunu değiştirmeden uluslararası birim sistemini (SI) iyileştirmeyi ve böylece mevcut ölçümlerle sürekliliği sağlamayı amaçlamaktadır.



Şekil 1. Yeniden tanımlamadan sonra yeni SI sistemi



Şekil 2. Eski SI sistemi yeniden tanımlanması önce yapısı (örneğin, metre için ışığın kat ettiği mesafe açısından tanımlanır, kilogram için uluslararası kilogram prototipinin (IPK) kütlesi olarak tanımlanması gibi)

Metrenin ışığın hızı için kesin bir sayısal değer olarak 1983 yılında başarılı bir şekilde yeniden tanımlanmasını takiben, BIPM öneri olarak, daha fazla doğa sabitinin kesin değerlere sahip olması gerektiği belirtildi. Bunlar:

- Planck sabiti h tam olarak 6,626 070 15 x 10^{-34} Joule-saniye (J·s) .
- Temel elektrik yükü e tam olarak 1.602 176 634 x 10^{-19} Coulomb (C) .
- Boltzmann sabiti k, tam olarak 1.380 649 x 10^{-23} jul başına Kelvin (J·K^{-1}) .
- Avagadro sabiti N_A tam olarak 6,022 140 76 x 10^{23} karşılık mol (mol^{-1}) .

Bu sabitler, SI kılavuzunun 2006 versiyonunda tanımlanmıştır.

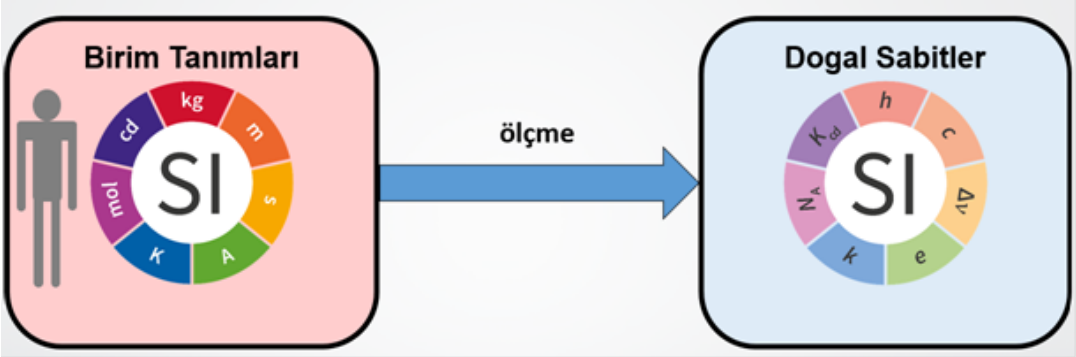
Yeniden tanımlama, aşağıdaki doğa sabitleriyle ilişkili sayısal değerleri değiştirmez:

Vakumdaki ışık hızı **c**, 299 792 458 m / s
Sezyum 133 atomun aşırı ince geçiş frekansı Δv_Cs 9 192 631 770 Hz
Işık verimi, K_{cd} ,540 × 10^{12} Hz frekansındaki monokromatik radyasyonun ışık etkinliği 683 lm / W'dir.

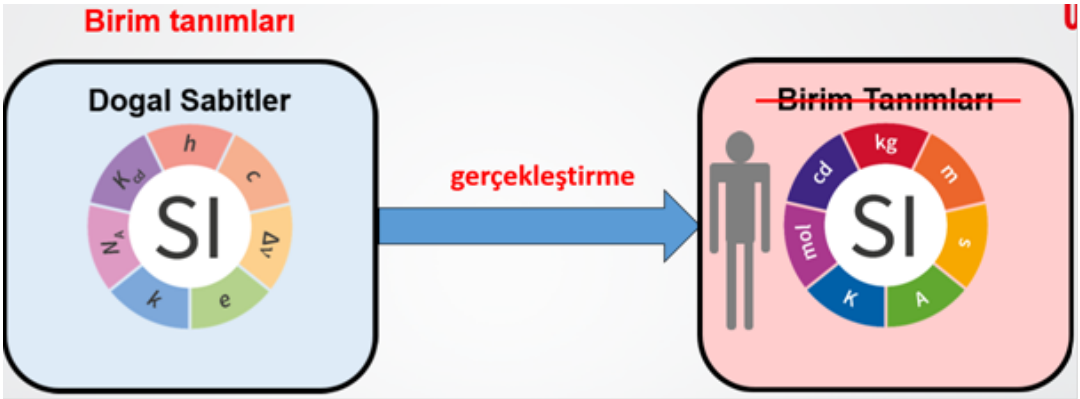
Yukarıdaki yedi tanım, SI Broşürünün 9. baskısı (2018) verilmiş ve yedi temel birim (zaman, metre, kilogram, amper, kelvin, mol ve kandela) cinsinden ifade edilen türetilmiş birimler (joule, coulomb, hertz, lümen ve watt) ile yeniden yazılmıştır.

$h = 6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}\ kg{\cdot}m^{2}{\cdot}s^{-1}$
$e = 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\ A{\cdot}s$
$k = 1.380\ 649 \times 10^{-23}\ kg{\cdot}m^{2}{\cdot}K^{-1}{\cdot}s^{-2}$
$N_A = 6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}\ mol^{-1}$
$c = 299\ 792\ 458\ m{\cdot}s^{-1}$
$S\,v_{Cs} = \Delta v\,(133\ Cs)\,hfs = 9\ 192\ 631\ 770\ s^{-1}$
$K_{cd} = 683\ cd{\cdot}sr{\cdot}s^{3}{\cdot}kg^{-1}{\cdot}m^{-2}$

Bu değişikliklerin SI temel birimlerinin yeniden tanımlanması etkisi vardır, ancak SI türetilmiş birimlerin temel birimler açısından tanımları aynı kalmaktadır.



Şekil 3. SI birimlerinin eski tanımlarının doğal sabitler ile ilişkisi



Şekil 4. SI birrimlerinin yeni tanımların doğal sabitler ile ilişkisi

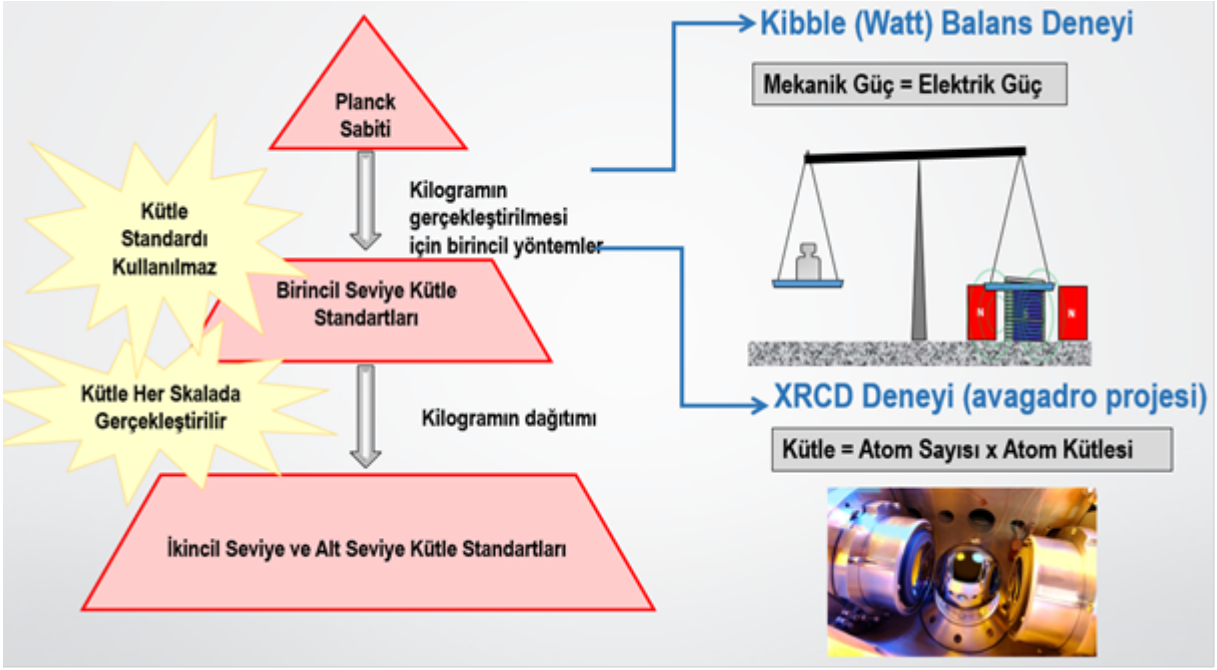
2. KÜTLENİN YENİ TANIMI

Değişim sonucunda, Uluslararası Sistemler Sisteminde kilogramın tanımı olarak; Kilogram, sembol kg, kütle SI birimidir. Planck sabiti h'nin sabit sayısal değeri, birim J.s cinsinden ifade edildiğinde, $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ olması, metre ve zamanın tanımlandığı $kg\ m^{2}\ s^{-1}$ 'e c ve ΔvCs cinsinden eşit olması ile tanımlanır.

Bunun ne olduğunu açıklamak eski kilogram prototipine göre daha zordur. Temel olarak, Ağırlıklar ve Önlemler Genel Konferansı, Planck sabitinin değerini sabitleyerek, maddenin en küçük parçalarının ayrı adımlar veya yığınlarda (quanta olarak adlandırılan) enerjiyi nasıl serbest bıraktığını açıklar.

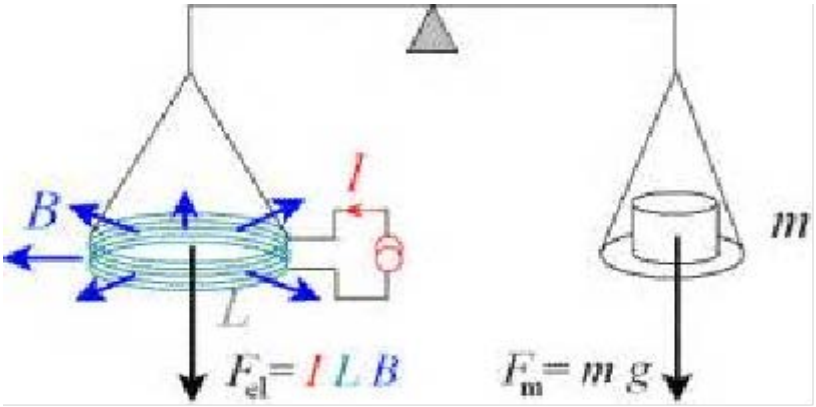
Kabul edilen oylama ile Planck sabiti şimdi ve sonsuza dek $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}\ kg{\cdot}m^{2}{\cdot}s^{-1}$ olarak ayarlanacaktır ve Planck sabitinin bu sabit değerinden, bilim adamları bir kilogram kütlesi elde edebilirler.

Kütle biriminin tanımını gerçekleştirmek için 2 deney kabul edilmiştir. Birincisi Kibble (watt) balans deneyi, ikincisi ise XRCD deneyi buna avagadro projesi de denilmektedir.



Şekil 5. Kütlenin yeniden tanımının izlenebilirlik zinciri

3. KİBBLE BALANS DENEYİ VE DİĞER BİRİMLERE ETKİSİ



Şekil 6. Kibble balans sistemi fiziksel prensibi

Kibble balans deneyinde

mekanik güç = elektriksel güç

denklemi yardımı ile çözüme gidilmektedir.

Statik durumda

$I.B.L = m.g$ (1)

I: akım, B: manyetik alan şiddeti, L telin boyu, m: kütle, g yerçekimi ivmesidir.

Dinamik durumda:

$U = B.L.v$ (2)

U: gerilim, v: hızdır. Her iki durumda da B.L değişmediğinde, bu durumda denklem,

$m.g = I.U / v$

$m = I.U / v.g$ (3)

haline gelir.

Plank sabitinin belirlenmesinde muhtemel belirsizlik kaynaklarının katkıları da aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Plank sabitinin 6. defa belirlenmesinde muhtemel belirsizlik kaynakları ve değerleri (M.Wood et.al. 2017)

Belirsizlik bileşenleri	$u/h_{90} \times 10^9$	$u/h_{90} \times 10^9$
Toplam birleşik		**12,5**
Tip A	1,8	
Eksenellik	6,7	
Voltaj ölçümü	0,7	
Direnç	4,6	
Hız	3,0	
Kütle	4,7	
Yerçekimi ivmesi	5,0	
Çeşitli ağırlıklar	5,6	

Kilogramın gerçekleştirilmesinin Kibble Balans (Kibble Balance or watt balance) gibi sistemler ile elde ettikten sonra, bir belirsizlikle kütle standardı, örneğin bir kuvvet standardının gerçekleştirilmesi için bir başlangıç noktası olarak kullanılabilir.

Bilindiği gibi kuvvet (F) birimi denklem 4 ile tanımlanır. Bu denklemde m yerine 3 denklem yerine yazıldığında aşağıdaki sonuç ortaya çıkar.

$F = m.g$ (4)

$F_g = [I.U / v.g] . g$

$F_e = I.U / v$ (5)

F_g: yerçekimi ivmesi kullanılarak hesaplanan kuvvet değeri, F_e: elektriksel olarak hesaplanan kuvvet değeridir.

Benzer şekilde tork (T) ve basınç (P) da aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$T = b. I.U / v$ (6)

$P = I.U / v.A$ (7)

b: kol boyu, A: alan

Tablo 2. Yerçekimi ile ve elektriksel olarak hesaplanan kuvvet değerinin belirlenmesinde muhtemel belirsizlik kaynakları ve değerleri

Belirsizlik bileşenleri	m	F (e)	F (g)
Tip A	1,8	1,8	1,8
Eksenellik	6,7	6,7	6,7
Voltaj ölçümü	0,7	0,7	0,7
Direnç	4,6	4,6	4,6
Hız	3,0	3,0	3,0
Kütle	4,7	4,7	4,7
Yerçekimi ivmesi	5,0		5,0
Yerçekimi ivmesi 2			5,0
Çeşitli ağırlıklar	5,6	5,6	5,6
Toplam birleşik	**12,5**	**11,5**	**13,5**

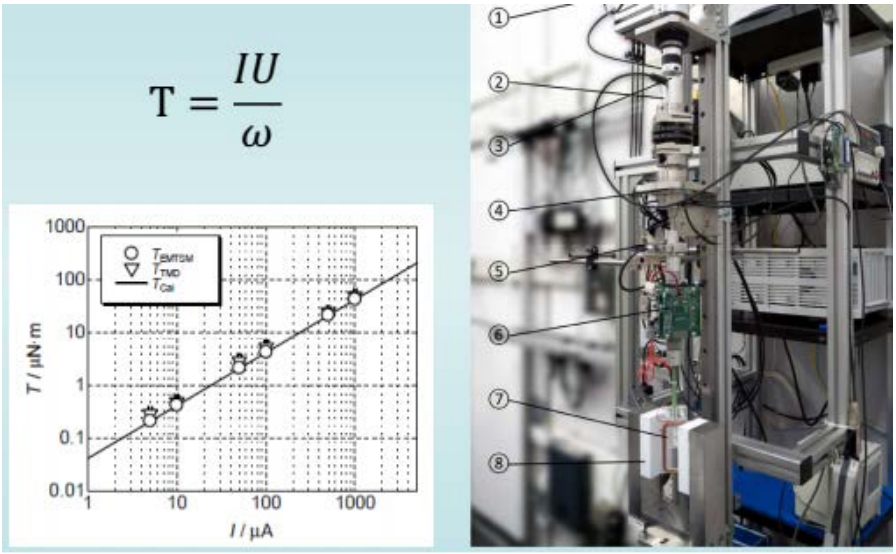
Kilogramın pratik olarak gerçekleşmesini gösteren denklemleri analiz edersek, bir ölçüm ve belirsizlik tahminine ihtiyaç duyulan yerel yerçekimi ivmesi gibi bazı büyüklüklerin nasıl ortaya çıktığını görürüz. Kuvvet büyüklüğünü (ayrıca tork ve basınç vb.) gerçekleştirmek için kütleyi kullanmamız gerektiğinde ise aynı büyüklükler yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi tekrar dikkate alınmalıdır.

3. DİĞER BİRİMLERDE YENİ TANIMLAMAYA GÖRE YAPILAN ÇALIŞMALAR

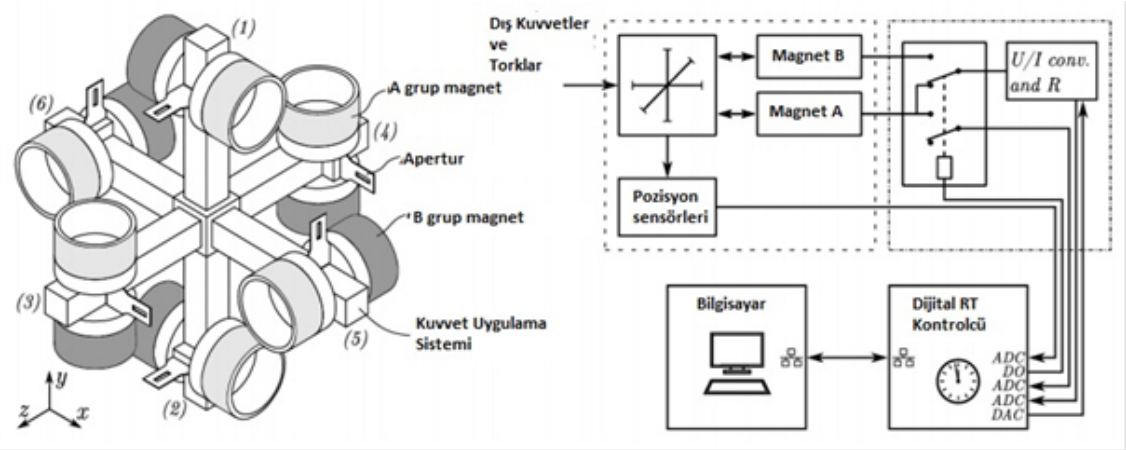
Kilogramın yeni tanımını kullanarak farklı alanlarda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Nishino, 2017 yılında yaptığı çalışmada kibble balans sistemini referans alarak elektromanyetik kuvvet prensibini kullanarak bir tork makinası yapmıştır. Bu geliştirilen elektromanyetik kuvvet tipi tork standardı makinasında (EMTSM) ilk kez yerçekimi kuvvetini referans alınmadan SI birim sistemine izlenebilirlik sağlanmıştır. (şekil 7)

Marangoni tarafında 2017 yılında yapılan çalışmada ise çok bileşenli, kendi içinde kalibreli bir kuvvet ve tork sensörünün detayları verilmiştir. Bu sistem, bir Kibble balans prensibi ile üç yönde izlenebilir kuvvet ve tork ölçümü için tasarlanmıştır. Kuvvet ve tork ölçümleri kütle ve yerçekimi ivme değeri yerine voltaj, pozisyon, açı, direnç ve zaman ölçümlerinden hesaplanmıştır. (şekil 8)

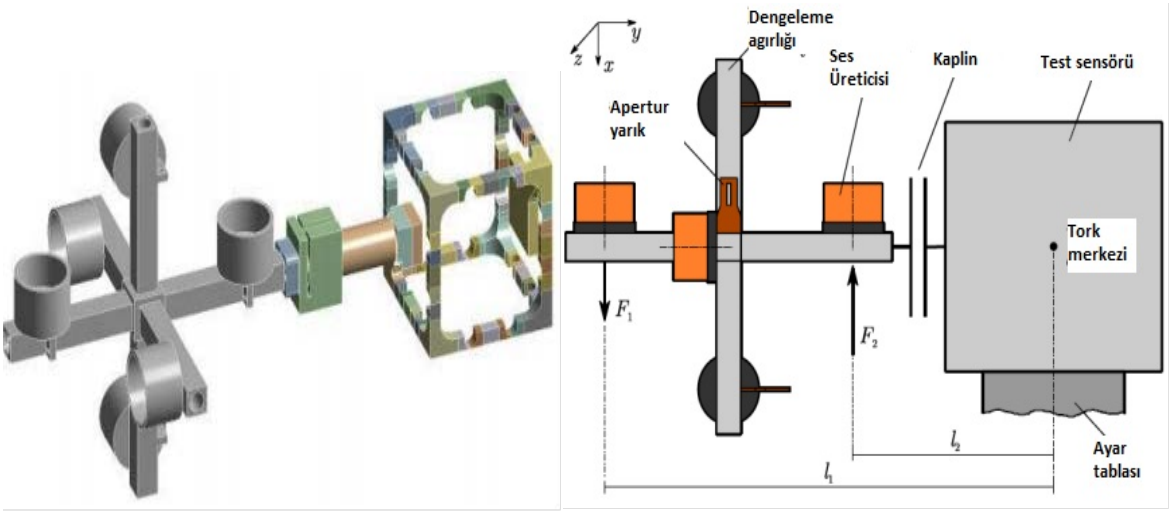
Yine Marangoni tarafında 2017 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise 6 serbestlik dereceli, elektromanyetik kuvvet kompanzasyonu prensibine göre çalışan, statik ve dinamik kuvvet ölçümlerinde kullanılabilen kuvvet ve tork sensörü tanımlanmıştır. (şekil 9)



Şekil 7. Nishino, 2017 de verilen elektromanyetik kuvvet prensibini kullanan bir tork makinası



Şekil 8. Marangoni tarafında 2017 yılında yapılan çok bileşenli, kendi içinde kalibreli bir kuvvet ve tork sensörü



Şekil 9. 6 serbestlik dereceli, elektromanyetik kuvvet kompanzasyonu prensibine göre çalışan, statik ve dinamik kuvvet ölçümlerinde kullanılabilen kuvvet ve tork sensörü yapısı

SONUÇ

Kütlenin yeniden tanımlanması ile Kibble balans düzeneğini oluşturan denklemler, birincil yöntemle, yalnızca kütle büyüklüğünü değil, aynı zamanda kuvvet büyüklüğünün de belirsizliği en azından nominal olarak düşük olma avantajıyla gerçekleştirmemizi sağlar. Bu tür standartların bazı deneyleri örneğin, SI ile izlenebilirliğinin, yerçekimi kuvvetini dikkate almayan yöntem kullanılarak ilk kez başarılı bir şekilde uygulaması bir tork standardının gerçekleştirilmesi ile yapılmıştır. Bu yaklaşım, kuvvet, tork, basınç vb. gibi mekanik büyüklüklerin artık kütle ile değil sadece elektriksel büyüklüklerle ilişkili olacağı yeni senaryolara zemin hazırlamaktadır. Bu durumda, Kibble balans deneyi ile kuvvet biriminin gerçekleştirilmesinde aşağıdaki denklem kullanılabilir mi? Siz ne dersiniz?

$F = m.g = I.U / v$

KAYNAKLAR

[1] https://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/faqs.html, BIMP Frequently Asked Questions about the proposed Revised SI
[2] https://www.nature.com/news/new-definitions-of-scientific-units-are-on-the-horizon-1.22837
[3] https://kcdb.bipm.org/NL/16/OIML_Davis_2011.pdf
[4] https://www.grmetrology.com/the-kilogram-will-be-redefined-in-2018/
[5] https://www.vox.com/science-and-health/2018/11/14/18072368/kilogram-kibble-redefine-weight-science
[6] Aydemir, B. "SI Birimlerindeki Değişiklikler ve Ölçümlere Etkileri", Yeditepe Üniversitesi, İstanbul (09/05/2019)
[7] GERMAK, 2017, The effect of the redefinition of the kilogram on its present related quantities, http://apmf2017.nimt.or.th/
[8] Nishino, A., 2017, REALIZATION OF A MICROTORQUE STANDARD BY USING AN ELECTROMAGNETIC FORCE TYPE TORQUE STANDARD MACHINE, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference (30 May to 1 June, 2017,Helsinki, Finland)
[9] Marangoni, R.R.,2017, A SELF-CALIBRATING MULTICOMPONENT FORCE/TORQUE MEASURING SYSTEM, 59th ILMENAU SCIENTIFIC COLLOQUIUM Technische Universität Ilmenau, 11 – 15 September 2017 URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017iwk:2
[10] Marangoni, R.R.,2017, STATIC AND DYNAMIC IDENTIFICATION OF MULTICOMPONENT FORCE AND TORQUE SENSORS, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference (30 May to 1 June, 2017,Helsinki, Finland)

ÖZGEÇMİŞ

Bülent AYDEMİR

1994 Makina mühendisliği bölümünü, 1996 yılında makina mühendisliği imalat konstrüksiyon alanında yüksek lisansını ve 2003 yılında da makina mühendisliği alanında doktora derecesini almıştır. İlgili alanda 2016 yılında Doçent unvanına sahip olmuştur. 2000 yılından beri TÜBİTAK UME kuvvet laboratuvarında çalışmakta olup şu an Laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

UME KİBBLE BALANS ÖLÇÜM KONSEPTİ

Hacı AHMEDOV
Beste KORUTLU

ÖZET

20 Mayıs 2019 tarihi itibariyle kilogram biriminin yeni tanımı yürürlüğe girmiştir. Bu yeni tanımda kilogram el yapımı bir nesne olan Uluslararası Kilogram Prototipi (IPK) yerine, evrensel bir sabit olan Planck sabiti kullanılarak gerçekleştirilecektir. Dünya çapında bu kapsamda yürütülen çalışmalara TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), mekanik gücün elektriksel güce eşitlenmesi prensibine dayanan UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans Deneyi ile katkı sağlamaktadır. 2014 yılının ikinci yarısında başlatılan projede, dinamik tabanlı yeni bir ölçüm konsepti geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Dünya'nın önde gelen metroloji enstitülerinin elde ettiği belirsizlik değerlerine çok daha kısa zaman içerisinde ve daha düşük maliyetle ulaşılmasına olanak sağlayan bu dinamik ölçüm konsepti, bu konseptin elektrik, yer değiştirme ve dış manyetik alan ölçümlerinde nasıl uygulandığı açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kilogram, Kibble Balans, Dinamik Ölçüm Konsepti.

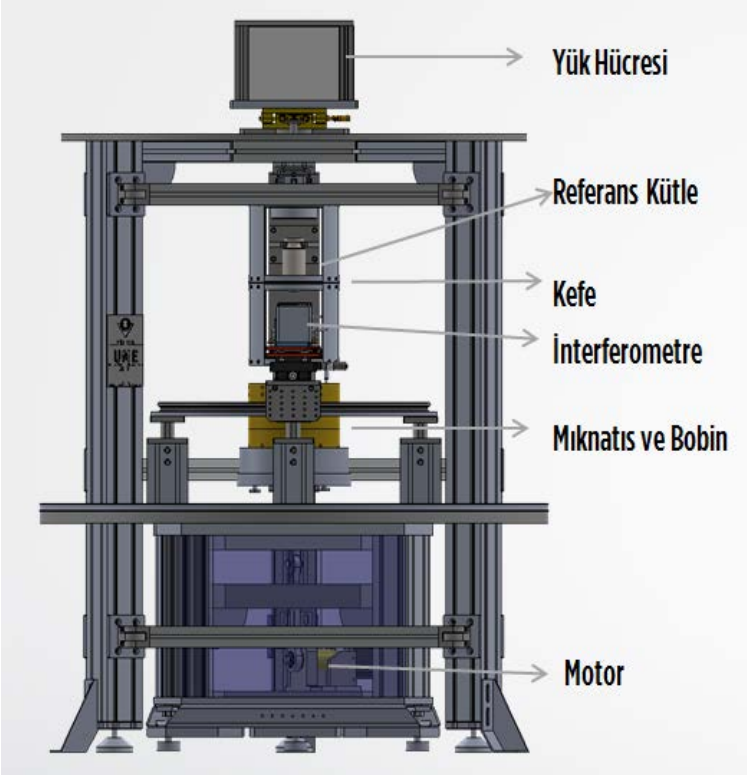
ABSTRACT

The new definition of kilogram came into force in May 20th, 2019. In this new definition, kilogram will be realized by Planck constant, a universal constant, instead of an artifact, the International Prototype of Kilogram (IPK). TÜBİTAK National Metrology Institute (UME) makes contribution to the ongoing worldwide research with the UME Oscillating Magnet Kibble Balance Experiment where the electrical power is equated to the mechanical one. A dynamical measurement procedure has been developed within the scope of the project, initiated in the second half of 2014. In this study, the dynamical measurement procedure and the application of the procedure on electrical, displacement and external magnetic field measurements are explained which makes it possible to reach the uncertainties achieved by the leading metrology institutes in a shorter span of time and with less owing cost.

Key Words: Kilogram; Kibble Balance, Dynamical Measurement Consept.

1. GİRİŞ

16 Kasım 2018 tarihinde, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun (BIPM) ev sahipliğinde, Fransa'nın Versailles kentinde gerçekleştirilen 26. Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM), kütle birimi kilogramın tanımında radikal bir değişikliğe gidilmesi kararı, 57 ülkeden temsilcinin katılımıyla gerçekleşen oylamayla kabul edildi. 20 Mayıs 2019 tarihinde yürürlüğe giren bu yeni tanımda, Uluslararası Birim Sitemi (SI) kilogram biriminin gerçekleştirilmesinde son 130 yıldır kullanımda olan platin ve iridyumdan alaşımından silindir yapıda üretilmiş Uluslararası Kilogram Prototipi (IPK) yerini, evrensel bir sabit olan Planck sabitine bıraktı. Dünyanın önde gelen metroloji enstitülerinde bu kapsamda sürdürülen çalışmalara TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans Deneyi ile katkı sağlamaktadır. Deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans Deney Düzeneği.

Kilogram biriminin elektronik olarak Planck sabiti cinsinden istenilen belirsizliklerde tanımlanmasına olanak sağlayan Kibble Balans prensibi mekanik gücün elektriksel güce eşitlenmesini temel alır [1]. Bu eşitlik Faraday Endüksiyon Yasası ve Amper Kuvvet Yasasının birlikte çözülmesinden elde edilir. Kilogram birimi ile Planck sabiti arasındaki ilişki ise elektriksel gücün makroskopik kuantum etkiler olan Josephson Etkisi [2] ve Kuantum Hall Etkisi [3] kullanılarak ölçülmesiyle sağlanır. Dünyanın önde gelen metroloji enstitülerinde farklı geometriler ve farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak oluşturulan Kibble Balans deneylerinde 2 x 10^{-8} hedef bağıl belirsizlik değerine ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans deneyi için dinamik tabanlı yeni bir ölçüm konsepti geliştirilmiştir [4-6]. Bu sistemin ve geliştirilen ölçüm konseptinin sunduğu avantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- **Tek fazda ölçüm:** Geleneksel Kibble Balans deneylerinde iki ayrı fazda test edilen Faraday Endüksiyon Yasası ve Amper Kuvvet Yasası, UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans deneyi için geliştirilen dinamik ölçüm konsepti yardımıyla eş zamanlı olarak test edilebilir. Böylece iki deney fazı arasında ortam şartlarında oluşabilecek olası değişimlere bağımlılık ve maliyeti oldukça yüksek olan sıcaklık kontrollü kabinlere ihtiyaç ortadan kalkar. Eş zamanlı ölçümün sunduğu bir avantaj da iki deney fazı arasındaki uyumu yakalamak için oldukça karmaşık hale gelen mekanik yapının sade bir şekilde tasarlanmasına olanak sağlamasıdır.
- **Kompakt Yapı:** Geleneksel Kibble Balans deneylerinde sabit hızla hareket eden bobin kullanılmaktadır. UME Kibble Balans deneyinde bunun yerine salınım hareketi yapan mıknatıs kullanımı ısı değişimlerine duyarlılığını azaltır. Bu da mıknatıs devresinin ve dolayısıyla tüm deney düzeneğinin ebatlarının küçültülmesine ve maliyetin düşmesine olanak sağlamaktadır.
- **Kompakt Vakum:** Geleneksel sistemlerde optik ölçümlerin gereken hassasiyetlerde yapılabilmesi için bütün deney düzeneğinin vakum altına alınması ihtiyacı, salınımlı mıknatıs tasarımında ortadan kalkar. Bu tasarımda optik ölçümler hava kırılma endeksinin sabit tutulduğu kompakt bir vakum yardımıyla yapılabilir. Kütle ölçümlerinde vakum kullanılmıyor olması ek bir avantaj daha sağlamaktadır. Çünkü standart kütle yüzeyinde vakum-hava geçişleri sırasında oluşan kontaminasyon toplam belirsizliği arttırmaktadır.

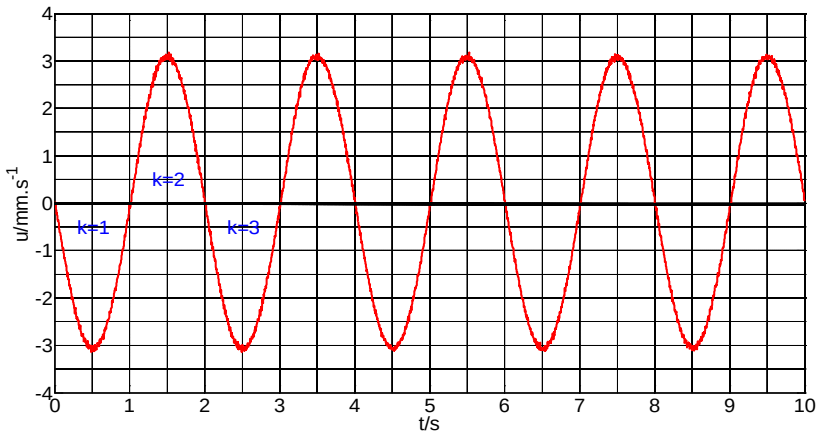
Bunların dışında, Faraday Endüksiyon ve Amper Kuvvet Yasalarının tek fazda test edilebiliyor olması elektrik ölçümlerini kompleks hale getirmektedir. İlaveten, hareketli mıknatıs devresi tasarımı, Faraday Endüksiyon ve Amper Kuvvet yasalarına dış manyetik alan kaynaklı bir asimetri getirir [7, 8]. Bunlar sistemin dezavantajları olarak sayılabilir. Fakat dinamik ölçüm konseptinin uygulanmasıyla elde edilen avantajların, dezavantajlara kıyasla üstünlüğü hedeflenen belirsizliklere, kısa zamanda ulaşılmasıyla gösterilmiştir. Aşağıda UME Kibble Balans Deneyi için geliştirilmiş dinamik ölçüm konsepti ve uygulamalarına yer verilmiştir.

2. DİNAMİK ÖLÇÜM KONSEPTİ

UME Kibble Balans sisteminde hareketsiz bir bobin etrafında yerçekimi ivmesi yönünde salınımlı hareket yapan bir mıknatıs devresi yer almaktadır. Detaylar için bkz. [4-6]. Böyle bir sistemde, Amper Kuvvet Yasası ve Faraday Endüksiyon Yasası'nın ortak çözümü Kibble Balans denklemini verir.

$$\frac{h}{h_c}V(t)J(t) = F(t)u(t) \tag{1}$$

Burada *V(t)* bobinin uçlarındaki gerilim, *J(t)* bobinin üzerinden geçen DC akım, *F(t)* bobin üzerinde oluşan Lorentz kuvveti, *u(t)* ise mıknatısın bobine göre bağıl hızıdır. Denklemin sol tarafında görülen h/h_c oranı (h_c Planck sabitinin mutabakat değeri, *h* Planck sabitinin gerçek değeridir), gerilim ve direnç ölçümlerinde kullanılan Josephson sabiti ($K_j=2e/h_c$) ve Klitzing sabitinin ($R_K=h_c/e^2$) Planck sabitinin mutabakat değeriyle tanımlanmasından kaynaklanır. Mıknatısın zamana göre salınımlı hareketi sebebiyle (1) eşitliğinde görülen dinamik parametrelerin ölçümü için dinamik ölçüm konsepti geliştirilmiştir. Şekil 2'de mıknatısın bobine göre bağıl hız grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Mıknatısın bobine göre bağıl hız grafiği. Yarı çevrimler her bir yarı çevrim *k*'ya atanan değerler ile belirtilmiştir.

Ölçüm konseptinin adımları aşağıda verilmiştir.

1) Ölçülen fiziksel büyüklüklerin statik (ortalama değer) ve dinamik (ortalama değerden sapma) özellikleri ayrıştırılır. Herhangi bir *p* dinamik parametre için, ortalama değerden sapma

$$\Delta p = p - \langle p \rangle \tag{2}$$

ile bulunur. Burada <*p*>, *p* dinamik parametresi için *τ* integrasyon zamanı süresince elde edilen ortalama değerdir. İntegrasyon zamanı *τ=NT*, salınım periyodu *T*'nin *N* tam katı olacak şekilde seçilmiştir.

2) İntegrasyon zamanını, *2N* adet yarı çevrime bölünür. Şekil 2'de her bir yarı çevrim, *k*'ya atanan değerler ile belirtilmiştir. Yarı çevrimlerin başlangıç koşulları mıknatısın bağıl hızının ortalama değerden sapmasının sıfıra en yakın olduğu değer olarak seçilir.
3) Dinamik parametrenin *k*yarı çevrimindeki ortalaması

$$\langle p \rangle_k = \frac{2}{T}\int_{t_k}^{t_{k+1}} p(t)dt \tag{3}$$

ile hesaplanır.
4) *p* dinamik parametresinin *u* mıknatıs bağıl hızının 2N yarı çevrimleri üzerinden ortalaması

$$\{p \mid u\} = \frac{1}{2N}\sum_{k=1}^{2N}\frac{\langle \Delta p \rangle_k}{\langle \Delta u \rangle_k} \tag{4}$$

şeklinde hesaplanır. Mıknatıs bağıl hızının minimum değerleri, Faraday geriliminin minimum değerleri ile çakışır. Bu sebeple *p* dinamik değeri için (4) eşitliğinde verilen ortalama alma prosedürü, *{p|V}* şeklinde *V* Faraday geriliminin 2N yarı çevrimleri üzerinden de alınabilir.

5) Bütün bu bilgiler ışığında eşitlik (1)

$$\frac{h}{h_c} = \frac{\langle F \rangle}{\langle J \rangle} Q\{u \mid V\} \tag{5}$$

olarak yeniden düzenlenir. Burada *Q* manyetik devrenin homojen olmayan etkileri, bobinin kusurları, ısı etkileri ve lineer olmayan etkileri barındırır.

2.1. Elektrik Ölçümleri

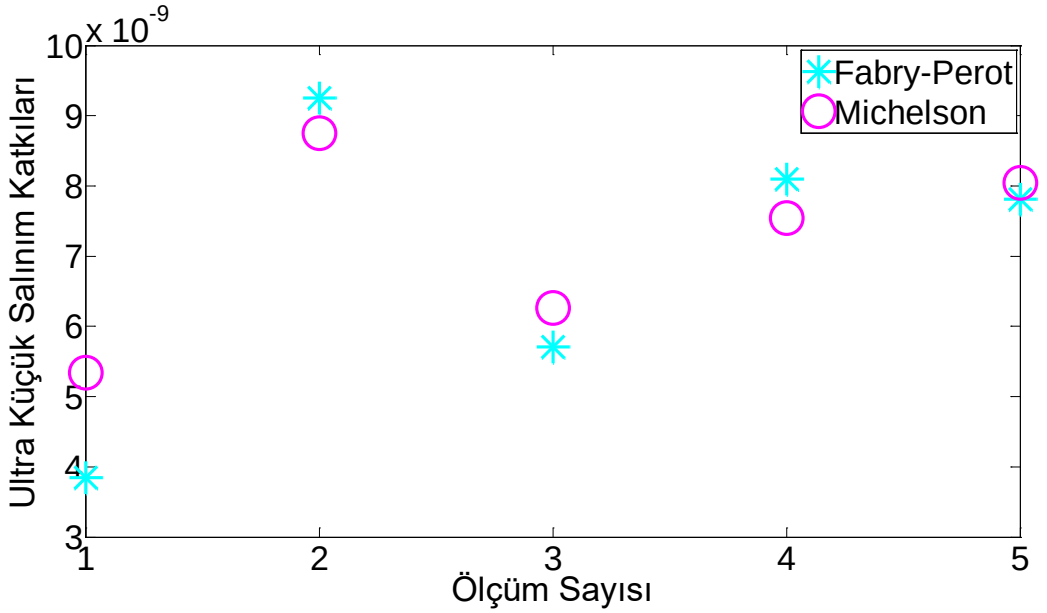
Yukarıda da belirtildiği üzere, UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans deney düzeneğini geleneksel Kibble Balans sistemlerinden ayıran en belirgin özellik mıknatıs devresi hareketi sebebiyle bobinin uçlarında indüklenen AC Faraday geriliminin ve akım kaynağıyla bobinin üzerinden geçirilen DC akımın eş zamanlı ölçülebilmesidir. Bobinin çıkış gerilimi, AC Faraday gerilimi ve DC akımdan kaynaklı ohmik gerilimin toplamıdır. Faraday gerilimi AC, ohmik gerilimin ise DC olduğundan bu iki gerilimin birbirinden yüksek doğrulukta ayırt edilmesi mümkündür [5].

Josephson gerilim standardı kullanarak HP 3458 sayısal voltmetrenin dinamik kalibrasyonu yapılmıştır ve Faraday gerilimi ölçümlerinde 3 x 10^{-7} doğruluk elde edilmiştir. [6]. Kilogram'ın yeni tanımının istenilen belirsizliklerde (2 x 10^{-8}) gerçekleştirilebilmesi için Josephson gerilim standardının ölçüm sistemine entegre edilmesi gerekmektedir. Faraday gerilim ölçümleri, Josephson kare sinyali kullanılarak fark alma yöntemiyle gerçekleştirilir. Fizibilite çalışmaları bu tür ölçümlerde 4 ppb doğruluk elde edilebildiğini göstermiştir. [9, 10]. Akım ölçümleri bobine seri bağlı, iki adet paralel Tinsley 5658A 100 Ω standart direnç üzerinden DC gerilim ölçülerek yapılır. DC gerilim ölçümlerinde, Josephson gerilim kaynağı kullanarak 2 ppb doğruluk elde edilmesi mümkündür [11].

2.2. Optik Ölçümler

UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans sistemi için geliştirilmiş olan dinamik ölçüm konsepti, yer değiştirme ölçümlerini gerçekleştirirken, çevresel faktörleri elimine etmek için ekstra önlemler almaya ihtiyaç kalmadan, ticari ürün şeklinde minyatür boyutlarda üretilmiş Michelson Enterferometre kullanımına olanak sağlamaktadır. Bunun temel sebebi, dinamik ölçüm konseptinin, sistemin çalışma frekansından daha düşük frekanslarda kendini gösteren ısı değişimleri ya da titreşim etkileri gibi parazitsel etkileri elimine etmesidir. UME Kibble Balans deneyinde mıknatısın bobine göre yer değiştirme ölçümlerinde SIOS AE SP 2000E Michelson Enterferometre (MI) kullanılmıştır. Cihazın

çözünürlüğünden kaynaklı belirsizlik katkısının belirlenebilmesi için, ultra küçük genlikli salınım hareketi yapan piezoelektrik güç çeviriciye (PZT) bağlı, sırt sırta yapıştırılmış iki ayna üzerinde, MI ile eş zamanlı olacak şekilde, UME yapımı Fabry-Perot Enterferometre (FPI) ile ölçümler alınmıştır. PZT salınım frekansı, UME Kibble Balans mıknatıs salınım frekansı olan 1 Hz değerine, salınım genliği ise, firmanın MI çözünürlüğü olarak beyan ettiği değer olan 10 pm değerine ayarlanmıştır. Şekil 3'te MI ve FPI ile ölçülen ultra küçük salınımların Planck sabiti oranına katkıları 500 s süren 5 ölçüm seti için verilmiştir. Dinamik ölçüm konsepti kullanıldığında, katkıların kilogram biriminin gerçekleştirilmesi için hedeflenen bağıl belirsizlikten (2×10^{-8}) daha düşük olduğu görülmektedir [12].



Şekil 3. MI (mor halka) ve FPI (cam göbeği yıldız) ile ultra küçük salınımlar için gerçekleştirilen yer değiştirme ölçümlerinin h_c/h oranına katkıları.

2.3. Dış Manyetik Alan Ölçümleri

Dış manyetik alan Faraday Endüksiyon Yasası ve Amper Kuvvet Yasası arasında bir asimetri yaratır. Mıknatıs devresi ferromanyetik malzemeden üretilmiştir. Dolayısıyla dış manyetik alanı ekranlar. Dolayısıyla, dış manyetik alan Amper Kuvvet Yasasına katkı vermez. Diğer taraftan, dış manyetik alanın mıknatıs devresi üzerinde oluşturduğu magnetizasyon sebebiyle, hareketli mıknatıs devresi bobinin uçlarında ek Faraday gerilimi oluşturur. Hareketli mıknatıs devresi kullanarak kilogram biriminin yeniden tanımlanması Joule Balans sistemi ile katkı veren Çin Ulusal Metroloji Enstitüsü NIM bu sorunu kompansasyon bobini kullanarak çözmüştür [13]. UME Kibble Balans sisteminde ise, ticari Bartington tek eksenli, dikey komponent fluxgate gradiometre ve dinamik ölçüm konsepti kullanarak farklı bir çözüm getirilmiştir [7, 8].

SONUÇ

UME Salınımlı Mıknatıs Kibble Balans deneyi için geliştirilmiş olan dinamik ölçüm konsepti, sistemin salınım frekansından daha düşük frekanslarda kendini gösteren ısı değişimleri ya da titreşim etkileri gibi parazitsel etkileri elimine eder. Mekanik sistemin daha sade bir yapıda imalatına izin veren bu durum sayesinde kilogram biriminin yeni tanımında daha düşük maliyetlerde ve daha kompakt sistemler kullanılabilir. Bu avantajlar, dünyanın önde gelen metroloji enstitülerinin ulaştığı belirsizlik seviyelerine çok daha kısa zaman zarfı içerisinde ulaşılmasına olanak sağlamıştır. Gerçekleştirilen optik ve elektrik ölçümlerde elde edilen 5 ppb civarındaki belirsizlikler, konseptin kilogram biriminin yeni tanımında uygulanabilirliğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] KIBBLE, B. P., "Feasibility study for a moving coil apparatus to relate the electrical and mechanical SI units", Technical Report DES, vol. 40, NPL, 1977.
[2] JOSEPHSON, B. D., "Possible new effects in superconductive tunnelling", Phys. Lett. 1, 251–3, 1962.
[3] von KLITZING K., DORDA G., PEPPER M. "New method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance", Phys. Rev. Lett. 45, 494–7, 1980.
[4] Ahmedov, H, "An Oscillating magnet watt balance", CPEM 2016 Conf. Digest, 2016.
[5] AHMEDOV, H., BABAYİĞİT AŞKIN, N., KORUTLU, B., ORHAN, R., "Preliminary Planck constant measurements via UME oscillating - magnet Kibble balance", Metrologia 55, 326, 2018.
[6] AHMEDOV, H., KORUTLU, B., Orhan, R., "Optimization Procedure for Faraday's Voltage in UME Kibble Balance", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1-4, 2019.
[7] AHMEDOV, H., KORUTLU, B., DOROSINSKIY, L., ORHAN, R., "Measurement Procedure for External Magnetic Field in UME Kibble Balance", accepted as poster presentation in 24th IMEKO TC4 International Symposium, 2019.
[8] AHMEDOV, H., KORUTLU, B., DOROSINSKIY, L., ORHAN, R., "External Magnetic Field in UME Oscillating Magnet Kibble Balance", Digest 2018 Conf. on Precision Electromagnetic Measurements (Paris, France), 2018.
[9] ORHAN, R., AHMEDOV, H., KORUTLU, B., "Kibble Balans Kuantum Ölçümleri", Ölçümbilim Sempozyumu ve Sergisi / 20-22 Kasım 2019.
[10] AHMEDOV, H., "Recent Develepments in UME Kibble balance" 17th CCM meeting, 2019.
[11] ROBİNSON, I., "Towards the redefinition of the kilogram: A measurement of the Planck constant using the NPL Mark II watt balance", Metrologia 49(1):113, 2011.
[12] AHMEDOV, H., ÇELIK, M., ORHAN, R., KORUTLU, B., HAMID, R., ŞAHIN, E., "Displacement Measurements in UME Oscillating-Magnet Kibble Balance", accepted as oral presentation in 24th IMEKO TC4 International Symposium, 2019.
[13] ZHANG, Z., ve diğerleri., "Coils and the Electromagnet Used in the Joule Balance at the NIM", IEEE Trans. Instrum. Meas., 64, 1539 – 1545, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Hacı AHMEDOV

Hacı AHMEDOV 1971 yılında Bakü, Azerbeycan'da doğdu. Yüksek Lisans derecesini 1994 yılında Moskova Rusya'da bulunan Moscow State Üniversitesi Fizik Bölümü'nden, Doktora derecesini 1998 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü'nden aldı. 1998 – 2012 yılları arasında TÜBİTAK Feza Gürsey Enstitüsü'nde uzman araştırmacı olarak çalıştı. 2014 yılından beri başuzman araştımacı olarak çalıştığı TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'nde fikir öncüsü olduğu Kibble Balans projesini koordine etmektedir. Plazma Metrolojisi ve Uygulamaları Projesi'nin de yürütücüsüdür. Elektrodinamik Laboratuvarı'nın sorumlusudur. Uluslararası hakemli dergilerde, ulusal ve uluslararası konferanslarda 40 üzerinde bilimsel makale ve bildirisi vardır. Araştırma konuları, kuantum alan teorisi, matematiksel fizik, genel rölativite, kuantum metroloji ve matematiksel istatistiktir. 2003 yılında TÜBA, GEBİP üstün başarılı genç bilim insanı ödülüne layık görüldü.

Beste KORUTLU

Beste Korutlu, 1982 yılında Eskişehir'de doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Fizik Bölümü'nden yüksek lisans derecesini 2007 yılında tamamlayarak mezun oldu. Doktora derecesini 2012 yılında Montreal, Kanada'da bulunan Concordia Üniversitesi Fizik Bölümü'nden aldı. 2006-2009 yılları arasında Çankaya Üniversitesi, Matematik ve Bilgisayar Bölümü'nde uzman olarak görev yaptı. 2009-2012 yılları arasında Concordia Üniversitesi Fizik Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2013-2015 yılları arasında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2015 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'nde uzman araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Elektrodinamik Laboratuvarı Laboratuvar Sorumlusu Vekilidir. Araştırma konuları

standart model ötesi fenomonoloji odaklı teorik yüksek enerji fiziği, kütle metrolojisi ve kuantum metrolojidir. Uluslararası hakemli dergilerde, ulusal ve uluslararası konferanslarda 20 üzerinde makale ve bildirinin yazarıdır. 2012 yılında Concordia Accelerator Ödülüne layık görüldü. TÜBİTAK 2232 - Yurda Dönüş Araştırma Burs Programı kapsamında finanse edilen İki Higgs Dublet Modeli'nde Vektör Benzeri Fermiyonlar (Proje No: 113C002) başlıklı projenin yürütücülüğünü yaptı.

YENİ TASARIM ELEKTROMEKANİK TORK EL ALETLERİ KALİBRASYON SİSTEMİ

Uğur USLUKILIÇ
Bülent AYDEMİR

ÖZET

KAL-MET kalibrasyon Tic. Ltd. Şti tarafından UVE Markası ile, saat yönü (CW) ve saat yönü tersinde (CCW) yönlerinde kalibrasyon yapabilen 1000 N·m kapasiteli Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sistemin kontrol yazılımı yine KAL-MET bünyesinde geliştirilmiştir. Tüm mekanik imalat ve geliştirme yazılımı tamamlamış ve performans ölçümleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi, Tork el aleti, UVE**,** Elektromekanik Tork Kalibrasyonu

ABSTRACT

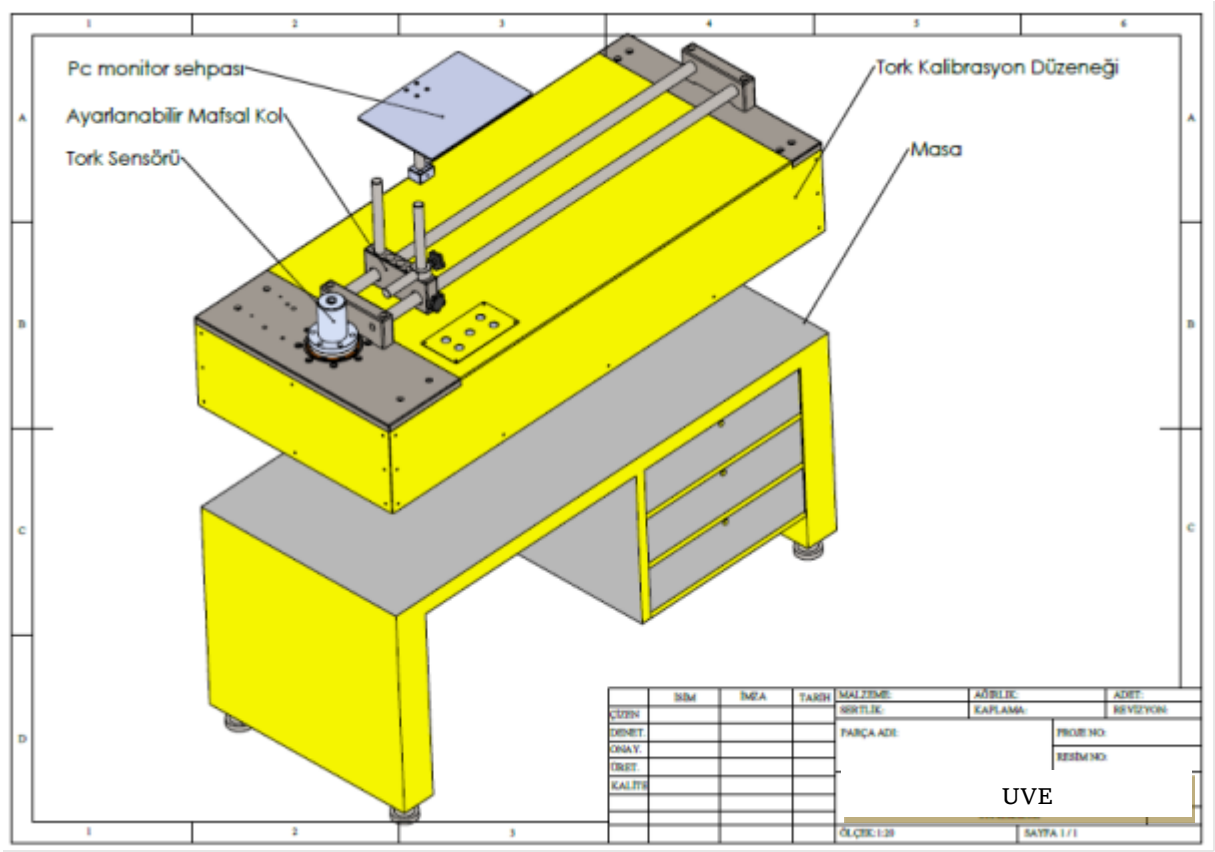
KAL-MET calibration Tic. Ltd. Ltd. Şti. with UVE Brand has designed and manufactured a new 1000 N·m capacity Electromechanical Torque Hand Tools Calibration System which can calibrate clockwise (CW) and counterclockwise (CCW) directions. The control software of this system has also been developed within KAL-MET. All mechanical manufacturing and development software has been completed and performance measurements have been made.

Key Words: Torque Hand Tools Calibration System, Torque Hand Tool, UVE, Electromechanical Torque Calibration

1. GİRİŞ

Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi, tork değişimini algılayan referans tork dönüştürücü ve bu dönüştürücüden elde edilen sinyallerin okunduğu gösterge cihazı, otomatik ölçümlerin yapılabilmesi için prosedürlerin oluşturulduğu ve verilerin toplandığı otomasyon yazılımı ile bilgisayar ve de kalibre edilecek tork el aletinin bağlanabileceği bağlantı noktalarından oluşur. Genel olarak, çalışma prensibi, tork el aletine uygulanan tork kuvvetinin referans tork dönüştürücü gövdesindeki değişimin dirençli uzama ölçer (strain gauge) tarafından algılanarak gösterge elemanından okunması biçimindedir. Daha açık bir şekilde referans tork dönüştürücü değeri ile tork el aleti üzerindeki değerlerin kıyaslanması şeklinde kalibrayon gerçekleştirilir.

Tork El Aletlerinin kalibrasyonu ISO 6789-1 ve ISO 6789-2 standartlarında tarif edilen yöntemlere göre gerçekleştirilir. Müşteri isteğine bağlı olarak başka standartlar veya şartnamelerde kullanılabilir. Tork el aletlerinin kalibrasyonu yapabilmek için bir referans kalibrasyon sisteme sahip olmak gereklidir. Aynı prensiplere sahip ama farklı şekillerde tasarlanmış bir çok tip tork el aleti kalibrasyon sistemi mevcuttur. Otomatik tork uygulayan, sabit dönüş hızına sahip ve ilgili standartta tanımlanan şartları karşılayan Tork El Aletleri Kalibrasyon sistemi düşük belirsizlikler elde edebilmek için önemlidir. Standartlardaki farklılıklara göre kalibrasyon adımlarının artması, ölçüm belirsizliği hesaplama adımlarının değişiklik göstermesi, ölçüm belirsizliklerinin azaltılması için otomatik ve/veya yarı otomatik ve daha kısa sürede kalibrasyon imkanı sağlayan Tork Kalibrasyon Sistemleri ihtiyaç haline gelmiştir.



Şekil 1. 1000N·m Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi tasarım resmi

Tüm kapasitelerde kalibrasyon yapmak ve insan kaynaklı hataları en aza indirebilmek için otomasyonlu tork kalibrasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur, Son zamanlarda, bu tür sistemlerin yurt dışından temin edildiğinde de yatırım maliyelerinin yüksek ve kalibrasyon piyasasının mevcut şartlarında geri dönüşümünün olmaması, böyle bir kalibrasyon sisteminin tasarlanması ve üretimini zaruri kılmıştır. 2014 yılında KAL-MET firması tarafından saat ibresi (CW) ve saat ibresi ters (CCW) yönlü hızı ayarlanabilir otomasyonlu ilk tork el aleti kalibrasyon makinası tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu makina sensör açısından belirli markalara bağımlı olarak tasarlanmıştır. Sensörlerin yazılımı ile kalibrasyon makinası yazılımı birbirinden bağımsız olarak çalışmakta, sınırlıda olsa kalibrasyon süresini kısaltma avantajı sağlamıştır. Ayrıca bu makinada aşırı yük risklerine karşılık korunma ve kişiye bağlı dikkatsizlik risklerinin ortadan kaldırılamadığı görülmüştür.

2019 yılında tasarlanan ve üretilen yeni nesil Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi, isminden de anlaşılacağı gibi bir makine olmaktan çıkmış bir sistem haline gelmiştir. Yeni sistemin avantajları şu şekilde sayılabilir:

- Eski sistem sensör, sensör yazılımı, kalibrasyon makinası, makina otomasyon yazılımı gibi birbirinden bağımsız elemanlardan oluşmakta ve tüm hareketler personel tarafından veriliyordu, Yeni sistemde kontrol direkt sensörden alınan verilerden sağlanıyor ve sistem tek yazılıma sahip, prosedür oluşturarak otomatik kalibrasyona imkanını sağlamaktadır.
- Eski sistemde ISO 6789-1 ve ISO 6789-2 standartlarına uygun olan kalibrasyon faaliyeti ve ölçüm belirsizliği verilerini elde etmek yaklaşık 3 saat sürerken yeni sistemde bu süre yarım saate düşmüştür.
- Eski sistem değişik metotlar için esneklik göstermemektedir. Ancak yeni sistem istenilen şartnameye veya standarda uygun prosedür hazırlayarak ölçüm yapmasına imkan sağlamaktadır.
- Eski sistemde sensörler için markaya bağımlılık varken yeni sistem de mV/V çıkışı olan tüm sensörler kullanılabilir duruma gelmiştir.

- Eski sistemde sensördeki kaymalar üreticisi haricinde düzeltilemezken yeni sistemde yazılım sensörü doğru değerlerde kullanabilecek şekilde enterpolasyon yapmaya imkân vermektedir.
- Eski sistemde tüm hareketler ve ölçümler personel tarafından yaparken yeni sistemde Tip I Tork el aletleri fotoğraf makinası kullanılarak tam otomatik yapılabilmekte, Tip II Tork el aletlerinde ise sadece kurma aşamalarında teknik personele ihtiyaç duyulmaktadır.

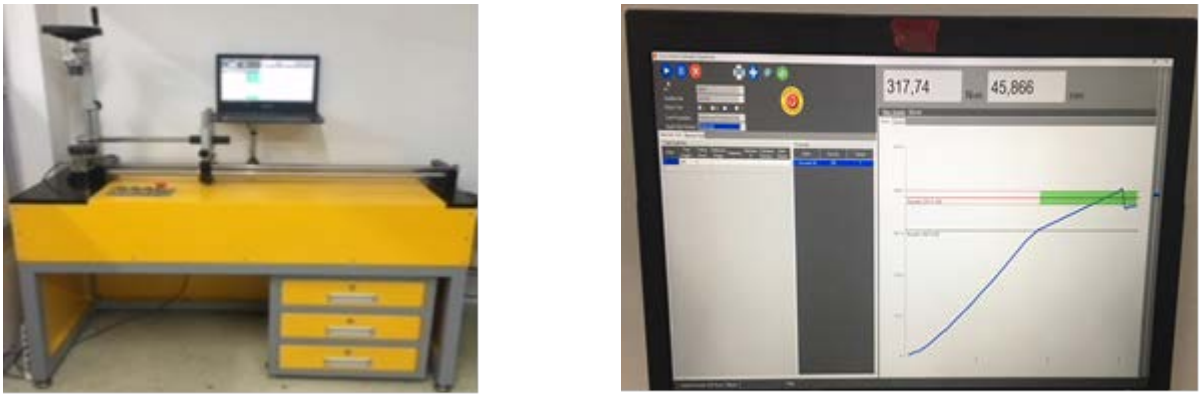
2. ELEKTROMEKANİK TORK EL ALETLERİ KALİBRASYON SİSTEMİ

Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi (ETCS), mekanik gövde, servo tork oluşturma sistemi ve kontrol ünitesinden oluşur. Makina gövdesi 1 N·m den 1000 N·m ye kadar tork el aletlerini CW ve CCW yönünde kalibre etmeye uygun şekilde tasarlanmıştır. Kalibre edilecek el aletinin yerleştirileceği kısım ISO 6789-2 standardının şartlarını karşılayacak şekilde tasarlanmış ve referans tork dönüştürücü ile doğrudan temas halindedir. Referans tork dönüştürücünün sinyali kontrol sistemi tarafından sürekli olarak alınarak sistemin istenen tork değerlerini kontrol etmesinde kullanılır. Referans tork sensörlerinin her biri için özel aparatlar imal edilmiş ve sensör değiştirme süresi minimum zamana indirilmiştir.

Sistem, bir servo motor tarafından tahrik edilen bir manivela sistemini kullanarak tork değeri oluşturur. Bu sistemin avantajı küçük motor kapasitesi ile büyük tork değerlerinin elde edilmesidir. Servo motor kullanılması ile hassas olarak konumlama ve hız ayarı yapılabilmektedir. Bu sayede sistemin hassas olarak tork değerini sağlayabilmesi ve ölçüm belirsizliğinin düşük olması sağlanmıştır.

Tablo 1. 1000 N·m Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sisteminin Genel Teknik Özellikleri

Tipi	Referans Sensörlü Elektromekanik Tork El Aleti Kalibrasyon Sistemi
Maksimum kapasitesi:	1000N·m
Çalışma Aralığı :	1 N·m – 1000 N·m
Kontrol sistemi:	Servo kontrol



Şekil 2. 1000N·m Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi resmi

Kontrol sistemi tamamen bilgisayar kontrollü olup, sistemi korumak için sürekli geri bildirim sinyali almaktadır. Sistem hem otomatik hem de manuel kalibrasyon yapabilme kabiliyetine sahiptir. Otomatik kalibrasyon seçeneğinde, yazılım tarafından tanımlanan uluslar arası standartlara uygun prosedürlere göre kalibrasyonlar yapılabilir ve veriler kaydedilebilir. Uluslararası tork el aleti kalibrasyonları ISO 6789-2 dokümanına ve bunun dışında kullanıcı tarafından tanımlanan prosedüre göre ölçümler gerçekleştirilebilir. Manuel seçeneğinde, kullanıcı tarafından girilebilen bir ekrandan tork değeri seçilir, uygulanır ve veriler manuel işlem fonksiyonları ile kaydedilebilir.

3. ÖRNEK KALİBRASYON ÇALIŞMASI

Bu çalışmada örnek olarak seçilen tork el aleti kalibrasyonu, ISO 6789-2:2017 dokümanı esas alınarak hazırlanan kalibrasyon prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonda 100 N·m kapasiteye sahip transfer tork dönüştürücü kullanılmıştır. Kapasiteye uygun olarak belirlenen referans tork dönüştürücü, KAL-MET kalibrasyon laboratuvarında kalibre edilerek sertifikalandırılmıştır. Belirsizlik hesaplanmasında ISO 6789-2:2017 dokümanı esas alınmıştır. Aşağıdaki tablolarda referans sensör bilgileri, ölçüm adımları ve belirsizlik parametreleri le hesaplamaları detaylı olarak verilmiştir.

Kalibre Edilen Tork El Aletine Ait Bilgiler

Cihaz Adı	TORK EL ALETİ
Tip /Sınıf	Tip II - B
Alt Limit	10,00
Üst limit	30,00
Brim	N·m
Skala Taksimatı	0,001
Okunabilirlik Böleni	2
Dönen Kafanın varlığı	var
Adaptörün varlığı	var
Kuvvet Uygulama Noktasında işaret	yok
Kullanılan 1.Sensör	010203-100N·m

Kalibrasyon Noktaları	
Değer	%
10,0	33
18,0	60
30,0	100

$$a_s(\%) = \frac{(x_a - x_r)*100}{x_r}$$

Ön Yükleme Sonuçları ve Kalibrasyon Sonuçları

Ortalama Ölçüm Süresi: 12 dakika

Ön Yük Ölçümleri			
CW - Saat Yönü			
$X_{ö1}$	=	10,001	N·m
$X_{ö2}$	=	10,002	N·m
$X_{ö3}$	=	10,004	N·m

Ön Yük Ölçümleri			
CCW - Saat Yönü Tersi			
$X_{ö1}$	=	-9,998	N·m
$X_{ö2}$	=	-9,997	N·m
$X_{ö3}$	=	-9,995	N·m

CW - SAAT YÖNÜ TORK ÖLÇÜM SONUÇLARI				CCW - SAAT YÖNÜ TERSİ TORK ÖLÇÜM SONUÇLARI	
Okunan Değer			Referans Değer	Referans Değer	
X_a			X_r N·m	X_r	N·m
Xa =	10	N·m	9,901	9,413	
	33,333333	%	9,903	9,396	
			9,900	9,511	
			9,928	9,415	
			9,910	9,415	
Ortalama			9,91	9,430	
Xa =	18	N·m	17,732	17,085	
	60	%	17,748	17,032	
			17,718	17,055	
			17,679	17,087	
			17,686	17,044	
Ortalama			17,71	17,061	
Xa =	30	N·m	29,397	28,628	
	100	%	29,479	28,633	
			29,471	28,622	
			29,456	28,647	
			29,528	28,618	
Ortalama			29,47	28,630	

Belirsizlik Kaynakları

Aşağıdaki Ölçüm Belirsizliği hesaplamaları %20 kapasite için yapılmıştır.

Sertifika Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni

Referans Tork Sensörünün kalibrasyon sertifikasından alınan belirsizlik bileşeni,

$w_{md}=w_{cert}$ / 2

w_{cert}=0,5% (%95 güven aralığı için k=2)

w_{md}=0,25%

Çözünürlük Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni

r = 0,001 N·m

$X_{r\text{-ortalama}}$ = 9,91 N·m (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_r = \frac{r \times 0{,}5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X}_r}$$

w_r= 0,0015 %

Tekrarlanabilirlik Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni

b_{re}= Kalibrasyon sonuçlarının standart sapması

$X_{r\text{-ortalama}}$ = 9,91 N·m (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{re} = \frac{b_{re}}{\sqrt{n}} \times \frac{100}{\overline{X}_r}$$

w_{re}=0,053%

Tekraryapılabilirlik Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni - b_{rep}

Okunan Değer X_a	Referans Değer X_r N·m			
	1 seri	2.Seri	3.Seri	4.Seri
10 N·m % 33	9,910	9,900	9,901	9,901
	9,903	9,903	9,903	9,903
	9,904	9,907	9,900	9,900
	9,928	9,901	9,928	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
Ortalama	9,911	9,904	9,908	9,908

Ortalama Ölçüm Süresi: 5 dakika

b_{rep}=Maksimum(Ortalama) –Minimum(Ortalama)

$X_{r\text{-ortalama}}$ = 9,91 N·m (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{rep} = \frac{b_{rep} \times 0{,}5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X}_r}$$

w_{rep}= 0,0198 %

Sabit Olmayan Kafa Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni - b_{od}

Ortalama Ölçüm Süresi: 10 dakika

b_{od}=Maksimum(Ortalama) –Minimum(Ortalama)

$X_{r\text{-ortalama}}$ = 9,91 N·m (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{od} = \frac{b_{od} \times 0{,}5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X}_r}$$

w_{od}= 0,0221%

Okunan Değer X_a N·m	Referans Değer X_r N·m			
	Pozisyon1 (0°)	Pozisyon1 (90°)	Pozisyon1 (180°)	Pozisyon1 (270°)
10	9,910	9,924	9,901	9,901
	9,903	9,903	9,903	9,923
	9,904	9,907	9,914	9,904
	9,928	9,918	9,918	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
	9,900	9,928	9,901	9,901
	9,903	9,923	9,903	9,923
	9,907	9,907	9,914	9,904
	9,901	9,922	9,918	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
Ortalama	9,908	9,915	9,909	9,913

Adaptör Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni

Ortalama Ölçüm Süresi: 10 dakika

b_{int}=Maksimum(Ortalama) – Minimum(Ortalama)

$X_{r\text{-ortalama}}$ = 9,91 N·m (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{int} = \frac{b_{int} \times 0{,}5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X}_r}$$

w_{int}= 0,034%

Okunan Değer X_a N·m	Referans Değer X_r N·m			
	Pozisyon1 (0°)	Pozisyon1 (90°)	Pozisyon1 (180°)	Pozisyon1 (270°)
10	9,910	9,924	9,901	9,901
	9,903	9,940	9,903	9,923
	9,904	9,907	9,914	9,904
	9,928	9,918	9,900	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
	9,900	9,928	9,901	9,901
	9,903	9,923	9,903	9,923
	9,907	9,907	9,914	9,904
	9,901	9,922	9,918	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
Ortalama	9,908	9,919	9,907	9,913

Kuvvet Uygulama Noktası Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni - b_l

Okunan Değer X_a N·m	Referans Değer X_r N·m	
	Pozisyon 1 (-1cm)	Pozisyon 2 (+1cm)
10	9,910	9,924
	9,903	9,940
	9,904	9,907
	9,928	9,918
	9,899	9,910
	9,930	9,928
	9,903	9,923
	9,904	9,907
	9,928	9,922
	9,910	9,910
Ortalama	9,912	9,919

Ortalama Ölçüm Süresi: 5 dakika

b_l=Maksimum(Ortalama) – Minimum(Ortalama)

$X_{r\text{-ortalama}}$ = 9,91 N·m (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_l = \frac{b_l \times 0,5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\overline{X}_r}$$

w_l= 0,02%

Tüm bu ölçümler sonucunda tork el aletinin 10 N·m tork değeri için toplam belirsizliği 0,3 % olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortalama ölçüm süreleri her ölçüm parametresinin altında ayrı ayrı belirtilmiştir. Belirsizlik bütçesinde yer alan parametrelerin ölçümü toplam 42 dakika sürdüğü tespit edilmiştir. Bu değer ölçüm kapasitesine bağlı olarak küçük değişiklikler gösterebilmektedir.

4. SONUÇLAR

KAL-MET firması tarafından tasarlanıp üretilen Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi (ETCS) ile örnek bir tork el aleti kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kalibrasyonda ISO 6789-2 standardının istediği tüm belirsizlik bileşenlerinin ölçülebildiği bir tork el aleti seçilmiştir. ETCS sisteminin çok fazla sayıdaki değeri hızlı ve doğru bir şekilde ölçtüğü gözlemlenmiştir. Belirsizlik bütçesinde yer alan tüm parametrelerin ölçümünün toplam 42 dakika zaman aldığı ölçülmüştür. ETCS sistemi ile tekrarlanan ölçümlerde insan faktörü asgari seviyeye indirilmiş, hızlı ve doğru ölçümlerin gerçekleştirilebildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] ISO 6789-1:2017 Cıvatalar ve somunlar için montaj takımları- Elle çevrilen takımlar- Bölüm 1: Tasarım uygunluğu testi ve kalite uygunluk testi için şartlar ve yöntemler: uygunluk belgelerine ilişkin asgari gereklilikler
[2] ISO 6789-2:2017 Cıvatalar ve somunlar için montaj takımları- Elle çevrilen takımlar-Bölüm 2: Kalibrasyon için gerekenler ve ölçümün belirsizliği
[3] JCGM100:2008 Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in Measurement

[4] EURAMET cg-14 Version 2.0 (03/2011) GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF STATIC TORQUE MEASURING DEVICES.
[5] B.Aydemir, H. Dizdar, C. Vatan Ocak 2015 BAĞIL ENTERPOLASYON HATASININ FARKLI MATEMATİKSEL YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI ve SAYISAL ÖRNEKLENMESİ TEKNİK RAPORU

ÖZGEÇMİŞ

Uğur USLUKILIÇ

1969 yılı Yozgat doğumludur. 1994 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2006 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Bölümünü bitirmiştir. 1995-2003 yılları arasında Türk Standartları Enstitüsü Bursa Bölge Müdürlüğü'nde Kalite Yönetim Sistemleri konusunda denetçilik ve eğitimcilik yapmıştır. 2003 yılından itibaren Kal-Met Kalibrasyon Tic. Ltd. Şti. Firmasının şirket Müdürlüğünü yürütmektedir. 2013 yılının Eylül ayından itibaren Kalibrasyon ve Test makinalarının tasarım ve üretimi üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır, şu ana kadar Ölü ağırlıklı Yük Hücresi Transfer standardı, Hidrolik Kuvvet kalibrasyon makinası, Malzeme Test Makinası, Ölü ağırlıklı Tork kalibrasyon Standardı, Elektromekanik Tork Sensörü Kalibrasyon Makinası projelerine liderlik yapmış, bu makinaların hem Türkiye'de satışını hem de yurt dışına ihracatını gerçekleştirmiştir.

Bülent AYDEMİR

1994 Makina mühendisliği bölümünü, 1996 yılında makina mühendisliği imalat konstrüksiyon alanında yüksek lisansını ve 2003 yılında da makina mühendisliği alanında doktora derecesini almıştır. İlgili alanda 2016 yılında Doçent unvanına sahip olmuştur. 2000 yılından beri TÜBİTAK UME kuvvet laboratuvarında çalışmakta olup şu an Laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

YENİ TASARIM HİDROLİK TİP KUVVET KALİBRASYON MAKİNASI

Uğur USLUKILIÇ
Bülent AYDEMİR

ÖZET

KALMET kalibrasyon laboratuarında, çekme ve basma yönlerinde kalibrasyon yapabilen 2 MN kapasiteli yeni hidrolik tip kuvvet kalibrasyon makinası kurulmuştur. Bu makina TÜBİTAK UME danışmanlığı ile KALMET firması tarafından tasarlanmıştır. Tüm mekanik imalat ve geliştirme yazılımı tamamlamış ve performans ölçümleri yapılmıştır. Cihazın performans olarak, 2E-4'ten daha iyi tekrarlanabilirlik hatasına sahip olduğu ölçümler ile belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik makina, kuvvet kalibrasyon makinası, performans testi, 2 MN kapasitesi

ABSTRACT

A new hydraulic type force standard machine with a 2 MN capacity in tension and compression modes is established in KALMET calibration laboratory. This machine is designed by KALMET Company with TUBİTAK UME consultancy. All mechanical manufacturing and development software is made by the company. The performance measurement results of the device are satisfied relative repeatability error better than 2E-4.

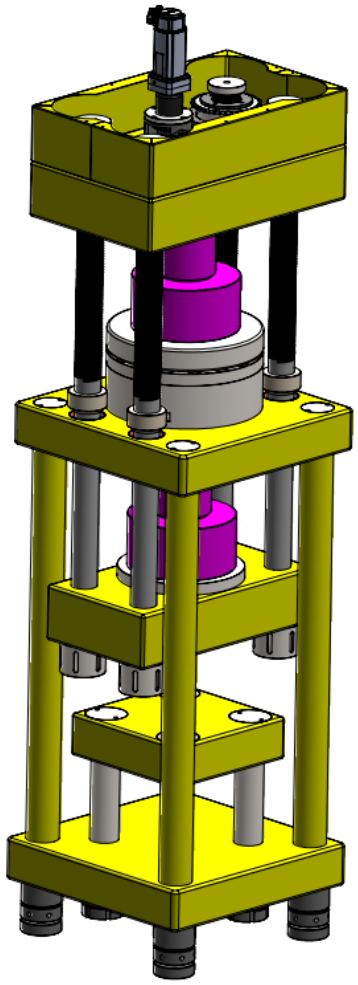
Key Words: Hydraulic machine, force calibration machine, performance test, 2 MN capacity

1. GİRİŞ

Bir kuvvet ölçüm sistemi, kuvvet değişimini algılayan sensör elemanı (kuvvet dönüştürücü), gösterge elemanı ve bağlantı parçalarından oluşur. Genel olarak çalışma yapısı, kuvvet dönüştürücünün uygulanan kuvvet tarafından sıkıştırılması ile dönüştürücünün metal gövdesindeki değişimin sensör tarafından algılanarak gösterge elemanından belirli bir değer olarak okunması biçimindedir.

Kuvvet ölçümleri, farklı prensipler (dirençli uzama ölçerli, piezo elektrik, kapasitif, indüktif, optik, hidrolik vs.) ile çalışan ve kuvvetin oluşturduğu etkiyi farklı bir fiziksel büyüklüğe dönüştürebilen kuvvet dönüştürücü adı verilen cihazlar ile gerçekleştirilir.

Kuvvet ölçme cihazların ne kadar doğruluk veya belirsizlik ile ölçüm yaptıkları ise uluslar arası standartlara uygun olarak gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda belirlenir. Kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonu ISO 376 ve ASTM E74 standartlarında tarif edilen yöntemlere göre gerçekleştirilir. Kalibrasyon işlemini yapabilmek için kuvvet kalibrasyon makinalarının kullanılması gereklidir. Farklı prensiplere sahip pek çok tip kuvvet kalibrasyon makinası mevcuttur. En düşük belirsizliğe sahip kuvvet kalibrasyon makinaları ölü ağırlıklı makinalardır. Kalibrasyon kapasitesinin artması yani büyük kuvvetlerde kuvvet kalibrasyonuna ihtiyaç duyulduğunda gerek maliyet gerekse cihaz boyutunun büyümesi nedeniyle ölü ağırlılı makinalar yerine hidrolik prensipli makinalar tercih edilir.



Şekil 1. 2 MN kuvvet kalibrasyon makinasının şematik resmi

Daha küçük boyutlarda ve 2 MN kapasiteye kadar kalibrasyon kabiliyeti olan bir kuvvet kalibrasyon makinası yapılması fikri ile bir proje oluşturulmuştur. Bu makina TÜBİTAK UME danışmanlığı ile KALMET firması tarafından tasarlanmıştır. 2 MN kapasiteli makine şekil 1 de gösterildiği şekilde 4 kolonlu ana gövde üzerinde ayarlanabilir yükleme tablası, hidrolik piston ve bir adet referans kuvvet ölçme cihazından oluşturulmuştur. Makine istenen kuvvet değerlerini basamaklı ve sürekli yükleme şeklinde uygulamayı sağlayan bir yazılımlı kontrol sistemine de sahiptir. Tüm mekanik tasarım ve imalata ilave olarak yazılımın geliştirilmesi KALMET firması bünyesinde yapılmıştır.

Bu çalışmada 2 MN kapasiteli hidrolik tip kuvvet kalibrasyon makinasının tasarım ve performans ölçümü sonuçları verilmiştir.

2. HİDROLİK TİP KUVVET KALİBRASYON MAKİNASI

Kuvvet kalibrasyon makinası (FCM), mekanik gövde, servo-hidrolik kuvvet oluşturma sistemi ve kontrol ünitesinden oluşur. Makina gövdesi dört sütun prensibine göre tasarlanmıştır. Kalibre edilecek kuvvet ölçme cihazının yerleştirileceği yükleme tablası kuvvet üreten hidrolik silindir ile referans kuvvet dönüştürücü ile doğrudan temas halindedir. Referans kuvvet dönüştürücünün sinyali kontrol sistemi tarafından sürekli olarak alınarak sistemin kuvvet değerlerinin ayarlanmasında kullanılır. Bu referans cihaz hassas olarak merkezlenmiş şekilde kuvvet üreten silindirin üzerine yerleştirilmiştir.

Makina, bir servo hidrolik sistem tarafından tahrik edilen bir piston-silindir sistemini kullanarak kuvvet oluşturur. Bu sistemin hidrolik pompa sistemine göre avantajı hidrolik pompa sisteminin neden olduğu gürültüyü, titreşimi ve bakım maliyetini azaltmasıdır. Servo hidrolik sistemin kullanılması ile hassas olarak silindir içindeki basınç ayarlanabilmekte ve basınç dalgalanmaları azaltılmıştır. Bu sayede sistemin hassas olarak kuvvet değerini sağlayabilmesi ve ölçüm belirsizliğinin düşük olması sağlanmıştır.

2 MN hidrolik kuvveti kalibrasyon makinesinin genel teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

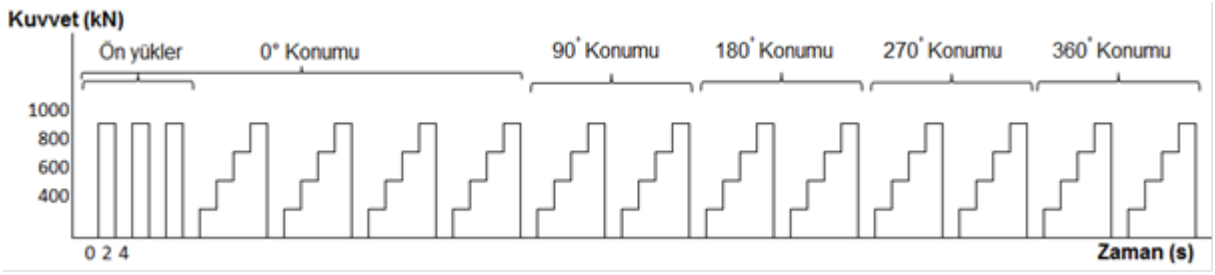
Tablo 1. Hidrolik Kuvveti Kalibrasyon Makinesinin Teknik Özellikleri

Kuvvet makina tipi:	Referans kuvvet dönüştürücülü Hidrolik kuvvet kalibrasyon makinası
Maksimum kapasitesi:	2 MN
Çalışma Aralığı :	50 kN - 2000 kN arasında seçilebilir kuvvet
Makine gövde tipi:	4 kolonlu
Kontrol sistemi:	PC ve manuel kontrollü

Makinenin kontrol sistemi tamamen bilgisayar kontrollü olup, ana piston silindir sistemi korumak için sürekli geri bildirim sinyali almaktadır. Makina hem otomatik hem de manuel kalibrasyon yapabilme kabiliyetine sahiptir. Otomatik kalibrasyon seçeneğinde, yazılım tarafından tanımlanan uluslar arası standartlara uygun prosedürlere göre kalibrasyonlar yapılabilir ve veriler kaydedilebilir. Uluslararası kuvvet kalibrasyonları olan ISO 376, ASTM E74, Dakks R 3 3 dokümanlarına ve bunların dılında kullanıcı tarafından tanımlanan prosedüre göre ölçümler gerçekleştirilebilir. Manuel seçeneğinde, kullanıcı tarafından girilebilen bir ekrandan kuvvet değeri seçilir, uygulanır ve veriler manuel işlem fonksiyonları ile kaydedilebilir.

3. PERFORMANS TESTLERİ

Performans ölçümü, “EURAMET-CG-04.01 Uncertainty of Force Measurements” dökümanı esas alınarak hazırlanan ölçüm protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kapasiteye uygun olarak belirlenen kuvvet dönüştürücü, öncelikle TÜBİTAK UME de protokole uygun olarak ölçülmüş, daha sonra KALMET firmasında aynı prosedür ile ölçümler alınmıştır. Son olarak TÜBİTAK UME’de tekrar son ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler transfer standardı olarak kullanılan kuvvet dönüştürücünün cihaz tablası üzerinde 0°, 90°, 180°, 270° ve 360° açılarda konumlandırılması sonrası belirli kuvvet adımları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme şekli grafiği şekil 2 de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek kuvvet kalibrasyon makinasının ölçüm belirsizliği belirlenmiştir. Belirsizlik hesaplanmasında “EURAMET-CG-04.01 Uncertainty of Force Measurements" dokümanı esas alınmıştır. Performans testi ölçümlerinde 1000 kN kapasiteye sahip transfer kuvvet dönüştürücü kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları tablo 2, 3 ve 4 te verilmiştir.



Şekil 2. Yükleme şekli grafiği

Tablo 2. TÜBİTAK UME'de yapılan ilk ölçüm sonuçları

Kuvvet	0° konum	90° konum	180° konum	270° konum	360° konum	Ortalama Değer	Tekrarlanabilirlik
kN	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	-
0,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-
400	0,800065	0,800127	0,800179	0,800180	0,800057	0,800122	1,54E-04
600	1,200271	1,200393	1,200499	1,200473	1,200319	1,200391	1,90E-04
800	1,600289	1,600633	1,600646	1,600530	1,600477	1,600515	2,23E-04
1000	2,000301	2,000685	2,000665	2,000619	2,000448	2,000544	1,92E-04

Tablo 3. KAL-MET'de yapılan ölçüm sonuçları

Kuvvet	0° konum	90° konum	180° konum	270° konum	360° konum	Ortalama Değer	Tekrarlanabilirlik
kN	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	-
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-
400	0,800103	0,800145	0,800191	0,800047	0,800106	0,800118	1,80E-04
600	1,200261	1,200404	1,200268	1,200255	1,200283	1,200294	1,24E-04
800	1,600431	1,600584	1,600447	1,600464	1,600485	1,600482	9,56E-05
1000	2,000547	2,000772	2,000517	2,000580	2,000644	2,000612	1,27E-04

Tablo 4. TÜBİTAK UME'de yapılan son ölçüm sonuçları

Kuvvet	0° konum	90° konum	180° konum	270° konum	360° konum	Ortalama Değer	Tekrarlanabilirlik
kN	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	-
0,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-
400	0,800108	0,800188	0,800252	0,800223	0,800240	0,800202	1,80E-04
600	1,200232	1,200410	1,200402	1,200379	1,200414	1,200367	1,52E-04
800	1,600360	1,600440	1,600472	1,600536	1,600635	1,600488	1,72E-04
1000	2,000605	2,000665	2,000843	2,000758	2,000756	2,000725	1,19E-04

Karşılaştırma sonucu, En değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. En değeri ise eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_n = \frac{X_{LAB} - X_{REF}}{\sqrt{U_{LAB}^{\ 2} + U_{REF}^{\ 2}}} \qquad (1)$$

Xlab = Laboratuvarın ölçüm değeri
Xref = Referans laboratuvarın ölçüm değeri
Ulab = Laboratuvarın ölçüm belirsizliği
Uref = Referans laboratuvarın ölçüm belirsizliği,

$|En| \leq 1$ = başarılı
$|En| > 1$ = başarısız

Başarılı bir karşılaştırma sonucu için, ISO/IEC 17043 [4] dokümanında belirtilen $|En| \leq 1$ şartının sağlanması gereklidir. Laboratuvarların ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan En sayıları Tablo 5' te verilmiştir.

SONUÇLAR

Yeni tasarım hidrolik tip kuvvet kalibrasyon makinası, çekme ve basma yönlerinde kalibrasyon yapabilen 2 MN kapasiteli bu cihazın performans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu makina TÜBİTAK UME danışmanlığı ile KALMET firması tarafından tasarlanmıştır. Cihazın performans ölçümleri sonucunda KALMET te yapılan ölçümler sonucunda olarak, 2E-4'ten daha iyi tekrarlanabilirlik hatasına sahip olduğu ölçümler ile belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre belirsizlik hesaplanmasında "EURAMET-CG-04.01 Uncertainty of Force Measurements" dokümanı göre yapılmış ve cihazın belirsizliği. % 0,026 olarak belirlenmiştir.

Bu karşılaştırmanın En sayısının değerlendirilmesi sonucunda, laboratuvarın karşılaştırma ölçümlerinin "başarılı" olduğu belirlenmiştir. Laboratuvarların ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan En sayıları Tablo 5' te verilmiştir.

Tablo 5. Ölçümler sonucunda hesaplanan En değerleri ve Belirsizlik değeri

Kuvvet Değeri	En	Kalibrasyon Makinası Belirsizlik Değeri, k=2 için, W_{CMC}
kN	-	%
400	0,19	0,026
600	0,27	
800	0,06	
1000	0,05	

KAYNAKLAR

[1] Aydemir, B., Dizdar, H., Vatan, C., (2017), "Genel Kuvvet Metrolojisi Eğitim Dokümanı", G2KV-010, TÜBİTAK UME, Gebze-Kocaeli, Aralık 2017.
[2] Aydemir, B., Dizdar, H., Vatan,C., "Tek Eksenli Statik Malzeme Test Makinalarının Kuvvet Kalibrasyonu Eğitim Dokümanı", TÜBİTAK UME Gebze-Kocaeli, Mayıs 2018
[3] ISO 376:2011, Metallic Materials-Calibration of Force-proving Instruments Used for the Static Verification of Uniaxial Testing Machines.
[4] EURAMET CG-04, Uncertainty of Force Measurements Version 2.0, 2011.
[5] Dizdar, H., Aydemir, B., Vatan, C., 2015, EURAMET CG-04, Kalibrasyon Rehberi, "Kuvvet Ölçümlerinde Belirsizlik" TÜBİTAK UME, Şubat 2015
[6] ASTM E74, Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines, 2013
[7] TSE EN ISO/IEC 17043:2013, Uygunluk Değerlendirmesi – Yeterlilik Deneyi İçin Genel Şartlar

ÖZGEÇMİŞ

Uğur USLUKILIÇ

1969 yılı Yozgat doğumludur. 1994 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2006 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Bölümünü bitirmiştir. 1995-2003 yılları arasında Türk Standartları Enstitüsü Bursa Bölge Müdürlüğü'nde Kalite Yönetim Sistemleri konusunda denetçilik ve eğitimcilik yapmıştır. 2003 yılından itibaren Kal-Met Kalibrasyon Tic. Ltd. Şti. Firmasının şirket Müdürlüğünü yürütmektedir. 2013 yılının

Eylül ayından itibaren Kalibrasyon ve Test makinalarının tasarım ve üretimi üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır, şu ana kadar Ölü ağırlıklı Yük Hücresi Transfer standardı, Hidrolik Kuvvet kalibrasyon makinası, Malzeme Test Makinası, Ölü ağırlıklı Tork kalibrasyon Standardı, Elektromekanik Tork Sensörü Kalibrasyon Makinası projelerine liderlik yapmış, bu makinaların hem Türkiye'de satışını hem de yurt dışına ihracatını gerçekleştirmiştir.

Bülent AYDEMİR

1994 Makina mühendisliği bölümünü, 1996 yılında makina mühendisliği imalat konstrüksiyon alanında yüksek lisansını ve 2003 yılında da makina mühendisliği alanında doktora derecesini almıştır. İlgili alanda 2016 yılında Doçent unvanına sahip olmuştur. 2000 yılından beri TÜBİTAK UME kuvvet laboratuvarında çalışmakta olup şu an Laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

ÜLKEMİZİN İZLENEBİLİRLİK SORUNLARININ ÖRNEKLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sibel Şimşek YAZICI

Ülkemizde, gıda ve kimya alanları başta olmak üzere birçok farklı sektörde ölçüm hizmeti verilmektedir. Bu ölçümler, sektörlerin genel durumu ve gelişim alanlarını görmek için mükemmel bir projeksiyon sağlamaktadır. Ölçümlerin izlenebilirliğini ve güvenirliliğini sağlamak için de TÜRKAK tarafından yayınlanan ölçüm izlenebilirliği rehber dökümanı sektöre ışık tutmaktadır. Ancak, ölçümlerin birbiri ile konuşamaması, eldeki tüm verilerin yeterli seviyede kullanılamamasına neden olmaktadır. Peki sektörlerin izlenebilirlik sorunu nedir? Bu süreçler nasıl iyileştirilebilir? Diğer ülkeler bu ölçümleri nasıl değerlendiriyor? Dijital dönüşüm çağında sektörümüzün yapması gerekenler nelerdir?

İzlenebilirlik, ölçüm hizmeti verilen gıda, biyokimya, çevre, tekstil, inşaat gibi birçok sektör için sürecin takibi, sistemin sorgusu, kalitenin eldesi ve sürdürülebilirliği için çok önemlidir. Sektörlerdeki yaşanan sorunlar benzerlik gösterseler de sorunları görmek adına sektörel değerlendirme yapmak daha faydalı olacaktır. Bu nedenle herkesin ortak gündemi olan ***"gıda"*** nın izlenebilirliği ve sorunlarını inceleyelim.

Öncelikli olarak; gıdadaki izlenebilirlik nedir? Bize ne sağlar? Onu tartışalım.

İzlenebilirlik, bir ürünün üretimden itibaren paketlenmesi, depolanması, nakliyesi ve nihai satış noktasına ulaşması sırasındaki tüm bilgilere ulaşılabilmesi ve kayıt altına alınması, böylece geriye dönük takibinin yapılabilmesi işlemidir. (Opara, 2003; Sıkı, 2011).

İzlenebilirlik; gıda güvenliği ve gıda kalitesinin korunması bakımından önemlidir. İzlenebilirliğin uygulanması sadece gıda zinciri aktörleri arasındaki iş birliğini yükseltmekle kalmamakta, aynı zamanda tüketici beklentilerine göre gıda tedarikçileri ve perakendecilere kolaylık da sağlamaktadır.

Etkili bir izlenebilirlik sistemi, pazarda bulunan güvenli olmayan gıdaların, tam zamanında tanımlanıp, satıştan çekilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede de hastalık / ölüm ve satıcıların zarara uğrama riskleri en aza indirgenmiş olmaktadır (Liao et al., 2011).

İzlenebilirliği kolaylaştırıcı unsurlar, etiket sistemlerinin oluşturulması, tarım ürünleri ve gıdaların üretim ve daha sonraki aşamalardaki işleme süreçleri konusunda veriye ve kayda dayalı olarak detaylı bilgi sağlanması, fiyat ve ürünün niteliği arasındaki ilişkinin oluşturulması ve tüketicinin bilgilendirilmesi, tüketiciyi kandırmaya yönelik çeşitli uygulamaların önlenmesidir.

İzlenebilirlik sisteminin faydaları;

- Sadece uygun kalitedeki ham maddelerin girdi olarak kullanılmasını sağlamak (Oral, 2009).
- Birbirine benzer ürünlerde karışmayı önleyecek açık belirteçlerin kullanılmasını sağlamak (TOBB, 2004).
- Minimum maliyetle, hataların nedenlerini ortaya koymak ve gerekli önlemleri almak (Oral, 2009).
- Tehlike ve/veya tehdit oluşturan ürünleri geri toplamak üzere ileriye doğru izlenmesini sağlamak (Yılmaz ve Yılmaz, 2017).
- Tehlike analizleri ve kritik kontrol noktaları (HACCP) planlarının realize edilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması
- Tehlike analizleri ve kritik kontrol noktaları (HACCP) planlarının realize edilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması (Cebeci, 2006).

- Üretim ile ilgili veri ve bilgileri kayıt altına alarak işletmelerde istatistiksel süreç kontrolü (Statistical Process
- Üretim ile ilgili veri ve bilgileri kayıt altına alarak işletmelerde istatistiksel süreç kontrolü (Statistical Process Control, SPC) analizlerine olanak sağlamak; böylece üretim maliyetini ve müşteri memnuniyetini dikkate alan kalite yönetim sistemlerinin geliştirilmesini kolaylaştırmak (Oral, 2009)
- İşletme riskini azaltmak, gerekli olduğunda ise geri toplama maliyetini düşürmek (Yılmaz ve Yılmaz, 2017)
- Sessiz geri toplamayı gerçekleştirerek marka imajının korunmasını sağlamak (Özbay vd., 2015)
- Sahtecilik/taklitçilik ile mücadeleyi kolaylaştırmak (Cebeci, 2014).
- Tüketicide markaya güven yaratarak rekabet avantajı oluşturmak (Oral, 2009).
- Yasalarla yükümlü kılınan belge ve bilgilerin kolayca üretilerek yetkili kuruluşlara ve ticaret ortaklarına
- Yasalarla yükümlü kılınan belge ve bilgilerin kolayca üretilerek yetkili kuruluşlara ve ticaret ortaklarına ulaştırılmasını sağlamak ve böylece işletme yönetimini etkinleştirmektir (Verdenius, 2006).

Peki Avrupa da gıda izlenebilirliği nasıl sağlanmaktadır?

Avrupa'da, tedarik zincirinin farklı aşamalarındaki ürün akış yönetimine ve kayıt altına alınan bilgi miktarına bağlı olarak iki çeşit izlenebilirlik sistemi vardır. Bunlar; tedarik zinciri izlenebilirlik sistemi ve ürün izlenebilirlik sistemidir (Banterle and Stranieri, 2008).

Aslında bu izlenebilirlik sistemleri dışında ürün, girdi, genetik, hastalık/ kalıntı ve ölçü/ ölçme izlenebilirliği olmak üzere farklı kategoriler ve amaçlarla da kontrol edilmektedir (Cebeci ve Kutlu, 2009).

Ürün izlenebilirliği: Lojistik, geri toplama ve tüketiciye bilgi sağlamayı kolaylaştırma amacıyla bir ürünün tedarik zincirindeki fiziksel konumunu saptama işlemidir (Cebeci ve Kutlu, 2009).

Süreç izlenebilirliği: Ürünün üretim, depolama, işleme gibi aşamalarda geçirmiş olduğu uygulama ve işlemlerinin türü ve zamanını belirleme amacı taşımaktadır. Bu bir tür "nerede, ne zaman, ne oldu/yapıldı" sorularına yanıt arayan bir izlenebilirlik biçimidir (Cebeci ve Kutlu, 2009).

Girdi izlenebilirliği: Üretimde kullanılan tohum, gübre, kimyasal ilaçlar, sulama suyu, toprak yapısı, hayvan, hayvan yemi, katkı maddeleri gibi her türlü girdinin sağlandığı yer ve özellikleri gibi bilgilerin izlenebilirliğini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Cebeci ve Kutlu, 2009).

Genetik izlenebilirlik: Bir ürünün genetik yapısını saptama amacındadır. Ürünün genetik türü, çeşidi ve kaynağında genetik olarak modifiye edilmiş organizma (GMO) veya girdi/bileşen (tohum, fide, sperm, embryo gibi) kullanılıp kullanılmadığını ortaya çıkarmaktadır (Oral, 2009).

Hastalık ve kalıntı izlenebilirliği: Gıdaya bulaşabilme ihtimali olan patojenik bakteri, virüs, mantar gibi hastalıkları izlemeyi hedefleyen bir süreçtir (Oral, 2009).

Ölçü/Ölçme izlenebilirliği: Ürünlerin belli bileşenler ve risk etkenleri bakımından analiz edilmesi yanında ölçü ve test elemanlarının standartlara uygunluğu ve kalibrasyonunun yeterliliğini izlemeyi de amaçlayan bir izlenebilirlik yöntemidir (Opara, 2003).

Peki Dünya da kullanılan ürün doğrulama ve takip sistemleri nelerdir?

Dünya ülkelerinde uygulanan takip sistemleri incelendiğinde, örneğin, İrlanda Gıda Güvenliği otoritesince yapılan çalışmada belli ürün gruplarından örnek alınarak bir DNA veri tabanı oluşturulmuştur. Fransa'da ise süt işletmeleri, işletmeye gelen her sütten numune alarak etiketlemekte ve hangi tanka bu sütü ilave ettiklerini, sütün nereden geldiğini ve tarihini etiket

üzerine kaydetmektedirler. Tanklardan alınan örnek sonuçlarında herhangi bir olumsuzluk olması halinde o tanka ilave edilen tüm süt numunelerinde gerekli analizleri yaparak problemin hangi sütten kaynaklandığı tespit edebilmektedir (Sıkı, 2011)

Dünyada farklı ürün takip sistemleri bulunmakla birlikte, günümüzde küresel geçerliliği olan, uluslararası ölçekte bilgi standartları ortaya koyan ve Birleşmiş Milletler tarafından da tavsiye edilen tek izlenebilirlik standardı EAN-International (European Article Number) tarafından oluşturulmuş, EAN-UCC (Barkod uygulaması) sistemidir (Koç vd., 2008).
EAN-UCC Barkod uygulaması dışında kullanılan bilgi teknolojileri ise şunlardır;

- Bilgisayar tabanlı gıda zinciri izleme sistemleri modellemeleri (Özbay vd., 2015).
- Gıda ambalajlamasında geliştirilen yeni yöntemler; akıllı ambalajlama, nanokompozit uygulamaları (Özbay vd.,2015).
- (Özbay v.,
- Gıda takibinde kullanılan kablosuz sensörler (Özbay vd., 2015).
- Moleküler markerlar (TOBB, 2004)
- RFID (Radio Frequency Identification) tabanlı izleme sistemleri (TOBB, 2004).
- HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) sistemi ile entegre kullanılan FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) yöntemi (TOBB, 2004)
- İzotop ve mineral madde temelinde yapılan çalışmalar (Özbay vd., 2015)
- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)-Geographic Information Systems (GIS) en yeni yaklaşımlardır (Özbay vd., 2015).

Peki Türkiye de ürün doğrulama ve takip nasıl yapılmaktadır?

- -Türkiye'de ürün doğrulama ve takip sistemi ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yapılmamasına rağmen, belirli kuruluşlar tarafından kurulan programlar yardımıyla internet üzerinden izlenebilirlik hizmeti verilmeye ve kullanıcı kılavuzları yayımlanmaya, kurs ve seminerler düzenlenmeye başlanmış ve genellikle büyük ölçekli firmalar tarafından da izlenebilirlik sistemlerine olan talep artmıştır (Çetin, 2014).
- -"27.06.2011" tarihinde tanıtımı yapılan, "Tarımsal Ürün İzlenebilirlik Sistemi" başlığı altında, "Danışmanlar için Çiftlik Yönetimi ve İzlenebilirlik Sistemi", "Çiftçiler için Çiftlik Yönetimi ve İzlenebilirlik Sistemi" ve "İşletmeler için Tarımsal Ürün İzlenebilirlik Sistemi" alt bölümlerine sahip internet tabanlı gıda izlenebilirliği sistemi geliştirilmiştir (Tarımsal Ürün İzlenebilirlik Sistemi, 2014).
- Türkiye'de gıda işletmelerinde takip sistemi kullanan çok az gıda firması vardır. Birkaç firma ürünlerinin izini sürebilmesi amacıyla QR karekod teknolojisi ile ürün takip sistemi uygulamasını kullanmaktadır. Buna ek olarak internet, mobil uygulamalar, sesli yanıt sistemi ya da SMS ile de sorgulama imkânıyla tüketicilerin uygulamayı kullanabilmesine olanak sağlamaktadır.
- -Türkiye'de gıda sektörüne yönelik Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü bünyesinde "Gıda Güvenliği Bilgi Sistemi (GGBS)", oluşturulmuştur. İnternet ortamında çalışan bir veri kayıt sistemidir ve gıda güvenliği ve kontrolünü sağlamaya ve tüketicilerin güvenilir gıdaya ulaşmasını temin etmek amacıyla tasarlanmıştır. 2011 yılından itibaren kullanılmaktadır (GKMG, 2018).
- -Türkiye'de bazı üreticiler, tüketicilerin dikkatsizliğinden ve bilinçli tüketici olmamalarından faydalanarak ticari amaçlar ve haksız kazanç uğruna taklit ve tağşişe yönelebilmektedir. Bu nedenle 2014 yılında Ürün Doğrulama ve Takip Sistemini (ÜDTS) planlanmış; sahte, taklit ve tağşiş edilmiş ürünlerin üretimini, satışını engelleyerek, tüketicilerin güvenli gıdaya ulaşmasını amaçlayan yepyeni bir denetleme ve takip sistemi geliştirilmiştir (Anonim, 2018a).

Ürün doğrulama ve takip sistemi ise kısıtlı ürün grubunu kapsayacak şekilde planlanmıştır. Takviye edici gıdalar ,Bal , Enerji içecekleri ,Siyah çay , Bitkisel sıvı yağlar , Bebek mamaları, formülleri, ek gıdalar

Bu ürün gruplarının seçilmesini gerektiren nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Takviye edici gıdalarda ve özellikle zayıflama için tüketilenlerde sildenafil ve sibutramin maddelerinin kullanılması (Artık, 2018)
- Balda yapay tatlandırıcıların kullanılması, glikoz ve fruktoz şurubu katılması ve etiketlemesinde yaşanan hileler
- Balda yapay tatlandırıcıların kullanılması, glikoz ve fruktoz şurubu katılması ve etiketlemesinde yaşanan hileler (Artık, 2018)
- Bebek ve küçük çocukların beslenmesinde ek olarak kullanılan işlenmiş tahıl bazlı olan ve tahıl bazlı olmayan ek
- Bebek ve küçük çocukların beslenmesinde ek olarak kullanılan işlenmiş tahıl bazlı olan ve tahıl bazlı olmayan ek gıdaların tekniğine uygun ve hijyenik şekilde üretilmemesi ve bebek mamalarında melamin tespit edilmesi (Anonim, 2007).
- Siyah çayda aroma vericiler ve aroma verme özelliği taşıyan gıda bileşenleri kullanılması (Anonim, 2015).
- -Enerji içeceklerinde bileşen olarak etil alkol ilave edilmesi (Anonim, 2017a).
- Zeytinyağları ve pirina yağlarının kalite ve saflık kriterlerine uyulmaması, zeytinyağlarına (genellikle %10) kanola,
- -Zeytinyağları ve pirina yağlarının kalite ve saflık kriterlerine uyulmaması, zeytinyağlarına (genellikle %10) kanola, mısır veya ayçiçek yağı gibi daha ucuz yağlar karıştırılması, yüksek kaliteli ve ekonomik değerleri yüksek olan yağların ihracatta geri dönüşler yaşamasıdır (Çukur vd., 2011).

Sınırlı ürün için başlanması planlanan ÜDTS sistemi, üzerinden 5 yıl geçmesine rağmen halen uygulamaya alınamamıştır. Tehlike ve/veya tehdit oluşturan ürünleri geri toplamak üzere ileriye doğru izlenmesini sağlamak (Yılmaz ve Yılmaz,2017)

Dünyada uygulanan yöntemlerle kıyaslandığında yetersiz kalan izlenebilirlik yöntemlerimiz bize ne kaybettiriyor? Neler yapabiliriz? Sistemi iyileştirirsek neler kazandırabiliriz?

Yüksek risk oluşturan ve uygun dozlarda kullanılmaması durumunda halk sağlığını tehdit eden katkı maddelerinin; üretim, ithalat ve işletmelerde kullanımına dair yeterli kontrolün sağlanamaması ciddi bir sorundur. Taklit ve tağşişin tespitinde Türk Gıda Kodeksi'nde yer almayan parametrelerde kontrol ve analizlerin yapılamaması da etkin sonuç almayı geciktirmektedir. Bu durum taklit ve tağşişin yayılmasına ve tüketicilerin ürünlerde yapılan bu durumumu ayırt edememesine sebep olmaktadır. Üstelik, hileli ürünler iç pazarda olduğu gibi , dış pazar için de sorun teşkil etmektedir. Gıda güvenliği sorunları, tarım ve gıda ürünleri ihracatını kısıtlayabilmektedir.

Özellikle "Tarladan Sofraya Güvenli Gıda" denetimlerinin etkin ve şeffaf bir mekanizmayla yapılabilmesi ve yüksek riskli katkı maddelerinin kontrolü için denetim programlarının güncellenmesi , kontrol sıklığının artırılması ve nitelikli denetçi kadrosunun yetiştirilebilmesi ve yenilikçi eğitim programlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Türkiye'de gıda güvenliğini sağlamak için Dünya da ki izlenebilirlik çözümleri de dikkate alınarak çözümler üretilmesi gerekmektedir. İzlenebilirlik süreçlerinin ***herbir adımı kolay görüntülebilir(ulaşılabilir)*** hale getirilmelidir. Böylece ürünün başından geçen tüm süreçler hakkında bilgi verilebilecektir. Ayrıca bu sistemlerin kurulmasına tüm tüketicilerin talepkar olması sağlanmalıdır. Çünkü gıda güvenliği açısından, denetçi eğitimi kadar tüketicilerin eğitimi ve farkındalıklarının yükseltilmesi, denetim ve izlenebilirlik mekanizmasının vazgeçilmez öğelerinden biridir.

Sonuç olarak, izlenebilirlik süreçleri kurulmalı, iyileştirilmeli ve tüketicilerde de izlenebilirlik konusunda farkındalıklar arttırılmalıdır. Gıdaya uygulanan tüm kontrollerin kolay izlenebilir yöntemlerle paylaşılması gerekmektedir. İzlenebilirlik seviyesinin artması ürüne olan güveni arttıracak, Türk Malı nın dünya pazarındaki talebini arttıracaktır. Ayrıca, Avrupa da ve Dünya da gıda kaynaklı hastalıkların dataları temin edebilirken Türkiye de bu tarz bir data olmaması, ülkemizin genel durumu ve diğer ülkelerle kıyaslanma ve değerlendirmesinin yapılamamasına neden olmaktadır. Bu da sorunların kök nedenine inmemizi engellemekte ve çözüm üretilmesini geciktirmektedir. Artan kronik hastalıklarının gıda kökenli olup olmadığının irdelenememesi çok önemli bir sorundur. Gıda sektöründeki izlenebilirlik datası sağlık sektörü ile senkronize edilerek gıda kaynaklı hastalıkların nedeni, takibi, süreç yönetimleri de sağlanabilmelidir.

İzlenebilirliği sağlanmış, güven oluşturulmuş, marka değeri arttırılmış, olası sağlık riski dünya pazarındaki rakiplere göre kıyaslanmış Türk Mallarının, artık dünya pazarında hakettiği yere gelmesi sağlanacaktır. Dünya Markası olmamızın önündeki tek engel izlenebilirlik sorunlarımızdır.

KAYNAKLAR

[1] Anonim 2018a. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 2018 Yılı Bütçe Sunumu. 168s.
[2] Anonim 2018b. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 2017 Faaliyet Raporu. 84s.
[3] Banterle, A., Stranieri, S., 2008, The Consequences of Voluntary Traceability System for Supply Chain Relationships, An Application Of Transaction Cost Economics, Food Policy, Vol.33, 560-569p.
[4] Buzbaş N., 2010, Türkiye ve AB'de Gıda Güvenliği: Ortaklığın Sinerjisi, 28. Türkiye-AB Karma İstişare Komitesi Toplantısı, Edinburg, 17s.
[5] Caswell, J.A., Noelke, C.M., Mojduszka, E.M., 2002, Unifying Two Frameworks for Analyzing Quality and Quality Assurance for Food Products, Food Trade and Consumer Demand for Quality, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp.43-61.
[6] Cebeci, A., Güneş, E., 2017, Türkiye ve Avrupa'daki Tüketicilerin Gıda Etiketi Okuma Tutumlarını Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 6(4):261-267s.
[7] Cebeci, Z., 2006, Gıda İzlenebilirliğinde Bilgi Teknolojileri, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ulusal Tarım Kurultayı, 15-17 Kasım, Adana, 189-195s.
[8] Cebeci, Z., Kutlu, H.R., 2009, Yumurta İzlenebilirliği İçin Kavramsal Bir Sistem Tasarımı, Tavukçuluk Araştırma Dergisi, (1)8:26-33s.
[9] Cebeci, Z., 2014, Geleneksel Gıdalar İçin Bilişim Teknolojilerine Dayalı İzlenebilirlik Sistemleri, 4. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, Adana, 29-34s.
[10] Çakır, İ., 2016, Avrupa Birliği Entegrasyon Sürecinde Gıda Güvenliğinde Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Türkiye 12. Gıda Kongresi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Edirne, 31s.
[11] Çetin, A., 2014, Gıda İzlenebilirliğinde Bilişim Teknolojisinin Kullanımı: Aydın İli Zeytin ve İncir İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Aydın, 107s.
[12] Çukur, F., Demirbaş, N., Çukur, T., Dayan, V., Uzun, A.C., 2011, Zeytinyağı Tesislerinde Gıda Güvenliği Ve Kalite Yönetim Sistemlerinin Uygulanmasında Ortaya Çıkan Sorunlar Ve Öneriler: Milas İlçesi Örneği, Zeytin Bilimi Dergisi, 2(1):31-36s.
[13] Çukur, F., Yücel, B., Demirbaş, N., 2016, AB ve Türkiye'de Arıcılık Faaliyetine Yönelik Gıda Güvenliği Uygulamaları: Sorunlar ve Öneriler, Tarım Ekonomisi Dergisi, 22(2):87-95s.
[14] Erden, C., 2012, Türkiye'de Gıda Güvenliğinde Karşılaşılan Sorunlar ve Gıda Güvenliğinin Benimsenmesinde Eğitim Yöntemlerinin Uygulanabilirliği, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 81s.
[15] FAO and WHO, 2015, Codex Alimentarius Commission Procedural Manual, Twenty-Fourth Edition, ISBN 978 92-5-108928-6, Rome, 231p.
[16] Gıda Mühendisleri Odası, 2013, Türkiye'de resmi gıda güvenliği denetimleri çalıştayı, Gıda Mühendisliği Dergisi, 38, ss. 34-47. Kalkınma Bakanlığı, 2014, Tarımsal Yapıda Etkinlik ve Gıda Güvenliği, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 96s.
[17] Kantaroğlu M., Demirbaş N.,Türkiye'de Gıda Güvenliği Açısından Ürün Doğrulama ve Takip Sisteminin (ÜDTS) Değerlendirilmesi Mart 2019
[18] Koç, A., Bölük,G., Aşçı,S., 2008, Gıda Güvenliği ve Kalite Standartlarının Gıda İmalat Sanayinde Yoğunlaşmaya Etkisi, Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, (16):83-115s.
[19] Koç, E., 2014, Gıda Güvenliği İdarenin Yetkileri, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Hukuku Anabilim Dalı Kamu Hukuku Programı, İzmir, 320s.
[20] Liao, P.A., Chang, H.H., Chang, C.Y., 2011, Why is the Food Traceability System Unsuccessful in Taiwan? Empirical Evidence from a National Survey of Fruit and Vegetable Farmers , Food Policy, Vol.36, pp. 686-693.

[21] Onurlubaş, E., 2015, Tüketicilerin Gıda Güvenliği Konusunda Bilinç Düzeylerinin Ölçülmesi: Tokat İli Örneği, Basılmamış Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Bölümü, Ankara, 132s.
[22] Opara, L.U., 2003, Traceability in Agriculture and Food Supply Chain: A Review Of Basic Concepts, Technological İmplications, and Future Prospects, Food, Agriculture & Environment, 1(1):101-106.
[23] Oral, E., 2009, Tarım Ürünlerinin Gıda Güvenliği Bilgi Sistemleri İle İzlenebilirliği, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 85s.
[24] Özbay, D., Şireli, S., Tansel, U., 2015, Gıdalarda İzlenebilirlik, Gıda Dergisi, (40)5:1-8.
[25] RASFF, 2018, European Commission, 2018, The Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) 2017 Annual Report, 53p. Sanchez, M., Sanjuan, A.I., Akl, G., 2001, The Influence of Experience in Consumption and Personal Attitudes on the Purchase of Lamb and Beef, 71st EAAE Seminar, Zaragoza-Spain.
[26] Saner, S., Ataman, P., 2011, Gıda zincirinde izlenebilirlik, gıda güvenliği, Gıda Güvenliği Dergisi, 5(3):48-50.
[27] Sıkı, H.T., 2011, Hatay'da Süt Sektöründe İzlenebilirliğin Belirlenmesi, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 52s.
[28] Songur, C., 2009, Gıda Güvenliği Yönetim Sisteminin Kalite Maliyetlerine Olan Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Uluslararası Kalite Yönetim Bilim Dalı, İstanbul, 106s. Strateji Geliştirme Başkanlığı, 2014, Ürün Doğrulama ve Takip Sistemi Hakkında Soru Önergesi (Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanlığına), Sayı 54045643/610-529, Ankara, 4s.
[29] Tayyar, M., 2014, Güvenli gıda gereksinimi, Dünya Gıda Dergisi, 2014(9):34-37.
[30] TİM, 2016, Tarım Raporu, Türkiye İhracatçılar Meclisi, İstanbul, 160s.
[31] Tosun, D., Demirbaş, N., 2012, Türkiye'de Kırmızı Et ve Et Ürünleri Sanayiinde Gıda Güvenliği Sorunları ve Öneriler, U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(26):93-101.
[32] XI. IBANESS Congress Series – Tekirdag / Turkey
[33] XI. IBANESS Kongreler Serisi – Tekirdağ / Türkiye March 9-10, 2019 9-10 Mart 2019
[34] TOBB, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Global Standartlar Merkezi, 2004, Tarım Sektöründe İzlenebilirlik, EAN.UCC Sistemi Kullanıcı Kılavuzu, Ankara, 22s.
[35] Verdenius, F., 2006, Using Traceability Systems to Optimise Business Performance Improving Traceability in Food Processing and Distribution, Woodhead, 1th Edition, Cambridge, 252p.
[36] Yılmaz, İ., Yılmaz, E., 2016, Gıda Sektöründe Yeni Bir Başlangıç; ÜDTS (Ürün Doğrulama ve Takip Sistemi), XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Isparta, s.2075-2078.
[37] Yılmaz, S., Yılmaz, İ., 2017, Avrupa Birliği Sürecinde Gıda Sektöründe İzlenebilirlik ve Türkiye Uygulamaları, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 243-253s.
[38] Yüksel, B., Olhan E.,İçel, C.D., 2011, Avrupa Birliği'nde Çapraz Uyum ve Türkiye İçin Öneriler, Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi, 10(1):33-65s.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] Anonim 2007. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Bebek ve Küçük Çocuk Ek Gıdaları Tebliği Kanunu. Sayı:26687. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/11/20071101-10.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)
[2] Anonim 2008. T.C. Resmi Gazete. Gıdaların Üretimi, Tüketimi ve Denetlenmesine Dair Kanun Hükmünde Kararnamenin Değiştirilerek Kabulü Hakkında Kanun. Sayı:27009. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/09/20080926-4.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)
[3] Anonim 2010. T.C. Resmi Gazete. Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu. Sayı: 27610. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100613-12.htm (Erişim tarihi: 7 Ocak 2019)
[4] Anonim 2012a. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği Kanunu. Sayı: 28366. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/07/20120727-12.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)
[5] -Anonim 2012b. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Bitki Adı İle Anılan Yağlar Tebliği Kanunu. Sayı: 28262. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/04/20120412-7.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)

[6] Anonim 2013. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği Kanunu. Sayı:28737. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/08/20130816-16.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)
[7] Anonim 2014. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Bebek Formülleri Tebliği Kanunu. Sayı:29089.http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/08/20140815-13.htm (Erişim tarihi:24 Aralık 2018)
[8] Anonim 2015. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Çay Tebliği Kanunu. Sayı: 29389. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/06/20150617-4.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)
[9] Anonim 2017a. T.C. Resmi Gazete. Enerji İçecekleri Tebliği Kanunu. Sayı: 30110. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170930-23.htm (Erişim tarihi:24 Aralık 2018)
[10] Anonim 2017b. T.C. Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi Zeytinyağı ve Prina Yağı Tebliği Kanunu. Sayı: 30183. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170917-9.htm (Erişim tarihi: 24 Aralık 2018)
[11] Artık, N., 2018, "Gıdalarda Taklit ve Tağşiş", https://www.gidahatti.com/gidalarda-taklit-tagsis-70094/ (Erişim tarihi: 30 Aralık 2018)
[12] -Çopur, Ö.U., Yonak, S., Şenkoyuncu, A., 2014, Gıda Güvenliği ve Denetim Sistemi, http://www.mehmetaytaccinar.com/Upload/dosya-pdf/01-a56d8aba-93fd-468b-9a48-aa6caa4e6621.pdf. (Erişim tarihi: 22 Aralık 2018) Gıda Gündemi, 2018, "Karekoddan Sonra ÜDTS", http://www.gidagundemi.com/gida-gundemi/turkiye/karekoddan-sonra-udts-h1720.html (Erişim tarihi: 30 Aralık 2018)
[13] Gıda Hattı, 2018, "ÜDTS Uygulaması Hakkında Bilgilendirme", https://www.gidahatti.com/udts-uygulamasinda-son-dakika-92144/ (Erişim tarihi: 28 Aralık 2018).
[14] Gıda Üretiminde Etik, 2016, http://docplayer.biz.tr/7105784-Gida-uretiminde-etik-taklitvetagsis.html (Erişim tarihi: 5 Aralık 2018)
[15] GKGM, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, 2018, "Kasım 2018 Raporu", https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/GKGM.pdf (Erişim tarihi: 20 Aralık 2018)
[16] İktisadi Araştırmalar Vakfı, 2006, "Türkiye'de Gıda Sektörünün Analizi ve Sorunları", https://www.iav.org.tr/yonetim/dosya/seminer/gida-sektorunun-analizi.pdf (Erişim tarihi: 20 Aralık 2018)
[17] Tarımsal Ürün İzlenebilirlik Sistemi, 2014, "Tarımsal Ürün İzlenebilirlik Sistemi", http://www.etarim.org/DTKFARMER/index.htm. (Erişim tarihi: 29 Aralık 2018)
[18] Ürün Doğrulama ve Takip Sistemi, 2014, "ÜDTS SİSTEMİ", https://www.teis.org.tr/2014/09/03/urun-dogrulama-ve-takip-sistemi-udts/ (Erişim tarihi: 30 Aralık 2018)

ÖZGEÇMİŞ

Sibel Şimşek YAZICI

1977 yılında İstanbul'da doğan Sibel Şimşek YAZICI, 1999 yılında İTÜ Kimya Mühendisliği bölümünü tamamlayıp, 6 yıl satış-pazarlama ağırlıklı çalıştıktan sonra, 2005 yılında Yeditepe Üniversitesi Satınalma Departmanı'n da göreve başlamıştır. Sektörel tecrübesi, satış ve satınalmayı bilmesi, laboratuvar tecrübesi olması nedeniyle 2012 yılında Yeditepe Üniversitesi Ar-Ge ve Analiz Merkez Laboratuvarları'nı kurmak üzere görevlendirildi. Proje-kurulum, kalite yönetimi, yetkilendirme ve satış pazarlama organizasyonunu kurduğu bu göreve Laboratuvar Müdürü olarak başladı. Daha sonra Laboratuvarlar Grup Müdürü, Genel Müdür Yardımcısı ve en son 2018 yılında aldığı terfi ile Genel Müdür olarak devam etmektedir.

İş hayatıyla birlikte, eğitim hayatını da devam ettirmiş, Yeditepe Üniversitesi'nde İşletme Master'ı yapıp, daha sonra da Kimya Mühendisliği master ve doktora programını tamamlayarak, tez aşamasına gelmiştir.

Evli olup iki çocuğu bulunmaktadır.

EVSEL SU TÜKETİMİ AKIŞ DİNAMİKLERİ ÜZERİNE İLK SONUÇLAR

Bülent ÜNSAL
Başak AKSELLİ

ÖZET

Ev tipi su sayaçlarının test ve kalibrasyonları sabit akış koşullarında yapılmaktadır, ancak gerçek kullanım koşullarında akış her zaman sabit değildir ve akış dinamikleri hakkında çok fazla şey bilinmemektedir. Bu bildiride ev tipi sayaçların, gerçek kulanım koşullarında maruz kaldığı akış koşullarını tespit için hanelerde yapılan anlık debi ölçümlerinin sonuçları verilmektedir. Elde edilen sonuçlardan 3200 su tüketim olayı çıkarıldı. Daha sonra her bir olay, yükselme süresi, düşme süresi, genlik, olay süresi ve tüketilen su hacmi gibi çeşitli bilgiler elde etmek için analiz edildi. Bu sonuçlar olay sayısına göre yükselme ve düşme dağılımlarının çoğunlukla 100 ila 300 ms civarında olduğunu göstermiştir. Ve ayrıca, toplam akış süresinin %5'inden fazlasında sayaç dinamik akış koşullarına maruz kalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Evsel su sayacı, su tüketimi, akış dinamikleri.

ABSTRACT

Household water meters are tested/calibrated at steady flow conditions however, during their actual usage, flow conditions are not always steady and not so much known about the flow dynamics. The present paper reports about instantaneous flow rate measurements conducted at households to find out what kind of flow rate profiles exist through household meters. From these measurements, 3200 single water consumption events were extracted. Then each single event was analyzed to obtain various information such as rise time, fall time, amplitude, event duration and consumed water volume. These results showed that the distributions of rise and fall times with respect to number of events are mostly around 100 to 300 ms. And more than 5% of the flow time, the meter is under dynamic flow conditions.

Key Words: Household water meters, water consumption, flow dynamics.

1. GİRİŞ

OIML R49 [1] ve ISO 4064 [2] 'e göre, ev tüketimi için kullanılan su sayaçları laboratuvar koşullarında sabit debilerde test veya kalibre edilir. Öte yandan, hanelerde yapılan ölçümler [3-5], su sayaçlarının çok değişken debilere maruz kaldığını göstermiştir. Ayrıca, dağıtım boru hatları içindeki içme suyunda bulunan parçacıklar ve suyun inorganik bileşimi de [6-8] mevcut yasal metroloji gereklilikleri (örneğin tip onayı testleri) tarafından dikkate alınmaz. MetroWaMet (Gerçek Dünya Evsel Su Sayacı Metrolojisi) adı verilen yeni başlatılan bir EMPIR (Avrupa Yenilik ve Araştırma Metroloji Programı) projesi [9], evsel su sayacı performansının hâlihazırda yapıldığı gibi laboratuar koşullarında değil gerçeğe yakın bir şekilde karakterizasyonunu sağlayacak bir metrolojik altyapı oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, evsel su tüketiminin akış dinamiklerini analiz etmek için MetroWaMet projesi kapsamında yürütülmüştür.

Literatürde, hanelerde yapılan ölçüm sonuçlarına ilişkin birkaç rapor vardır ve bu tür çalışmaların kısa bir özeti [4, 5]'te bulunabilir. Bu çalışmalarda, araştırmacılar çoğunlukla kullanım amacına uygun tüketim modellerini belirlemekle ilgilenmektedirler. Buradaki genel amaç, akıllı sayaçlarla kullanılacak algoritmaları geliştirmek ve kullanıcılara ve su dağıtımcılarına ayrıntılı su tüketimi istatistikleri sağlamaktır. Bu çalışmaların bir kısmı hanelerde yüksek çözünürlüklü sayaçlarla yapılmasına rağmen, akış dinamiği analizleri yapılmamıştır.

Schumann ve diğ. [3], 300 hanede yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların bir özetini rapor etmiştir. Bu çalışmada, ölçümlerin nasıl yapıldığı ve ölçümler için kullanılan debimetrelerin teknik tanımları hakkında hiçbir bilgi verilmemiştir (örneğin, zaman çözünürlüğü). Ayrıca akış dinamiğinin zaman ölçekleri de yapılmamıştır. Öte yandan, yazarlar bazı örnek debi değişimlerini ve debi olasılık dağılımlarını göstermiştir.

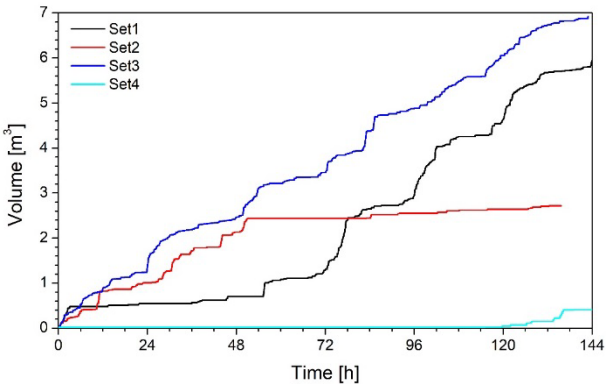
Bu bildiride, hanelerde su tüketimi sırasındaki akış dinamiklerini bulmak için hanelerde yapılan test ölçümleri anlatılmaktadır. Bu amaçla, 12 ms'ye kadar zaman çözünürlüğüne ulaşmak için elektronik bir düzenek ilave edilerek özel bir su sayacı geliştirilmiştir. Anlık değişiklikleri doğru bir şekilde ölçmek için bu zaman çözünürlüğü gerekliydi.

2. ÖLÇÜMLER

Standart bir sayaç bazı elektronik çeviriciler eklenerek, 60 puls/L gibi yüksek zaman çözünürlüğü elde edecek şekilde geliştirildi. Bu modifiye edilmiş sayaç ile 12 ms'ye kadar zaman çözünürlüğü 5040 L/h debide mümkün olmuştur. Darbeleri okumak ve Şekil 1'de gösterildiği gibi darbe verilerini depolamak için elektronikler geliştirildi. Bu bağımsız sistem, hanede var olan su sayacına seri olarak monte edilmiştir. Şekil 1'de gösterilen pil, tek seferde 6 güne kadar kesintisiz ölçüme izin vermektedir.

Şekil 1. Ölçümlerde kullanılan su sayacı ve elektronik kısmı.

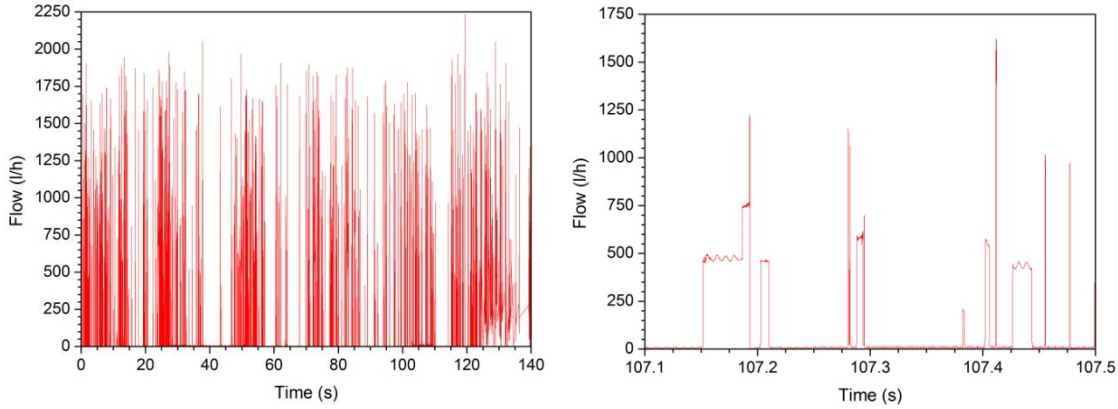
Şekil 2, dört farklı hanede yapılan dört ölçüm kümesinden elde edilen ham verileri göstermektedir. Resimden görülebileceği gibi, ölçümler sırasında, hanelerin ikisi (set2 ve set4) ölçüm zamanın bir kısmında ikamet etmemiştir.



Şekil 2. Ham veriler.

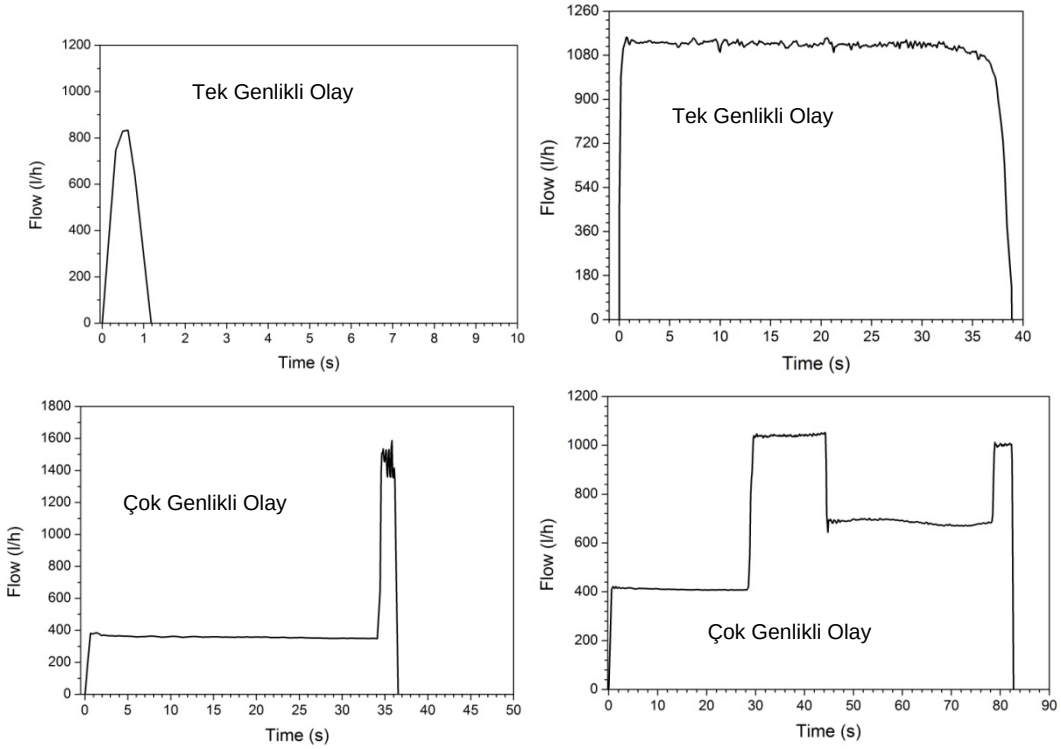
3. AKIŞ DİNAMİKLERİNİN ÇIKARILMASI

Şekil 2'de gösterilen ham veriler, anlık akış debisi bilgisini elde etmek için işlenmiş ve set1'e ait örnek Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekilde farklı zaman aralıklarında meydana gelen su tüketim olayları mevcuttur. Bu şekilde ayrıca su tüketim olaylarını yakından görmek için daha kısa zaman aralığındaki bir akış profili de görülmektedir.



Şekil 3. Anlık debi değişim örnekleri.

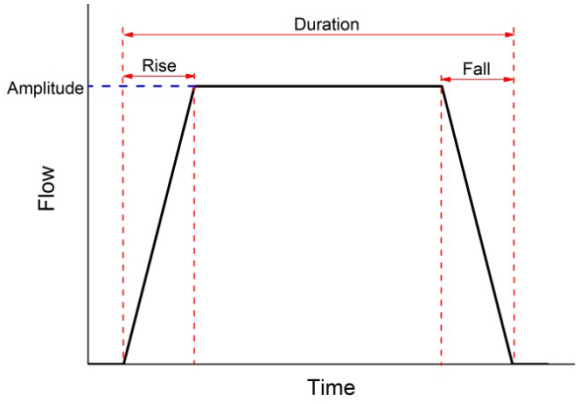
Şekil 4'te, anlık debi değişimlerinden elde edilen, bazı su tüketim olayı örnekleri gösterilmektedir. Bu olaylar bazı su tüketim aktivitelerine (örn. çamaşır makinesi, tuvalet, musluk kullanımları gibi) karşılık gelir ve literatürde bilinen bazı modellere dayanarak, ölçülen akış olaylarından tüketim faaliyetlerini tanımlamak için çeşitli yaklaşımlar vardır[4, 5]. Bu çalışmada, hane halkı su tüketiminin akış dinamiklerini karakterize etmek amaçlandığı için tüketim olaylarının aktivitelere göre analizleri yapılmamıştır.



Şekil 4. Akış olayı örnekleri.

Çıkarılan akış olayları, Şekil 4'te gösterildiği gibi tek genlikli ve çok genlikli olaylar olarak gruplandırılabilir. Tek genlikli olaylar için, aşağıda verilen parametreler Şekil 5'te gösterildiği gibi karakterizasyon için tanımlanabilir;

1. Etkinlik süresi
2. Yükselme zamanı (İng. rise time)
3. Düşme zamanı (İng. fall time)
4. Etkinlik hacmi (İng. event volume)
5. Yükseliş hacmi (İng. rise volume)
6. Düşme hacmi (İng. fall volume)
7. Genlik (İng. amplitude)



Şekil 5. Tek genlikli bir tüketim olayının karakteristik parametreleri.

3200 toplam tüketim olayı için bu parametrelerin her biri analiz edilmiş ve elde edilen sonuçların genel bir özeti Tablo 1'de verilmiştir.

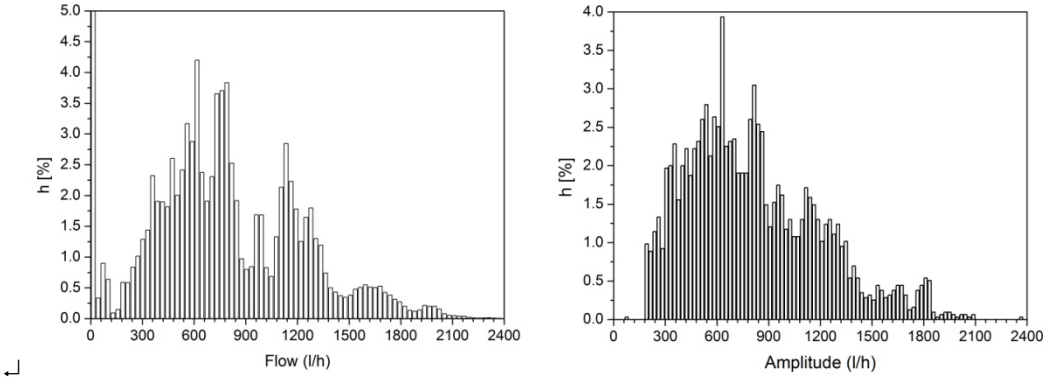
Tablo 1. Analizi sonuçları.

		Set1	Set2	Set3	Set4	Total
Events	#	893	565	1655	87	3200
Multi Amplitude Events	# - %	164 - 18.4	55 - 9.7	218 - 13.2	9 - 10.3	446 - 13.9
Volume (consumption)	m^3	5.9	2.7	6.0	0.53	15.1
Duration	h	6.71	3.59	10.14	0.6	21.05
Total Rise Time	%	1.4	1.94	2.04	2.36	1.83
Total Fall Time	%	2.2	2.81	2.12	1.64	2.25
Total Rise Volume	%	1.24	2.18	2.28	2.8	1.87
Total Fall Volume	%	2.47	3.45	3.33	1.82	2.96
Volume / Event	l	6.63	4.71	3.62	6.06	4.72
Duration / Event	s	27.05	22.85	22.07	24.99	23.68
Rise Time / Event	s	0.379	0.443	0.450	0.590	0.433
Fall Time / Event	s	0.595	0.642	0.468	0.410	0.533

Tablo 1'de verildiği gibi; 3200 olayın 446'sı çok genlikli olaydır, yani olayların yaklaşık %86'sı tek genliklidir. Toplam akış süresi 21 saattir ve debinin yükseldiği veya düşmekte olduğu zaman, toplam sürenin yaklaşık % 4'üdür. Bu, toplam akış süresinin% 4'ünde akışın kararsız olduğu anlamına gelir. Çok genlikli olaylar göz önüne alındığında, kararsız zaman, toplam akış zamanının% 5'inden fazla olmaktadır.

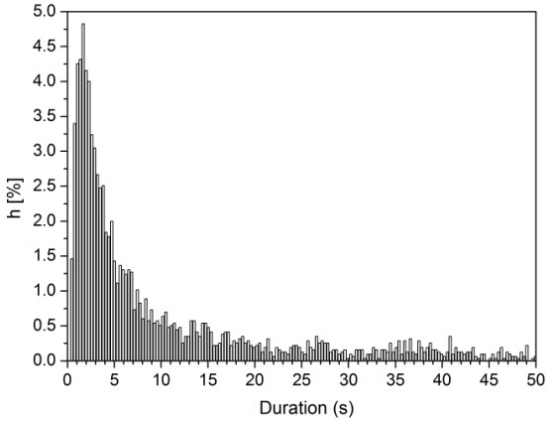
Toplam ölçülen hacim yaklaşık 15 m^3 ve bu hacmin yaklaşık% 5'i civarında akış debisi yükseliyor veya düşüyor. Çok genlikli olaylar göz önüne alındığında, kararsız koşullar altında ölçülen hacim toplam hacmin% 6,5'inden fazla olmaktadır.

Tablo 1'de ayrıca olay başına bazı ortalama bilgiler verilmiştir. Bunlar; ortalama hacim 4,7 L/olay, süre 23 s/olay, yükselme süresi 433 ms/olay ve düşme süresi 533 ms/olay.



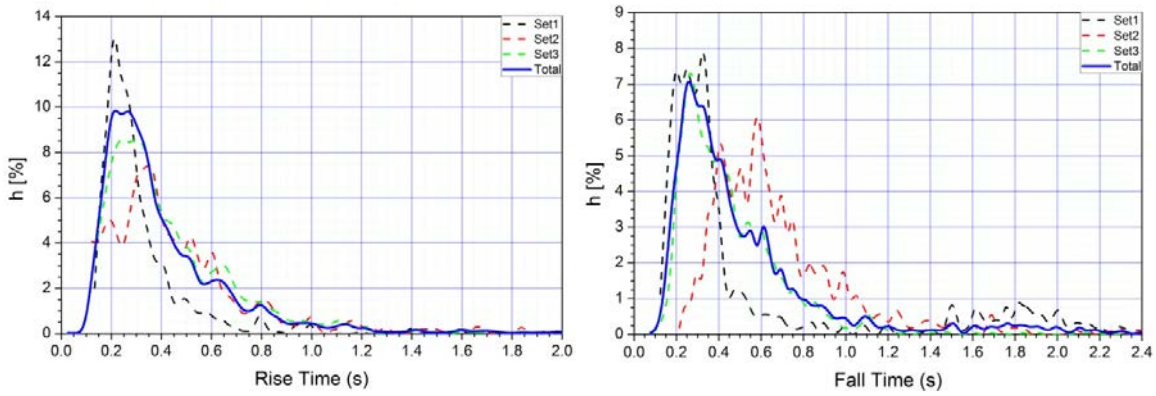
Şekil 6. Ölçülen debi ve çıkarılan genliklerin dağılımı.

Debilerin ve genliklerin dağılımı, Şekil 6'da verilmiştir. Buradan görüleceği üzere, akış debisinin hem ölçülen akış debisi hem de akış olayı genlikleri için çoğunlukla 200 ila 1800 L/h arasında değiştiği görülmektedir. Söz konusu hanelerde kullanılan su sayacının maksimum debisinin 3125 L/h ve nominal debisinin 2500 L/h olduğunu ancak gerçekte karşılaşılan debiden daha yüksek olduğunu ve bu sayaçların bu sabit debi değerlerinde test veya kalibre edildiğini not etmek önemlidir.



Şekil 7. Akış olay sürelerinin dağılımı.

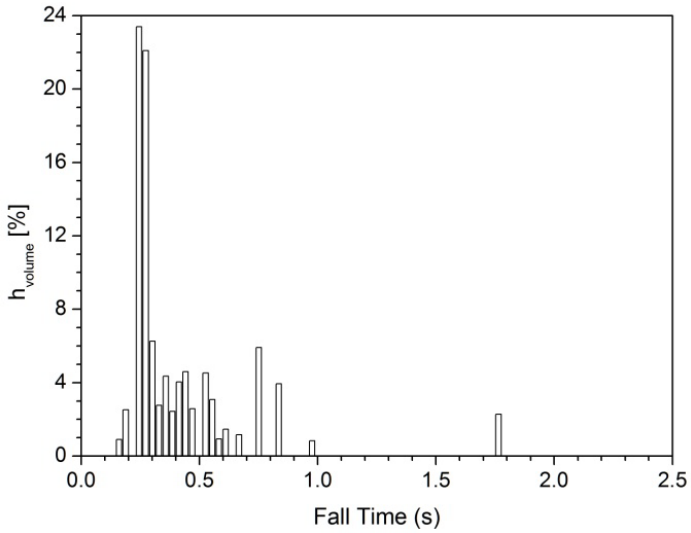
Şekil 7 olay sürelerinin dağılımını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, olayların önemli bir kısmı 10 saniyeden az sürüyor ve en yüksek dağılım değerleri birkaç saniyedir. Bu şekle göre; olayların %46'sı 0,5 ila 5 s sürmektedir ve bunların% 62'si 0,5 ila 10 s arasında bir süreye sahiptir.



Şekil 8. Yükselme ve düşme zamanlarının dağılımı.

Her set ve ayrıca çıkarılan tüm olaylar için yükseliş ve düşme süresi dağılımları Şekil 8'de verilmiştir. Setler arasında özellikle düşme süresi dağılımı için bazı farklılıklar vardır. Ancak yine de set2 ölçümü sırasında evde her gün bulunulmadığına dikkat edilmelidir. Diğer taraftan, toplam dağılım göz önüne alındığında yükselme ve düşme süresi dağılımları benzerdir. Her iki dağılım da çoğunlukla 0,1 ila 1,2 s arasındadır ve olayların çoğunluğu için 0,2 ila 0,3 s arasındadır.

Akış süresi ve toplam hacim dikkate alındığında hangi düşme ve yükselme süresi değerlerinin önemli olduğunu bilmek önemlidir. Bu bilgiyi elde etmek için, Şekil 9'da gösterildiği gibi çapraz dağılımlar yapılmıştır. Bu şekil, belirli bir yükselme zaman aralığı olan olaylar için toplam olay hacmini göstermektedir. Tablo 2 ve 3'te çapraz dağılımlara ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 9. Toplam olay hacmine karşı düşme zamanının çapraz dağılımı.

Tablo 2. Yükselme zaman aralıkları ve karşılık gelen dağılım yüzdeleri.

Rise time interval [s]	h[%]	$h_{duration}$[%]	h_{volume}[%]
0.05 – 0.2	10.1	8.15	≈ 0.01
0.2 – 0.4	57.5	43.12	54.94
0.4 – 0.6	15.2	23.09	17.22
0.6 – 0.8	9.6	13.45	8.71
0.8 – 1	3.4	3.54	0.68
1 – 3.5	4.25	8.64	18.45

Tablo 3. Düşüş zamanı aralıkları ve karşılık gelen dağılım yüzdeleri.

Fall time interval [s]	h[%]	$h_{duration}$[%]	h_{volume}[%]
0.05 – 0.2	7.62	4.2	3.42
0.2 – 0.4	42.6	34.56	61.3
0.4 – 0.6	23.02	24.89	19.72
0.6 – 0.8	12.73	16.67	8.54
0.8 – 1	4.95	5.21	4.75
1 – 3.5	9.08	14.46	2.27

Tablo 2, 3 ve Şekil 9'dan, toplam olay süresi ve hacmine göre 0,2 ile 0,6 s arasındaki düşme ve düşme sürelerine en çok rastlanıldığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada dört hanede anlık debi ölçümleri yapılmış ve her ölçüm yaklaşık bir hafta sürmüştür. İşlenen veriler, tek ve çok genlikli olarak, iki farklı su tüketim olayının var olduğunu göstermiştir. Toplam tespit edilen olay sayısı 3200 ve bunların % 14'ü çok genlikli olaylardır.

Her bir su tüketim olayı; yükselme süresi, düşme süresi, genlik, olay süresi ve tüketilen su hacmi parametreleri açısından analiz edildi ve sonuçlar verildi. Yapılan bu analizler neticesinde, elde edilen en önemli sonuçlardan biri debinin sabit (kararlı/statik akış) kaldığı sürenin sabit kalmadığı (kararsız/dinamik akış) süreye oranın önemli seviyelerde olduğu görülmesidir. Çünkü su sayaçları sadece kararlı akış koşullarında test ve kalibrasyon edilmektedir ve kararsız koşullardaki davranış ve performansları konusunda bir bilgi yoktur. Bu çalışmanın yapıldığı AB projesi MetroWaMet kapsamında hedeflenen önemli amaçlardan biri evsel su sayaçlarının gerçek kullanım koşulları altındaki performanslarının belirlenmesidir. Şekil 5'te gösterildiği üzere, bir su tüketim olayı için kararsız akış zamanı, akış debisinin sıfır akıştan bir genliğe ulaştığı yükselme zamanı ve daha sonra bir miktar akış zamanından sonra akış debisinin tekrar sıfıra düşme zamanı olarak tanımlanabilir. Tüm olaylar için, bu kararsız süre toplam akış süresinin% 5'i ve toplam ölçülen hacmin% 6,5'i kadardır.

Mevcut ölçüm sonuçlarından, toplam hacmin %70 ila 80'ine karşılık gelen olaylar, 0,2 ile 0,6 s aralığında yükselme ve düşme sürelerine sahiptir. Bu nedenle, kararsız akış koşulları için geliştirilecek test sistemlerinin, Şekil 6'da verilen genlik/debi aralığında en az 0,2 s yükselme ve düşme süresi üretebilmesi gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] OIML R 49, Water meters for cold potable water and hot water, 2013.
[2] ISO 4064, Water meters for cold potable water and hot water, 2014.
[3] SCHUMANN, D., WENDT, G., TRÄNCKNER, J., “Development of a calibration process for water meters close to real world conditions”, FLOMEKO 2016, Sydney, Australia, September 26-29, 2016.
[4] ELLERT, B., POPOWICH, F., MAKONIN, S., “Appliance Water Disaggregation via Non-Intrusive Load Monitoring (NILM)”, EAI International Conference on Big Data and Analytics for Smart Cities (BigDASC) 2015.
[5] NGUYEN, K.A., ZHANG, H., STEWART, R.A., “Development of an intelligent model to categorize residential water end use events”, Journal of Hydro-environment Research, ISSN1570-6443, 2013.
[6] VREEBURG, JHG., SCHIPPERS, D., VERBERK, JQJC., Van Dijk, C., “Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system”, Water Res., 42(16), 4233-4242, 2008.
[7] BANKS, D., BIRKE, M., FLEM, B., REIMANN, C., “Inorganic chemical quality of European tap-water: 1. Distribution of parameters and regulatory compliance”, Appl. Geochem., 59, 200-210,2015.
[8] FLEM, B., REIMANN, C., BIRKE, M., BANKS, D., FILZMOSER, P., FRENGSTAD, B., “Inorganic chemical quality of European tap-water: 2. Geographical distribution”, Appl. Geochem., 59, 211-224, 2015.
[9] https://www.ptb.de/empir2018/metrowamet/the-project/

ÖZGEÇMİŞ

Bülent ÜNSAL

1975 yılı Ankara doğumludur. Makine mühendisliği lisans eğitimini 1999 yılında Çukurova üniversitesinde tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimini Kimya Mühendisliği alanında Almanya’da bulunan Erlangen-Nürnberg Üniversitesinde 1999-2002 yılları arasında yapmıştır. Hemen sonrasında aynı üniversitenin Akışkanlar Mekaniği Enstitüsünde, zamana bağlı akışlar konusunda, doktora çalışmalarına başlamıştır. 2008 yılında tamamladığı doktora çalışmalarına paralel olarak aynı zamanda tam zamanlı araştırmacı olarak çalışmış ve çeşitli endüstriyel ArGe projelerinde görev almıştır. 2007-2009 yılları arasında Almanya’da bulunan FMP-Technology GmbH şirketinde çalışmış. 2009 yılında Türkiye’ye geri dönerek önce TÜBİTAK SAGE ve bir yıl sonra TÜBİTAK UME de çalışmaya başlamıştır. Halen teknik müdür yardımcısı olarak TÜBİTAK UME’de çalışmaktadır.

Başak AKSELLİ

1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yüksek lisansını, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği'nde 1997 yılında tamamlamıştır. 1995-1997 yıllarında Çardak Gıda Sanayi'nde aynı yıl Fako İlaç Hammaddeleri Fabrikası'nda çalışmış ve daha sonra TÜBİTAK UME'de Kimyasal Metroloji Bölümü'nde araştırmacı olarak işe başlamıştır. 1998 başında TÜBİTAK UME'de Akışkanlar Laboratuarı'nın kurulumu sırasında gaz ve su debisi ölçüm sistemlerinin kurulması, geliştirilmesi ve izlenebilirliklerinin sağlanması için görev almıştır. 2016 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği alanında doktorasını tamamlamıştır. Halen Akışkanlar Laboratuarı Sorumlusu olarak TÜBİTAK UME'de çalışmaktadır.

TÜRKİYE'DE KESİNLİK TEKNOLOJİLERİ EĞİTİM PROGRAMLARININ GELİŞTİRİLMESİ

B. Koray TUNÇALP
Samet Burçin AYDOĞMUŞ

ÖZET

Bu çalışmada, dünyada yüksek teknolojili ürün üretmenin temelini oluşturan kesinlik (hassasiyet) mühendisliği alanında ülkemizin mevcut durumunun yanında konuyla ilgili ön lisans, lisans ve lisansüstü eğitim seviyelerinde yapılması gerekenler üzerinde durulmuştur. İleri teknolojiye sahip ülkelerin ekonomik zorluklar yaşamamasının temeline baktığımızda katma değeri yüksek ürünleri üretmedeki becerileri ve bu becerilere sahip personel kaynağı net şekilde görülmektedir. Gelir seviyesi en yüksek ülkelerden Almanya, Japonya ve İsviçre; mekatronik ve mekanik sistemler, kalibrasyon, hassas ürünler konusunda oldukça önemli yetkinliklere sahiptirler. Ülkemizde UME; TEİ, Aselsan, Roketsan, TUSAŞ, Havelsan, Zorlu Teknoloji, Bayraktar Makine gibi yüksek teknolojili ürünler ve hizmetler üreten kurumların varlığı bilinmektedir. Günümüzde bir ülkenin en önemli varlığı kaliteli insan gücü olduğuna göre ileri teknolojinin temelini oluşturan kesinlik teknolojisinde bugüne kadar neden yetkin insanlar yetiştirmediğimizde ayrı bir araştırma konusudur.

Anahtar Kelimeler: Kesinlik mühendisliği, Kesinlik teknikerliği, Yüksek öğretim, Hassasiyet, Kaliteli personel.

ABSTRACT

In this study, besides the current situation of our country in the field of precision engineering which forms the basis of producing high-tech products in the world, it is emphasized what needs to be done in associate, undergraduate and graduate education levels. When we look at the basis of the fact that countries with advanced technology do not experience economic difficulties, their skills in producing high value-added products and the resource of personnel with these skills are clearly seen. The countries with the highest income levels are Deutschland, Japan and Switzerland; mechatronics and mechanical systems, calibration, precision products are very important competencies. It is known that there are institutions producing high technology products and services such as TEI, Aselsan, UME, Roketsan, TAI, Havelsan, Zorlu Technology, Bayraktar Machine. Since the most important asset of a country today is quality manpower, it is a separate research topic in the sensitivity technology, which forms the basis of advanced technology, when we have not trained competence people so far.

Key Words: Precision engineering, Precision technician, Higher education, Precision, Qualified personnel.

1. GİRİŞ

Dünyada kesinlik mühendisliği felsefesi, 1930'lu yılların başına dayanmaktadır. Günümüzde Japon Kesinlik Mühendisliği Derneği (JSPE), Amerikan Kesinlik Mühendisliği Derneği (ASPE), Avrupa Kesinlik Mühendisliği ve Nanoteknoloji Derneği (EUSPEN) ve Uluslararası Üretim Araştırma Akademisi (CIRP) gibi bu mühendislik disiplininde bilinen meslek örgütleri kesinlik mühendisliği alanında önemli çalışmalar yapmaktadırlar. JSPE'nin ilk amacı, görevlerinden biri olan yüksek doğruluğu yakalayan hassas makineler üzerinde araştırma yapmaktı. O zamanlar imalat mühendisliği konusundaki kesinliğin uygunluğuna rağmen, bu konunun sistematik bir organizasyonu olmadığından, konuyla ilgili ders kitapları da bulunmuyordu, ancak eğitim olarak üniversitelerde ya da tesadüfen

çeşitli firmalarda okutulmuştu. Bununla birlikte, 1990'ların başında, Nakazawa'nın "Kesinlik Mühendisliğinin İlkeleri" başlıklı kitabı, yayınlandığında bu konuda kayda değer bir etki yarattı ve yüksek hassasiyetli makinelerin tasarım ve üretim prensiplerini açıkladı. Tamamen yüksek hassasiyetli makinelerin tasarımı ve geliştirilmesi ve kapsamlı yetenek kontrol sistemleri ile birlikte yüksek ultra kesinlikli üretim işlemlerine bağlı olan geniş bir ileri teknoloji ürünleri yelpazesi bulunmaktadır. Günümüzde, yüksek kesinlikli ürünleri ucuz ve hızlı bir şekilde üretmeye önem verildiği görülmektedir. Artan parça işleme kesinliğinin geçmişi, katma değerli ürünler yaratmak için sürekli artan bir talep olduğunu göstermektedir. İşleme teknolojisindeki ilerleme nedeniyle yüksek performanslı, yüksek katma değerli bilgisayarların üretilmesi mümkün olmuştur [1].

2. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ

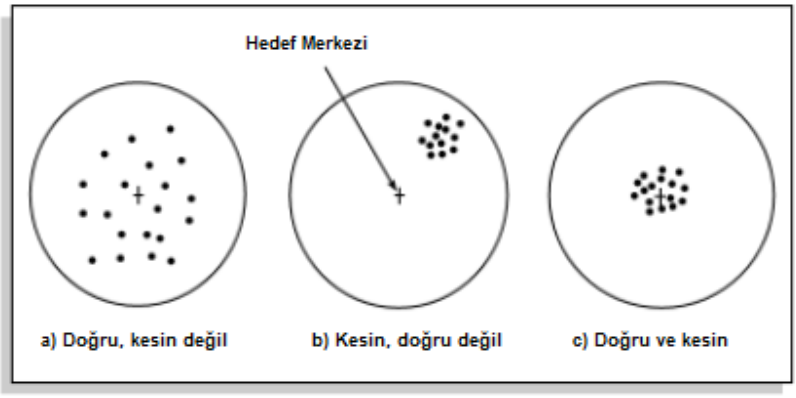
Kesinlik (hassasiyet) mühendisliği, modern ileri uygarlığımızın temellerini oluşturan, çeşitli alanlarda, katma değeri yüksek ürünler doğrudan ve dolaylı olarak yaratma bilimidir. Nakazawa, kesinlik mühendisliğini, yüksek kesinlikli makineleri üretmek için sistematik bilgi ve ilkeler kümesi olarak tanımlamıştır. Temelde, kesinlik mühendisliğin yüksek hassasiyetli tezgahların yaratılmasıyla ilgili olduğu kanısı hakimdi ve bu onların tasarımını, üretimini ve ölçümünü içeriyordu. Bu fikir, Profesör Aoki tarafından kurulan Hassas Makinalar Derneğinin ilk konseptiyle uyumludur. Makine uzunluk ölçme makineleri, tartı makineleri, zaman tutma makineleri ve diğer metrolojik aletleri, ayrıca hassas tezgahları ve mastar ve bilyalı / makaralı rulmanlar gibi mekanik elemanları içerir. Taniguchi ve McKeown'un hassas mühendislik konusundaki görüşleri, yüksek kesinlikli makinelerin yaratılmasının ötesine geçmektedir. McKeown, kesinlik mühendisliğini metrolojinin üretime gittikçe artan uygulamalarına cevap olarak 1979 yılında ortaya çıkan bir mühendislik ve bilimsel beceri ve teknik grubu olarak tanımlamıştır [1].

Kesinlik mühendisliği kavramı, malzemelerin hassas işlenmesini, bilgi işlem sistemlerini, kontrol sistemlerini ve CAD ve CAM sistemlerini içeren insansız üretim sistemlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Kesinlik mühendisliği, uydu roketatarı kadar büyük olanlardan mikroçip kadar küçük olanlara kadar geniş bir yelpazede ebatlara sahip ürünlerin üretimi ile ilgilidir. Tabii ki, kesinlik mühendisliği ürünlerinin büyüklüğünün mutlak boyutları çok çeşitlidir, ancak gerçek şu ki ilgili göreceli doğruluklar karşılaştırılabilir olabilir. Bu nedenle kesinlik mühendisliği, uzunluk ve açı gibi metroloji parametrelerine büyük ölçüde bağımlı olduğu düşünülmektedir.

Kesinlik mühendisliği; mekatronik mühendisliği, elektrik mühendisliği, yazılım mühendisliği, elektronik mühendisliği, makine mühendisliği ve son derece düşük toleranslara sahip makineler, armatürler ve diğer yapıların tasarlanmasıyla ilgili optik mühendisliğin bir alt disiplinidir [2].

2.1. Doğruluk ve Kesinlik Arasındaki Fark

İnsanlar genel olarak doğruluk ve hassasiyeti (kesinliği) bir ve aynı anlama sahip olarak görme eğiliminde olduklarından, hassas mühendislik tartışmasını anlamak için bu iki terim arasındaki farkın vurgulanması oldukça önemlidir (Şekil 1).



Şekil 1. Doğruluk ve kesinlik (hassasiyet) arasındaki fark [1].

Kesinlik (hassasiyet) doğruluğu, ölçülen boyutun gerçek büyüklüğü ile uyuşma derecesini ifade eder veya bir başka deyişle, hedeflenen şeyi vurma kabiliyetidir. Oysa kesinlik terimi, aynı standardın tekrarlanan ölçümleri yapıldığında aynı değeri verebilen bir cihazın derecesini belirtir. Kısacası kesinlik bir cihazın tekrarlanabilirliği ile ilgilidir [1].

3. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ İLGİ ALANLARI

Kesinlik Mühendisliği genel olarak aşağıdaki konulara odaklanır:

a. Araştırma,
b. Tasarım,
c. Geliştirme,
d. Ekipman ve sistemlerin yüksek doğrulukla üretimi ve ölçümü.

Kesinlik mühendisliğinin ilgi alanına giren üretim ve test konulardan bazıları şunlardır:
Kesinlik kontrolleri, metroloji, interferometre, malzemeler, nanoteknoloji, optik imalatı, hassas optikler, hassas kopyalama, tarama mikroskopları, yarıiletken işleme, standartlar ve ultra – hassas makine yapımı [3].

3.1. Kesinlik Mühendislerinin Görevleri

Kesinlik mühendisliği; havacılık, petrol ve gaz, tıbbi cihazlar ve elektronik gibi çeşitli endüstriler için bel kemiğidir. Herhangi bir özel parçanın veya hareketli parçanın tam özelliklere göre tasarlanmasını ve yapılmasını sağlar. En çok aranan spor arabaları, mobil cihazları ve yüksek güçlü lazer yazıcıları bir araya getiren robot kollardan, 3D yazıcılar üretmeye kadar cilt dokusunu ve havacılık bileşenlerini yazdırır [4].

Otomobiller, ev elektroniği ve endüstriyel tesislerin hepsinde mekatronik modülleri vardır. Bu cihazlar çok küçük tasarım alanlarında mekanik yapıları sensörler, elektrikli sürücüler, optik bileşenler, elektronik ve yazılımlarla birleştirir. Mekatronik mühendisleri, modelleme / analiz yetenekleri ve deney / donanım uygulama becerileri dengesi ile tanımlanırlar. Çalışmalarında, mekatronik mühendisleri sayısız alanda teknik ilerlemeyi desteklemektedir. Yine inovasyon ve uygulama odaklılık bu alana giren bireylerin temel özellikleridir [5].

3.2. Kesinlik Metrolojisi

Kesinlik metrolojisi (boyutlu metroloji), ekipmanların kalibrasyonu ve herhangi bir nesnenin boyutlarını (boyut, uzunluk, açı, mesafe gibi) ölçmek için fiziksel ölçüm ekipmanı kullanmaktır. Kesinlik metrolojinin nihai amacı, aşağıdaki dört ölçüm açısından yüksek düzeyde bir yetkinliğe ulaşmak olacaktır [2].

Tablo 1. Kesinlik metrolojisi ölçüm kriterleri

Konular	Tanımı
Doğruluk	Ölçümlerin doğruluk derecesi, parçanın gerçek boyutlarına karşılık gelir
Kesinlik	Ölçümün tutarlı olması çoğaltılamaz.
Güvenilirlik	Doğruluk tutarlılığı, ekipmandan zamanla alınan ardışık ölçümlerle sonuçlanır.
İzlenebilirlik	Devam eden ölçümler, parçanın gerçek boyutlarına karşılık gelir.

4. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİM PROGRAMLARI

Kesinlik mühendisliğinin eğitimleri, farklı ülkelerde lisansüstü, lisans, ön lisans ve sertifika programları şeklinde verilmektedir. Kesinlik mühendisliği eğitimlerinin verildiği belli başlı ülkeleri; Almanya, Japonya, ABD, İngiltere, Singapur, İrlanda ve Bulgaristan olarak sayabiliriz. Bu eğitimlerin içerikleri, edinilmesi gereken temel beceriler dışında ülkelerde yoğunlaşan teknolojilere odaklanmıştır. Optik teknolojisinden yüksek kaliteli makine takım teknolojisine, lazer kesim teknolojisinden MEMS'e kadar geniş bir aralık söz konusudur.

Tablo 2. Dünyadaki çeşitli seviyelerde kesinlik mühendisliği bölümleri, programları ve sertifika programları

Bölüm / Program Adı	Ülke	Kurum Adı	Eğitim Seviyesi / Süresi	Bağlantı
Mekatronik – Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Münih Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Yüksek Lisans	http://www.fb06.fh-muenchen.de/fb/index.php/en/graduate.html
İleri Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Furtwangen Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Yüksek Lisans	https://www.hs-furtwangen.de/en/programmes/advanced-precision-engineering-master/
Mikro, Kesinlik ve Optik Mühendisliği	Almanya	Stuttgart Üniversitesi	Yüksek Lisans	https://www.ikff.uni-stuttgart.de/en/index.html
Hassas Makine Mühendisliği	Almanya	Göttingen Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Yüksek Lisans	https://www.hawk.de/de/studium/studiengaenge/master-engineering-praezisionsmaschinenbau-goettingen
Makine Kesinliği Mühendisliği	Malezya - Japonya	Malezya – Japonya Teknoloji Üniversitesi	Yüksek Lisans ve Lisans	http://mjiit.utm.my/master-of-mechanical-precision-engineering/
Mekatronik / Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Georg Simon Ohm Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Lisans	https://www.th-nuernberg.eu/home/faculties/electrical-engineering-precision-engineering-information-technology/page.html
Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Ernst-Abbe Hochschule Jena Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Lisans	https://www.eah-jena.de/de-de/studium/studienangebote/Bachelor-Feinwerktechnik-Precision-Engineering
Kesinlik Mühendisliği	Japonya	Tokyo Üniversitesi	Yüksek Lisans	http://www.pe.t.u-tokyo.ac.jp/ en/index.html
Kesinlik Mühendisliği	Malezya	Kuala Lumpur Üniversitesi	Lisans	https://www.unikl.edu.my/programme/bachelor-of-engineering-technology-hons-in-tool-and-die/
Kesinlik Mühendisliği	Japonya	Tokai Üniversitesi	Lisans	https://www.u-tokai.ac.jp/english/staff/academics/ODUyMTYw
Hassas Cihazlar	Çin	Tsinghua Üniversitesi	Lisans	https://www.tsinghua.edu.cn/publish/dpien/6911/index.html
Kesinlik Mühendisliği	İngiltere	Cranfield Üniversitesi	Lisans	https://www.cranfield.ac.uk/academic-disciplines/precision-engineering
Kesinlik Mühendisliği ve Tasarım	İrlanda	Sligo Teknoloji Enstitüsü	Lisans	https://www.itsligo.ie/courses/beng-precision-engineering-design/
Makine ve Kesinlik Mühendisliği	Bulgaristan	Gabrovo Teknik Üniversitesi	Lisans	https://www.tugab.bg/index.php?option=com_content&view=article&id=449&Itemid=560&lang=en
Hassas Talaşlı İmalat Teknikerliği	ABD	Midlands Meslek Yüksek Okulu	Ön Lisans	https://www.midlandstech.edu/career-guide/precision-machining-technician
Hassas Tarım Ekipmanı Teknikerliği	ABD	Ivy Tech Meslek Yüksek Okulu	Ön Lisans	https://www.ivytech.edu/precision-agriculture/
Hassas Makine ve Üretim Teknikerliği	ABD	Lanier Meslek Yüksek OKulu	Ön Lisans	https://www.laniertech.edu/AcademicPrograms/LTCPrograms.aspx?id=21
Kesinlik Mühendisliği	İrlanda	Limerick Teknoloji Enstitüsü	Sertifika Programı	http://lit.ie/Courses/LC287/default.aspx
Kesinlik Mühendisliği	Singapur	Singapur Üretim Teknolojileri Enstitüsü	Sertifika Programı	https://www.a-star.edu.sg/kto/Courses/Modular-Programmes/Precision-Engineering

5. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİM PROGRAMLARI

Şekil 2. Kesinlik mühendisliği optik üretiminde çalışan personel

Kesinlik mühendisliği; kapsamında çeşitli ülkelerde verilen eğitim içerikleri araştırılmış ve aşağıdaki konu başlıkları belirlenmiştir:

Lisansüstü seviyesinde:

- Lazer kullanımı,
- Enjeksiyon kalıplama,
- Yüksek hızlı talaşlı imalat ve kesme takımları,
- İleri metal şekillendirme ve döküm teknikleri,
- İleri kaynak teknikleri,
- İleri otomotiv teknikleri,
- Titreşim analizleri,
- Çok parçalı gövde dinamiği,
- Tıp mühendisliği,
- Elektromekanik sürücülü lineer motorlar,
- Ultrasonik sürücüler,
- Nöro-mühendislik,
- Biyomedikal sinyallerin işlenmesi,
- Optik ve hassas mekanik sistemler.

Lisans seviyesinde:

- Temel metroloji,
- Kesinlik mühendisliği elemanları,
- Sensörler ve aktüatörler,
- Termodinamik ve akışkanlar dinamiği,
- Mikroskopla ürün inceleme,
- Akışkanlar mekaniği,
- İleri malzeme kullanımı,
- FEM Sonlu Elemanlar Analizi,
- Mühendislik mekaniği,
- Elektrikli tahrik sistemleri,
- Optik iletişim,
- Kontrol elemanları,
- Katı modelleme,
- Üretim teknikleri,
- Mikro – hassas sürücüler,
- Mikroteknik ve MEMS,

- Çeşitli PC simülasyon programları,
- Modern üretim teknikleri,
- Ürün entegrasyonu,
- CAD / CAM
- İnovasyon yönetimi,
- CNC kullanımı,
- Yüzey işleme,
- Kesinlik metrolojisi.

Ön Lisans seviyesinde:

- Mühendislik teknolojisine giriş,
- Makine mühendisliği matematiğine giriş,
- CAD ve tasarım,
- CNC programlama ve operatörlük,
- Makine bakımı,
- Makine mühendisliği matematiği için PC programlama,
- Altı sigma ve metroloji,
- İleri CNC programlama.

6. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMLARI

Kesinlik mühendisliği lisans ve/veya lisansüstü programları; UME; TEİ, Aselsan, Roketsan, TUSAŞ, Havelsan, Zorlu Teknoloji, TEC, Bayraktar Makine ve konuya ilgi duyan çeşitli üniversite birimleri ile ortak olarak düzenlenebilir. Özellikle UME'nin bilimsel ağırlıklı bunun yanında eğitim konusundaki çalışmaları; kesinlik mühendisliğinin hem ülkemizde kabul edilebilirliği açısından hem de gerekli özgün teknolojilerin öğretilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Kesinlik Mühendisliği için önerilen iki program; lisansüstü eğitim (uygulamalı yüksek lisans ve doktora) ile 2 yıllık ön lisans eğitimidir. Bunlar;

1- "Kesinlik Mühendisliği" adında 2 yıl süreli lisansüstü (yüksek lisans ve doktora) eğitim,
2- "Kesinlik Teknikerliği" adında 2 yıl süreli ön lisans eğitimidir.

Ülkemizde kesinlik mühendisliği ve kesinlik teknikerliği altyapısını oluşturacak potansiyel adaylar şunlardır:

Kesinlik mühendisliği lisansüstü eğitim adayları:

- Mühendislik fakültelerinde 4 yıllık tasarım ağırlıklı teknolojik eğitim alan elektrik, elektronik, bilgisayar, fizik, kimya, makine, mekatronik, metalurji, nükleer, tekstil, uçak, otomasyon ve kontrol mühendisleri,
- Teknoloji fakültelerinde 4 yıllık uygulama ağırlıklı teknolojik eğitim alan elektrik, elektronik, bilgisayar, kontrol, makine, mekatronik, otomotiv, metalürji ve tekstil mühendisleri,
- Teknik eğitim fakültelerinde 4 yıllık uygulama ağırlıklı eğitim alan elektrik, elektronik, bilgisayar, kontrol, makine, mekatronik, metal, tekstil teknik öğretmenleri.

Kesinlik teknikerliği ön lisans eğitimi adayları:

- Teknik ve meslek liselerinin elektrik, elektronik, bilgisayar, otomasyon, mekatronik, makine, otomasyon vb programlarından mezun olacak kişiler.
  olmalıdır.

6.1. Örnek Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı 1

Lisansüstü programlarda ders içeriği belirlenirken ülkenin yükseköğretim hedefleri doğrultusunda belirlediği sektörlere ve o alanda çalışacak insanların niteliklerine göre derslerin belirlenmesi ve öğretilmesi önem arz etmektedir. Kesinlik mühendisliği yüksek lisans programına ilk örnek olarak, Almanya'daki Furtwangen Üniversitesi'nin (FHU) İleri Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı incelenmiştir.

Furtwangen Üniversitesi İleri Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programını seçmeyi düşünen adaylar "neden programı seçmesi gerektiği konusunda" aşağıdaki bilgilerle bilinçlendirilmektedir:

- Geleceğe yönelik, ileri teknoloji ürünü yüksek hassasiyetli makro, mikro ve nanoteknoloji alanları için gereken bilgi ve beceriler,
- Makine mühendisliği ve mekatronik arasındaki arayüzde uygulanabilecek bilgi ve beceriler olağanüstü kariyer perspektifleri anlamına gelir,
- Hem akademik hem de endüstri geçmişine sahip birinci sınıf akademik kadrodan ders alma imkanı,
- Küçük gruplar ve kişisel danışmanlık alma imkanı [7].

Tablo 3. Furtwangen Üniversitesi İleri Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Dersleri

Zorunlu Dersler:	HDS	AKTS	GYY	BYY
Modelleme ve Simülasyon	4	5	X	X
Çoklu Gövde Dinamiği	4	5	X	X
Mekatronik Ürünlerin Geliştirilmesi	4	5	X	X
Mekatronik Sistemler için Veri İletişimi	4	5	X	X
Proje Modülü	4	10	X	X
Yüksek Lisans Tezi		30	X	X
Zorunlu Seçmeli Dersler:				
Medikal Aydınlatma Sistemleri ve İnsan Merkezli Aydınlatma	4	6		X
Sistemler Analizi ve Tasarım	4	6	X	X
Termo ve Akışkan Dinamiği	4	6		X
PC Destekli Ürün Geliştirme	4	6		X
Mekatronik için Malzemeler	4	6	X	X
Otomotiv Tahrik Sistemleri	4	6	X	X
Sensörler ve Aktüatörler	4	6	X	X
Ürün Geliştirme Projesi	4	6	X	X
Ürünler ve Prosesler Testi ve Modellenmesi	4	6	X	X
Elektromanyetik Aktüatörlerin Tasarımı	4	6	X	X
Ürünler ve Proseslerin Optimizasyonu	4	6	X	X
Dijital Elektronik (µC)	4	6	X	X
Veri ve Veritabanı Sistemlerinin Yapısı	4	6		X
Eklemeli Üretim (Hızlı Prototipleme)	4	6		X
Takım Tasarımı ve Üretim	4	6		X
Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi	4	6		X
Entegre Devre Tasarımı	4	6		X
Fiber Optik Algılama Teknolojisi	4	6	X	
İnce Film Optiği	4	6	X	
Optik İletişim Teknolojisi	4	6	X	
Opto-Elektronik Ürün Konstrüksiyonu	4	6		
Dijital Görüntü İşleme	4	6	X	

Genel Zorunlu Dersler (1 tanesi zorunlu):				
Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi	4	6	X	
Bilgi Yönetimi	4	6		X
Proje Yönetimi	4	6	X	
Kalite Yönetimi ve Uygulamalı İstatistik	4	6	X	X
Girişim Firmasının Prensipleri	4	6		X
Seçmeli Dersler:				
Bilim ve Teknolojide İngilizce	(4)	(4)	X	X
Malzeme Bilimi için Yoğunluk Fonksiyonları Teorisi	(2)	(3)		X
Python ve Malzeme Bilimi Uygulamaları	(2)	(3)		X
Toplam (2 veya 4 Yarıyılı Kapsayan)	48	100		

HDS: Haftalık Ders Saati AKTS: Avrupa Kredi Transfer Sistemi GYY: Güz Yarıyılı BYY: Bahar Yarıyılı

6.2. Örnek Makine Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı 2

Kesinlik mühendisliği yüksek lisans programına ikinci örnek olarak, Malezya'daki Malezya – Japonya Teknoloji Üniversitesi'nin Makine Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı incelenmiştir [8].

Tablo 4. Malezya Teknoloji Üniversitesi Makine Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Dersleri

Zorunlu Dersler:	HDS	AKTS	GYY	BYY
İleri Kesinlik Mühendisliği	4	5	X	X
İleri Malzemeler Mühendisliği	4	5	X	X
İleri Uygulamalar Mekaniği	4	5	X	X
Seçmeli Dersler:				
İleri Otomotiv Sistemleri	4	6		X
Sonlu Elemanlar Analizi	4	6	X	X
İleri Akışkanlar Dinamiği	4	6		X
Triboloji	4	6		X
Analiz ve Uygulama için Yapısal Titreşim	4	6	X	X
Veri Şartlandırma İzleme	4	6	X	X
Motor Tuboşarj Teknikleri				
Uygulamalı Matematik				
Yüksek Lisans Tezi (6 ay veya bir yıl)				

6.3. Örnek Kesin Talaşlı İmalat Teknikerliği

Kesinlik teknikerliği ön lisans programına örnek olarak, A:B.D'deki Lanier Meslek Yüksek Okulu'nun Kesin Talaşlı İmalat Teknikerliği Ön Lisans Programı incelenmiştir [9].

Tablo 5. Lanier Meslek Yüksek Okulu Ön Lisans Programı Dersleri

Genel Eğitim Dersleri: 15 Saat (Alan I + Alan II + Alan III + Alan IV + Alan V)	HDS
Alan I Dil Sanatları / İletişim - 3 Saat	
Kompozisyon & Retorik	3
Alan II Sosyal /Davranış Bilimleri – 3 Saat	
Makroekeonomi	3
Dünya Tarihi 1	3
Psikolojiye Giriş	3
ABD Tarihi 1	3
(Benzer 8 Ders)	3

Alan III Fen Bilimleri / Matematik – 3 Saat	
Matematik Modelleme	3
(Benzer 2 Ders)	3
Alan IV İnsan Bilimleri / Güzel Sanatlar – 3 Saat	
Dünya Edebiyatı	3
Müziği Anlama	3
(Benzer 4 Ders)	3
Alan V Genel Eğitim Temel Seçmeli – 3 Saat	
Ekonominin Temelleri	3
Kolej Cebri	3
İnsan Gelişimi	3
(Benzer 29 Ders)	3
Program Dersleri: 48 Saat	**HDS**
Makina Takımlarına Giriş	4
Torna Tezgahı İşlemleri I	4
CNC Temelleri	4
CAD/CAM Programlama	4
(Benzer 10 Ders)	4 veya 5
Programla İlgili Seçmeli Dersler: 3 Saat	**HDS**
Bilgisayara Giriş	3
Pazarlama Prensipleri	3
(Benzer 10 Ders)	3 veya 4
Toplam Ders Saati	**66**

HDS: Haftalık Ders Saati

SONUÇLAR

Kesinlik eğitim programları ile ilgili olarak yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ülkemizdeki üniversitelerde kesinlik mühendisliğine yakın disiplinler olarak; elektrik, elektronik, bilgisayar, fizik, kimya, makine, mekatronik, metalurji, metal, nükleer, tekstil, uçak, otomasyon ve kontrol mühendislik veya teknik öğretmenlik programları olduğu için kesinlik mühendisliği lisans programının açılmasının doğru olmayacağı düşünülmüştür.
- Eğer ülkemizde kesinlik eğitim programları açılırsa yetişecek nitelikli personelin istihdamıyla uçak parçaları, uydu, lazer sistemleri vb. yüksek kaliteli ürünlerin geliştirilmesi, üretilmesi ve ihracatının yapılması ülke gelirini önemli oranda artıracaktır.
- Aselsan gibi kesinlik uzmanlığına sahip nitelikli personel gerektiren ve yüksek kaliteli ürünler geliştirip üreten firmalardan yüksek nitelikli personelin beyin göçüyle yurtdışına gitmesi kabul edilip doğal karşılanamaz. Bu alanda muhakkak ayrı bir çalışma yapılmalı ve teknik insanlarımızı yurt dışına kaçıran nedenler ortadan kaldırılmalıdır.
- Ülkemiz için kesinlik mühendisliği lisansüstü ve kesinlik teknikerliği ön lisans programları oluşturulurken öncelikli alanlarımız belirlenmeli (örn. biyomedikal cihaz üretimi, 3D yazıcı üretimi, uçak parçaları geliştirilmesi vb.) ve bu alanlara uygun müfredatlar geliştirilmelidir.
- Kesinlik teknolojisi mikro ve nano boyutta da çalışmalar gerektirdiğinden eğitim programları geliştirilirken ülkemizdeki çalışmada sıralanan uzman kurumların çalışanlarının yanında Teknoloji Enstitüleri ve bazı Üniversitelerde yer alan nanoteknoloji merkezlerindeki uzman personelin görüşleri de muhakkak alınmalıdır.
- Kesinlik mühendisliği lisansüstü ve kesinlik teknikerliği ön lisans programlarında eğitim alacak öğrencilere TÜBİTAK ve özel kuruluşlar burs desteği sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] VENKATESH, V. C., IZMAN, S., “Precision Engineering”, Tata McGraw Hill Publishing, 2007.
[2] SETH, G. G., JEROME F. H., SHEMBELLE, G. M., “Introduction to Precision Engineering” Lecture Notes, https://www.slideshare.net/shemsss/introduction-to-precision-engineering-127756570, Erişim tarihi: 14 Mayıs 2019.
[3] Introduction to Precision Engineering Lecture Notes, blog.ncut.edu.tw/userfile/3120/01_ Introduction.pdf, Erişim tarihi: 18 Mayıs 2019.
[4] https://www.ssg.gov.sg/wsq/Industry-and-Occupational-Skills/Precision-Engineering-WSQ.html, Erişim tarihi: 19 Mayıs 2019.
[5] https://www.th-nuernberg.eu/home/faculties/electrical-engineering-precision-engineering-information-technology/page.html, Erişim tarihi: 21 Mayıs 2019.
[6] TUNÇALP, B. K., KAPLANOĞLU, E., SUCU, M., “Metroloji Mühendisliğinin Kurulmasına Yönelik Üniversite – UME İşbirliği ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi’nde Ölçme Programları” , TMMOB MMO IV Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir, 25-26 Ekim 2001.
[7] https://www.hs-furtwangen.de/en/programmes/advanced-precision-engineering-master/details-of-programme/, Erişim tarihi: 15 Haziran 2019.
[8] http://mjiit.utm.my/master-of-mechanical-precision-engineering/, Erişim tarihi: 17 Haziran 2019.
[9] https://www.laniertech.edu/AcademicPrograms/LTCPrograms.aspx?id=21, Erişim tarihi: 26 Haziran 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Burhanettin Koray TUNÇALP

1962 yılı İstanbul doğumludur. 1984’te Marmara Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünü, 2014’te Gabrovo Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Elektronik Fakültesi Güç Mühendisliği ve Elektrik Sistemleri Bölümünü bitirmiştir. Marmara Üniversitesinde Yüksek Lisansını 1988 yılında tamamlamış ve aynı üniversiteden 1999’da Doktor ünvanını almıştır. 1985-1993 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1993-1999 arası Öğretim Görevlisi, 1999-2001 arası Yardımcı Doçent, 2001-2008 arası Doçent, 2008-2014 arası Elektrik ve Mekatronik Eğitimi Bölümlerinde çalışmış ve 2013-2014 arasında da M.Ü Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünde çalışarak emekli olmuştur. 2015’ten itibaren Haliç Ünv. Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümünde çalışmakta olup iki yıldır Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü görevini sürdürmektedir. Mekatronik sistemler, enstrümantasyon, elektriksel enerji ölçümü, mesleki ve teknik eğitim konularında çalışmaları vardır.

Samet Burçin AYDOĞMUŞ

1984 yılı İstanbul doğumludur. 2007’de Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliğini bitirmiştir. Aynı Üniversitede 2009’da Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi alanında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 2010 yılından bu yana Takım Tezgahları Sanayici ve İş İnsanları Derneği’nde (TİAD) Genel Sekreter Yardımcısı ve TİAD Mesleki Test Merkezi’nde Belgelendirme Müdürü görevlerini yürütmektedir. CNC takım tezgahlarının, robotik sistemlerin ve tamamlayıcı ekipmanlarının kullanımı, bakımı, kalibrasyonu alanlarında eğitim ve yeterlilik belirleme alanlarında ve sektörel analizler alanında çalışmaktadır.

SAHA KALİBRASYON UYGULAMALARI VE YAPILAN YANLIŞLIKLAR

Erdoğan SÖNMEZ

ÖZET

Saha Kalibrasyon faaliyetleri; Laboratuvarın sabit tesislerinin dışında (yerinde, geçici ve mobil tesiste) laboratuvar personeli tarafından gerçekleştirilen deney ve kalibrasyon ölçümlerinin beyan edilen akreditasyon kapsamlarında gerçekleştirilmesidir. Saha kalibrasyon uygulamaları endüstride işletmelerde taşınması mümkün olmayacak cihazların kalibrasyonlarının işletme ortam şartlarında gerçekleştirilmesidir. Saha kalibrasyonu tanım ve adlandırılması laboratuvarlar tarafından Mobil kalibrasyon, Yerinde kalibrasyon, Firmada Kalibrasyon vb. birçok anlamda adlandırabilir.

Anahtar Kelimeler: Saha Kalibrasyon Uygulamaları, Yerinde Kalibrasyon

ABSTRACT

Field Calibration activities, Test and calibration measurements carried out by laboratory personnel outside the fixed facilities of the laboratory (on-site, temporary and mobile facility) are carried out within the scope of declared accreditation. Field calibration applications are the calibration of devices that cannot be transported in enterprises in the industry under the operating environment conditions. Field calibration is defined and named by laboratories, Mobile calibration, On-site calibration, Company calibration etc. name in many ways.

Keywords: Field Calibration activities, On-site calibration

1. GİRİŞ

Akreditasyon kapsamı dahilinde sahada laboratuvar faaliyeti verecek olan kalibrasyon laboratuvarlarının karşılaştırmalı yöntem ve/veya kalibrasyon standartlarına uygun olarak laboratuvarları tarafından hazırlanmış olan talimatlar doğrultusunda kalibrasyonları gerçekleştirmelidir. Firmaların kurulu tesisinde veya müşterinin belirlediği sahada bulunduğu şartlarda, kalibrasyona uygun ekipmanlar ve referanslar ile talimatlarının belirtildiği doğrultuda sağlanmasıdır.

Sahada yapılacak kalibrasyon hizmeti Laboratuvarlar tarafından çok dikkat gösterilmesi gereken bir konudur. Laboratuvarda gösterilen özen ve dikkat nasıl uygulanıyor ise sahada da bu süreç aynı şekilde uygulanmalıdır. Sahayı ikinci bir laboratuvarımız olarak görüp mümkün mertebe en yüksek seviyede özen gösterilmelidir.

Saha kalibrasyonunda görev alacak personelin, konusunda uzman ve laboratuvarın ilgili metod kapsamlarında kalibrasyon faaliyetleri için yetkilendirilmiş olmalıdır.

Saha Kalibrasyonunda görev alacak kişi aslında, laboratuvarın kurumsal yüzü olacaktır. Kalibrasyon çalışmalarını yürütecek personel ne kadar deneyim ve bilgi sahibi olursa laboratuvarınızın da bir o kadar iyi temsiliyetini sağlayacak ve kuruma olan güven artacaktır.

Bu konuda yapılan yanlışlıklar ise sahada görevlendirilecek olan personelin gerekli kalibrasyon eğitimi teknik cihazların kullanımı, kalibrasyon referans cihazların kullanımı gibi eğitimlerin alınmaması, Laboratuvar yetkinliği oluşmadan görev ve yetki verilmesi, vereceğimiz kalibrasyon hizmetindeki güvenilirliği olumsuz etkileyecektir.

İşletmelerde saha hizmeti gerçekleştirecek personelin kalibrasyon ve metroloji konusunda donanımlı olması önemlidir. İşletme kalibrasyon hizmeti dışında, uygulanan kalibrasyon metodu veya metroloji hakkında sorular sorulabilir. Bu sorulara cevap verebilmek hizmetin bir parçası olmalıdır.

1.1 Saha Kalibrasyonu Süreci

Laboratuvarın saha laboratuvar hizmeti vermesi durumunda, hizmet verilecek çalışma alanı için özel olarak hazırlanmış prosedür veya talimat kullanması gerekmektedir. Personelin ilgili prosedür veya talimatın en son revizyonlu güncel dokümanı kullanması güvence altına alınmalıdır.

Saha laboratuvar hizmeti veren / verecek olan laboratuvar hizmetlerinin aynı akreditasyon çatısı altında ve tek kalite sistemi içerisinde tanımlanması gerekmektedir. Tüm idari ve teknik dokümanlar merkezi kalite sistemi ile ilişkilendirilmiş olmalıdır (hizmet kabiliyeti, organizasyon yapısı, referans cihazların araç/araçlarla taşınması, yerleşim şartları, sertifikasyon işlemler vb.).

Laboratuvar, saha laboratuvar faaliyetlerinin güvenli şekilde yapılabileceği asgari süreyi ve bir personelinin bir günde ilgili kapsamda azami kaç adet saha laboratuvar faaliyeti gerçekleştireceğini dokümantasyonunda belirlemeli ve talep edildiğinde TÜRKAK'a sunmalıdır. Laboratuvar faaliyeti süreleri eğer var ise standartlara ve/veya yasal şartlara uygun olmalıdır. Bir personelin bir iş gününde çalışabileceği maksimum süre hesabı İş Kanununa da uygun olmalıdır.

Laboratuvar, kalite sisteminin her bir bölümünü, yerinde, geçici ve mobil tesislerdeki laboratuvar faaliyetlerini iç tetkik planlarına dâhil etmelidir. Laboratuvar yönetim sisteminin tüm unsurlarını ele almalı ve en çok 12 aylık periyotlarda iç tetkiki planlamalı ve denetlemelidir. İç tetkikçi, iç tetkik sürecinin bir parçası olarak geçici ve mobil laboratuvarları ziyaret ederek denetlemelidir.

Kalibrasyon laboratuvarları, müşteri memnuniyetini yüksek tutmak, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde cevap vermek, verdiğiniz hizmetin hatalarını en düşük seviyeye getirmek hatta hatasız hizmet vermek için sürekli gelişim göstermelidir.

Hizmet kalitesinin arttırılmasına yönelik faaliyetlerden biri de kalibrasyon hizmet sisteminin dijital ortama dönüştürmektir. Kâğıt kullanımının kaldırılıp dijital kalibrasyon hizmeti sağlayan yazılımlar kullanılabilir ve tüm veriler dijital ortamda saklanıp paylaşım sağlanabilir.

Saha Kalibrasyonu için laboratuvarların konumu takip ediliyor olmalı ve ne amaçla kullanıldıkları kayıt altına alınmalıdır (GPS, araç takip sistemi vs.).

Talep, Teklif ve Sözleşmelerle ilgili prosedürleri göre gerçekleşecek kalibrasyon hizmetinde yerinde yapılacak kalibrasyonları/deney işlemlerinin tanımlı olması ve müşteriye teklif ile birlikte iletilmesi gerekmektedir. Taleplerin, tekliflerin ve sözleşme yapılacak faaliyete ilişkin metot bilgisi ile birlikte faaliyetin akreditasyon kapsamında olup olmadığına dair bilgi içermelidir. Sözleşme sonrasında iş programına göre kalibrasyon/deney için randevu oluşturulmalı ve müşteri ile mutabık kalınmalıdır.

Saha Kalibrasyonu için Ön Hazırlık Planı;

- Onaylı Teklif Formu veya Sözleşme Formu bilgilerine göre saha kalibrasyon hizmeti verilecek cihazlar için ön hazırlık yapılmalıdır.
- Randevu verilen firmaya gitmeden bir gün önce müşteri aranarak tekrar teyit alınmalıdır.
- Kalibrasyonu yapılacak terazi var ise, terazinin doğruluk sınıfına göre ısınma süreleri göz önünde bulundurulmalı ve işlem öncesi açık tutulması gerekli süre konusunda bilgi verilmelidir.

- Etüv ve kurutma fırınlarının, kalibrasyona uygun hale gelmesi için bildirim yapılabilir. İşletmenin etüv veya fırın için test/deney veya üretim planını programlanması istenebilir.
- Yerinde yapılacak kalibrasyonlar için dijital kalibrasyon yazılımı kullanılıyor ise bilgisayar, etiket makinası, internet bağlantı noktası götürülmelidir. Dijital bir alt yapı mevcut değilse yeterli sayıda ham veri kayıt formu mutlaka alınmalıdır.

Hizmet verilen firmada kalibrasyon işlemine başlamadan önce mutlaka firmayı tanımak için ön keşif yapılmalı, kalibrasyon yapılacak ekipmanlar için zaman planlaması yapılmalıdır. O işletmede ilk defa çalışma yapılacak ise müşteriye kısa bir eğitim veya bilgilendirme yapılması laboratuvara ve firmaya katkı sağlayacaktır. Laboratuvarın görünen yüzü olan saha personelinin diksiyon, kılık-kıyafet ve görünüş anlamında özen göstermesi önemlidir.

İşletmenin aldığı kalibrasyon hizmetinin karşılığında, işletmenin kalitesine sağladığı katkı ve kalibrasyonun önemi hakkında görüşmeler yapılabilinir. Ayrıca kalibrasyon hizmeti sonucunda işletmenin alacağı kalibrasyon sertifikalarının nasıl değerlendirilebileceği konusunda bilgilendirmeler sağlanabilir.

Bundan dolayı saha kalibrasyonunu planlaması yapılırken cihaz sayılarına ve yoğunluk durumuna göre günde en fazla 2 işletme için program yapılması tavsiye edilir. Aksi durumda kalibrasyon hizmetinin yetiştirilmesi kaygısı, kaliteden taviz verilmesine ve hatalı ölçümlerin yapılmasına sebep olabilir.

Tüm saha labaratuvar faaliyeti süreci düşünüldüğünde ciddi bir zaman ihtiyacı ve önemli bir planlama altyapısının gerektiği görülmektedir. Fakat verilen kalibrasyon hizmetinin kalitesini koruyabilmek için personel üzerinde ticari endişelerin ve baskıların oluşmasının önüne geçmek kesinlikle önemlidir.

Saha kalibrasyonunda, proseste yapılan ölçümler ve buna bağlı sapmaları görmezden gelmemek gerekir, kalibrasyon ölçümlerinden çıkacak sapmalar kullanıcı ile bire bir değerlendirilmelidir çünkü üretime direk etkisi bulunan bu sapma, ürün tolerans değerleri içinde değilse düzeltmeleri yününde katkıda bulunmakta fayda vardır. Özellikle kalibrasyon esnasında bu önlemi almak seri üretim açısından düşünüldüğünde ciddi bir mali zararın önüne geçilebilir . Akredite laboratuvarların ölçümlere bu duyarlılıkla yaklaşmaları aynı zamanda firmalar ve ülke bütçesine ciddi anlamda katkı sağlayacaktır.

Saha kalibrasyonunda Yaşanan sorunlar ile ilgili örnekler;

Belediye adına asfalt üretimi yapan özel bir firmanın bünyesinde bulunan test ve analiz laboratuvarında asfalt için baskı-çökme testi yapan cihazın kalibrasyonu sonucunda tespit edilen 3mm sapma işletme tarafından değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda, sapma değerinin asfaltta kullanılan katkı maddesinin fazla atılmasına neden olduğu ve bu katkı maddesinin aylık 2 milyon TL, yıllık 24 milyon TL maliyete yol açtığı işletme tarafından hesaplanmıştır.

Özel bir medikal üretim firmasının ihracat yaptığı ülkeye ürünlerin beyan ettiği spektlerde olmamasından dolayı 3 konteyner ürünün iade edilmesi ile süreç sonuçlanmaktadır. Ürün üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda hatanın kopma testi yapılan iklimlendirme kabininin sıcaklık sensörlerine kalibrasyon yapılmadığı olduğu tespit ediliyor. Kalibrasyon sonucunda sensörlerde 12 ^{o}C sapma bulunuyor.

Yaşanan bu iki örnekte kalibrasyon rakamlar ile önemini kanıtlıyor. Bu noktada endüstriye çok büyük görev düşüyor. Laboratuvarlara Kalibrasyon fiyatı üzerinde maliyet baskısı yaparken aslında daha büyük mali zararlara zemin hazırlıyor.

2. SAHA LABORATUVAR FAALİYETLERİNDE (KALİBRASYONLARINDA) HİZMET KAPSAMLARI

- Etüv Kalibrasyonu
- Kül Fırını Kalibrasyonu
- Sıcaklık Kontrollü Hacimlerin Kalibrasyonu
- Terazi Kalibrasyonu
- Sıcaklık Kalibrasyonu
- Basınç Kalibrasyonu
- Zaman Kalibrasyonu
- Elektriksel Kalibrasyon

2.1.Etüv Kalibrasyonu;

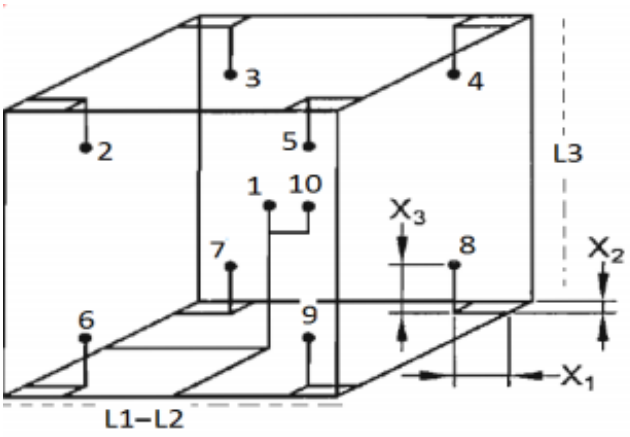
Etüv ve İklimlendirme kabini gibi sıcaklık kontrollü hacimlerin (klimatik kabinlerin) kalibrasyonunu kapsar. Saha kalibrasyonunda Etüvlerin çalışma aralığına göre Sterilizatör ve İnkübatör olarak da adlandırılmaktadır. Etüv kalibrasyonu için referans olarak genellikle sıcaklık kayıt sistemleri kullanılır.

Kalibrasyon Amacı;

Klimatik kabinlerin kalibrasyonundaki ölçümler, aşağıdaki bilgilerin belirlenmesi amacı ile yapılır:

- Kabin içerisindeki kullanım hacminin sıcaklığının, fırın göstergesine göre farkının (sapmasının) belirlenmesi,
- Belirli şartlarda ve kalibrasyonda ölçülen sıcaklığın belirsizliğinin bulunması,
- Müşteri isteğine bağlı olarak belli şartlarda müşteri toleranslarına veya teknik özelliklere uygunluğun belirlenmesi

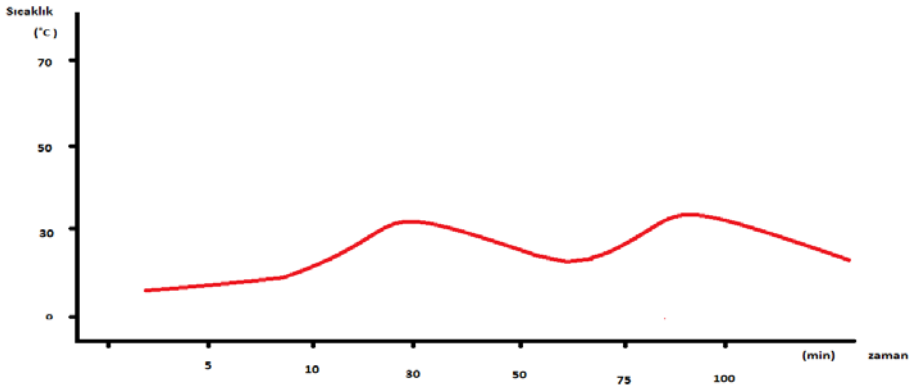
2000 litreden küçük kullanım hacimli klimatik kabinler için en az 9+1(Işıma) kalibrasyon noktası seçilmelidir. Seçilen bu ölçüm noktaları, X1=L1/10, X2=L2/10, X3=L3/10 şeklinde yerleşim yapılır.



Şekil 1. Sensörlerin Yerleşimi

Yapılan yanlışlıklar

Etüv kalibrasyonu gerçekleştirilirken genellikle etüv dengeye geldikten sonra yarım saat boyunca ölçümler kayıt altına alınarak gerçekleştirilir. Etüv kalibrasyonunda nadiren de olsa bazı modeller kalibrasyon süresi bu tip etüvler için yeterli olmayıp ve aynı zamanda hatalı ölçüme neden olabiliyor.



Grafik 1. Etüvün Dengeleme Zamanı

Tabloda da görüldüğü gibi etüv ya da inkübatör gibi bazı cihazlar stabil olmasından sonra min-max bir çevrim görmek 30 dakikayı geçebiliyor. Bu gibi durumlarda etüvün çalışmasını gözlemleyip süreyi bu doğrultuda belirlemek daha doğru olacaktır.

2.2.Kül Fırını Kalibrasyonu

Kül fırını kalibrasyonlarında da yine benzer şekilde kayıt alma sitemi kullanılmalıdır. Kül fırınlarında stabil olma süreleri etüve göre daha uzun zaman alacaktır.

2.3. Sıcaklık Kontrollü Hacim (Klimatik Kabin) Kalibrasyonu

İstenen hava sıcaklığını kendine ait kapalı bir hacim içeresinde oluşturan ekipman. Kullanım hacmi içindeki hava sıcaklığının zamansal stabilitesini ve hacimsel homojenitesini gösterge değerine göre minimuma indirgemek için ısıl yalıtım, hava sirkülasyonu, sıcaklık yansımasını engelleyiciler gibi donanımlar kullanılabilir. Klimatik kabinler mobil veya sabit olabilir. Isıl yalıtımı sağlayan duvarlar, bina veya araçların bir parçası olamaz. Klimatik kabine ait özel duvarlar olmalıdır. (Etüv, İnkübatör, Stabilizatör, İklimlendirme Kabini, Fırın, Buzdolabı, Derin Dondurucu, Soğuk Oda, Buz Dolabı Soğuk Hava Deposu vb.)

Bir klimatik kabinin kullanım hacmi, kalibrasyon esnasında yerleştirilen sensörlerle (kayıt alma yöntemi) oluşturulan ölçme noktaları ile çevrelenen kabinin kısmi hacmidir. Bu kısmi hacim ölçme noktalarının yerleştirmesine bağlı olarak kabinin bütün hacminden farklı (küçük) olabilir. Bu durumda kalibrasyon sadece bu kullanım hacmi için geçerli olur. Eğer kalibrasyon tek veya münferit noktalarda yapılırsa verilen sonuçlar sadece belirli nokta veya noktalar için geçerlidir.

2.4.Klimatik hacim kalibrasyonunda Yapılan hatalar

Örnek olarak bir soğuk oda kalibrasyonu yapılacak ise, Soğuk odalar hacim olarak çok büyükler ve etüvlere göre çok daha zor ve uzun sürede stabil olur. Laboratuvarlar arasında fiyat politikaları rekabet adına her geçen gün biraz daha düştüğü için bir soğuk oda kalibrasyonu çoğunlukla layığı ile yapılamıyor. Bir soğuk oda kalibrasyonu kayıt alma sistemi kullanarak yapılır ve iç hacim sıcaklığı homojen dengeye ulaşması ve stabil olması için ortalama 30 dak. fazla zaman gerekiyor.

2.5.Terazi Kalibrasyonu

Teraziler, Otomatik Olmayan Terazi yükün yük taşıyıcısı üzerine konulmasında, kaldırılmasında ve tartım sonuçlarının alınmasında bir operatörün müdahalesini gerektiren tartım cihazıdır.

Terazinin min. ve max. Kapasiteleri arasındaki sahadır. Tartım Alanı olarak da adlandırılır.

Kalibrasyonda kullanılan referans kütleler, OIML R111-1 şartlarına uygun referans ekipman Sınıflarına göre kütleler kalibre edilecek terazi sınıfına göre seçilmelidir. E_2 – F_1 – M_1 sınıfı kütleler kullanlır, Terazi Kalibrasyonu Tekrarlanabilirlik, Doğruluk ve köşe testlerinden oluşur. Dikkat edilmesi geren noktalardan biri de terazilerin ısınma süreleri.

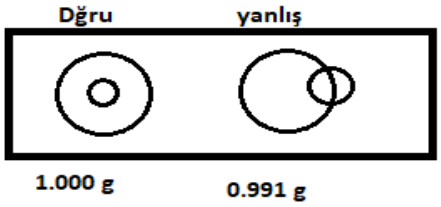
Şekil 2. Terazi Isınma Süreleri

Max/d ≥ 1.000.000	En az 12 saat
1.000.000 > Max/d ≥ 300.000	En az 4 saat
300.000 >Max/d ≥ 30.000	En az 2 saat
30.000 >Max/d ≥ 6.000	En az 30 dakika
6.000 >Max/d	En az 10 dakika

Terazi Kalibrasyonlarında yapılan yanlışlıklar

Terazi sahada en yoğun kullanılan ve cihaz olarak en çok kalibrasyonu yapılanlardandır. Bununla beraber de en çok kullanım hatası yapılan cihaz da terazidir. kalibrasyon esnasında çoğuna müdahale edilen teraziler, su terazisi kayması hava akımına maruz kalması bulunduğu platformun dengesizliği gibi uygulama hataları yapılmaktadır.

∆ En çok yapılan kullanım hatası su terazisinin yerinde olmaması. Su terazisi ayarı herkese göre kolay olmayabiliyor bu konuda kullanıcıya öğrenmesi adına egzersiz yaptırılabilir. Tabloda da görüldüğü gibi su terazisinin doğru uygulanmasını ölçüm ile görünüyor. Su terazisinin kayması genellikle terazinin birimler arası yer değişiminden kaynaklanıyor.



∆ Terazinin kullanıldığı ortam şartları uygunluğunun sağlanması, terazi yer ve zemini sabit olmasını . mümkün olduğunca bunların kalibrasyon öncesi sağlanıp kalibrasyonu gerçekleştirilmeli.

∆ Uygulanan yanlışlıklardan biri de terazinin doğruluk sınıfı dikkate alınmaması. Uygun kapasite ve uygun hassasiyet seçimi genellikle hatalı oluyor.

2.6.SıcaklıkKalibrasyonu

Göstergeli Sıcaklık Ölçer

Göstergeli direnç termometresi direnç termometresi, ısıl çift gibi bir sensor ve gösterge elemanından oluşabilir. Termometre kalibrasyonu gösterge ile birlikte yapıldığında iki eleman için geçerlidir.

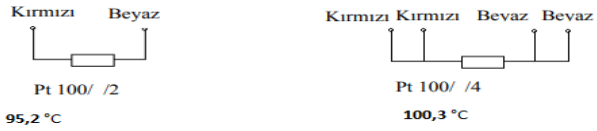
Kalibrasyonda okuma termometreye bağlı olan göstergeden yapılır. Göstergeli termometreler çeşitli tiplerde olabilir. Bunlardan bazıları:

- Analog Termometreler Kadranlı sıcaklık ölçerler; içinde uygun bir gaz, sıvı veya bimetal bobin bulunan hissedici bir metal hazneye bağlı gösterge yapısından oluşur. Direk göstergeye bağlı tip veya hazne ile gösterge arasında belirli bir mesafe bulunan tip olarak bulunabilir.
- Göstergeli Direnç Termometresi: Sıcaklık- direnç referans tablolarına uygun olarak standardize edilmiş PRT sensörlerine sahip termometreler. (Pt100, Pt1000 vb.)
- Göstergeli Isıl çift Termometresi: İki farklı metalden oluşan sıcaklık-gerilim değerlerinin Uluslararası Sıcaklık Skalası-1990(ITS-90) referans tablolarına uygun olarak standardize edilmiş ısıl çift poplu termometreler.
- Göstergeli NTC-PTC Termometresi: Direnç değerleri sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişen türde poplar. NTC, sıcaklık değeri arttıkça direnç değeri azalan; PTC sıcaklık değeri arttıkça direnç değeri artan popların sayısal göstergeye bağlı olduğu termometrelerdir.
- Sıvılı Cam termometreler: Cam içerisinde buluna sıvının sıcaklık ile genleşmesi prensibine dayanır. Alt bölümde bulunan bir haznede sıvı depolanır. Genleşen sıvı yukarı doğru hareket ederek skala üzerinde sıcaklığı belirler. Skala ayrı bir parça olarak monte edilebileceği gibi camın üzerine de çizilmiş olabilir. Sıvı olarak genellikle cıva veya organik sıvılar kullanılır. Kararlı cihazlar özel termometre camından yapılmış olmalıdır.
- Bimetal Analog Termometreler: Bu termometreler, bir metal tüp içerisinde bimetalik şeritten oluşan sarmal şekilli bobinden oluşur. Bu sarmalın bir ucu metal tüpe, diğer ucu ibreye bağlıdır. Farklı sıcaklık uzama katsayılarına sahip iki metalden oluşan bi-metal elemanın sıcaklık değişimi ile oluşan hareketinin ibreye aktarılması ile çalışır. Ölçüm aralığı genellikle -30...+350°C arasındadır. Bu cihazlar daldırma derinliğinden ve ortam sıcaklığından etkilenirler. Kullanıcı için belirli bir daldırma derinliği varsa kalibrasyonda bu dikkate alınmalıdır. Ayrıca bu tip termometrelerin küçük sıcaklık değişimlerini algılama yetenekleri iyi olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Gaz veya sıvı genleşmeli analog termometreler : Bu termometrelerde sıcaklığının değişimiyle sabit hacimli metal hazne içindeki gaz veya sıvının basıncının değişmesi ile, hazneye bağlı bordon tübü hareket ederek bağlı olduğu ibreyi hareket ettirir. . Ölçüm aralığı genellikle -50...+350°C arasındadır. Bu tip termometrelerin de küçük sıcaklık değişimlerini algılama yetenekleri iyi değildir.

Sıcaklık Kalibrasyonlarında yapılan yanlışlıklar

∆ Göstergeli termometreler endüstride genelde Pt100 ve Isıl çift bazlı sensorler kullanılıyor. Yapılan En büyük hatalar ise Pt100 bazlı göstergeler 2 kablo olarak bağlantı yapılıyor. Müşteriye bu sensörler hakkında bilgi verip aralarında olumsuz farkı anlatıp doğru bir şekilde çalışmalarını sağlamak gerekir.



∆ Göstergeli Termometrelerde; Isıl çift bazlı termometre kullanımında yapılan en çok hatalardan biri bağlantı hatalarıdır. Uygun tip ısıl çift olup yanlış tip türdeş kablosu veya yanlış tip ısıl çift olup uygun tip türdeş kablosu en çok görünen senaryolardır. Bunların dışında şöyle hatalar da yapılmakta ısıl çift kablosunun bir kısmı bakır kablo olup devamı ek bağlantı yapıp türdeş kablo olması vs. gibi yanlışlıklar kalibrasyon ölçümünde yüksek sapmalar çıkacaktır. Tüm bağlantılar doğru olup da sapma çok ise gösterge üzerinden ofset ayar ile düzeltme yapılabilir. Tabi tüm bu işlemler firmanın sorumlu olan kişiye yönlendirme yapılarak yapılmalıdır.

SONUÇ

Laboratuvarda ve sahada kalibrasyon hizmetlerinde endüstride olumsuzlukların, hata ve yanlışlıkların önüne geçilmesinde en büyük rol akredite laboratuvarlara düşmektedir. Endüstride kalibrasyon konusunda doğru ölçüm ve yönlendirme, hataları minimize etmek için ticari kaygılardan arınıp ülke katkısına faydalarını da düşünerek tüm laboratuvarlar ortaklaşa fikir birliğinde olmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yetkinliği için genel gereklilikler
[2] R20.42-02 Saha Laboratuvar Faaliyetleri için Kurallar Rehberi
[3] EURAMET-cg-18 Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments
[4] EURAMET-cg-20 Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures
[5] TS EN 60068-3-11/5 İklim Deney Şartlarındaki Performans ve Belirsizlik

ÖZGEÇMİŞ

Erdoğan SÖNMEZ

Erdoğan Sönmez 1979 Kırcaali doğumludur. Ege Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu - Endüstriyel Otomasyon bölümünü 2003 yılında tamamlamıştır. İşletme Fakültesi 3. Sınıf öğrencisi olarak eğitim hayatı devam etmektedir. 2003 yılından bu yana Makina Mühendisleri Odası Kalibrasyon Laboratuvarı ve Metroloji Eğitim Merkezinde (MMO Kamem) saha laboratuvar faaliyetleri sorumlusu olarak, sıcaklık ve terazi alanlarında çalışmalar yürütmektedir. 2015 yılından itibaren MMO Kalmem Müdür vekili olarak görevini yürütmektedir.

AKUSTİK VE TİTREŞİM ALANLARINDA TÜBİTAK UME'NİN KALİBRASYON YETENEKLERİNİN GENİŞLETİLMESİ

Eyüp BİLGİÇ
Enver SADIKOĞLU
Cafer KIRBAŞ
İlkan COŞKUN
Serkan BEŞİROĞLU

ÖZET

TÜBİTAK UME Akustik Laboratuvarı, kurulduğu 1990'lı yıllardan itibaren misyonu gereği akustik ve titreşim alanlarındaki ölçüm birimlerine yönelik ulusal standartları kurmak, bu standartların diğer metroloji enstitülerindeki standartlarla denkliğini sağmak ve oluşturulan standartları ülkenin hizmetine sunmak gibi faaliyetleri yerine getirmektedir. Oluşturulan ölçüm standartlarının ülke içerisine yayılması, nihai kullanıcıların dönüştürücü ve ölçüm cihazlarının kalibrasyonları aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Akustik Laboratuvarı'nın geniş kapsamlı olarak kalibrasyon ve ölçüm alt yapısı 1994 yılında kurulmuştur. Zaman içerisinde bu alt yapıda, standartların revize olması, ölçüm cihazlarının teknolojik olarak gelişmesi ve müşteri kalibrasyon/ölçüm taleplerindeki kapsam genişlemesine bağlı olarak birtakım iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Ancak bugünkü durumda ölçüm alt yapısında kapsamlı iyileştirme gereksinimi ortaya çıkmıştır. "TÜBİTAK UME Araştırma Altyapısı Yenileme ve Geliştirme Projesi" kapsamında; birincil seviyeli mikrofon kalibrasyonlarının alt frekansının 1 Hz'e indirilmesi ve mikrofon kompleks hassasiyetinin faz bileşeninin belirlenmesi, birincil seviyeli ivmeölçer kalibrasyonunda çizgisel ivme için frekans bölgesinin 0,4 Hz – 20 kHz aralığına genişletilmesi, sismometre cihazlarının mekanik olarak uyarılabilmesi ve şok standardının oluşturulması sağlanmıştır. Bu bildiride TÜBİTAK UME Akustik Laboratuvarı'nın genişletilmiş olan kalibrasyon yetenekleri tanıtılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akustik, Titreşim, Kalibrasyon, İzlenebilirlik, Şok Standartları.

ABSTRACT

Since its establishment in the 1990s, in line with its mission, TÜBİTAK UME Acoustics Laboratory carry out activities for realization of national standards for measurement units in acoustics and vibration areas to ensure the equivalence of these standards with the standards of other metrology institutes and to dissiminate these standards users. Dissemination of the standards is made by means of calibrations of transducers and measuring devices those belongs to the users. The extensive calibration and measurement infrastructure of the Acoustics Laboratory was established in 1994. Over the time, a number of improvements have been made to this infrastructure due to the revision of standards, the modernization of measuring devices, and the expansion of the calibration / measurement demand scope of customers. However, the necessity of comprehensive improvement of the measurement infrastructure has emerged at this point reached today. The improvement includes both the widening of the upper and lower frequency ranges in the acoustic and vibration fields, as well as increasing the number of measurement quantities provided for calibration. The extension of the lower frequency of the primary level microphone calibrations to 1 Hz and determination of the phase of the microphone complex sensitivity, expanding the frequency range of primary level accelerometer calibration from 0.4 Hz to 20 kHz for linear acceleration, mechanical excitation of seismometer devices and realization of shock standards has been provided in scope of the "Renewal and Development Project of TÜBİTAK UME's Research Infrastructure". This paper outlines recently expanded calibration capabilities of TÜBİTAK UME Acoustics Laboratory.

Key Words: Acoustics, Vibration, Calibration, Traceability, Shock Standards

1. GİRİŞ

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Akustik Laboratuvarı, misyonu gereği akustik ve titreşim alanlarındaki ölçme birimlerine yönelik ulusal standartları kurmak, bu standartların diğer metroloji enstitülerindeki standartlarla denkliğini sağmak ve oluşturulan standartları ülkenin hizmetine sunmak gibi faaliyetleri yerine getirmektedir. Bu kapsamda kurulduğu yıldan bu yana mevcut alt yapısı dahilinde Türk Endüstrisinin kalibrasyon ve deney alanındaki taleplerini karşılamaktadır. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak endüstride yapılan ölçümler çeşitlenmiş, kullanılan yeni ölçüm cihaz ve dönüştürücüleri geliştirtirmiş ve bunlara bağlı olarak da standartlar oluşturulmuş veya revize edilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümlerin güvenirliliği büyük ölçüde, ölçümlerde kullanılan cihaz ve dönüştürücülerin kalibrasyonlu olmasına bağlıdır. Ülke içerisindeki birincil seviyeli kalibrasyon taleplerini karşılamak ve bunların izlenebilirliğini sağlamak Ulusal Metroloji Enstitülerinin ana görevlerindendir. Bu kapsamda TÜBİTAK UME'de, UME Araştırma Altyapısı Yenileme ve Geliştirme Projesi başlatılmıştır. Proje dâhilinde Akustik Laboratuvarında akustik ve titreşim alanlarındaki ulusal standartların oluşturulmasına yönelik ölçüm düzenekleri yenilenmiş ve kapsamları genişletilmiştir.

2. AKUSTİK ALANINDA YAPILAN KAPSAM GENİŞLETMESİ

Akustik alanında, ses basınç birimi Pascal'ın laboratuvar ortamında oluşturulması Laboratuvar standardı niteliğindeki mikrofonların kalibrasyonları ile sağlanmaktadır. Mikrofonların özellikleri IEC 61094-1 standardında tanımlanmıştır [1]. Laboratuvar standardı mikrofonların birincil seviyeli kalibrasyonları, kapalı bir hacim içerisindeki ses basıncı veya serbest alan şartlarındaki ses basıncı uygulamasına göre yapılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler IEC 61094-2 ve IEC 61094-3 standartlarında tarif edilmiştir [2, 3]. TÜBİTAK UME'de, akustik alanındaki birincil standart, IEC 61094-2 numaralı standartla tanımlanan, laboratuvar standardı mikrofonların karşılıklık yöntemine göre basınç kalibrasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Yöntemin uygulanabilmesi için 3 adet Laboratuvar standardı mikrofon gereklidir. Frekans bölgesi de dikkate alındığında kalibrasyon sisteminde, 3 adet 1″ çapında ve 3 adet 1/2″ çapında laboratuvar standardı mikrofon kullanılmaktadır.

Son dönemlerde işitme konusu üzerinde yapılan çalışmalar, işitme kaybı olan kişilerin kullandıkları işitme cihazlarının karakterizasyonlarının önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu kapsamda TÜBİTAK UME uluslararası düzeydeki araştırma projelerine katılmıştır [4]. İnsan kulağını simüle eden kulak simülatör cihazlarının frekans tepkisi, kullanılan referans mikrofonun hassasiyetinin faz bileşeni olmaksızın elde edilememektedir. IEC 61094-2 standardında tanımlı olan yöntemin kullanılması sonucunda, laboratuvar standardı mikrofonların kompleks hassasiyetleri bulunabilmektedir. Kompleks hassasiyet, hassasiyetin büyüklüğü ve hassasiyet faz bileşeninden oluşmaktadır. Hassasiyet büyüklüğü V/Pa birimi veya dB ref. 1 V/Pa birimi ile hassasiyet faz bileşeni ise açı birimi olan derece ile verilmektedir.

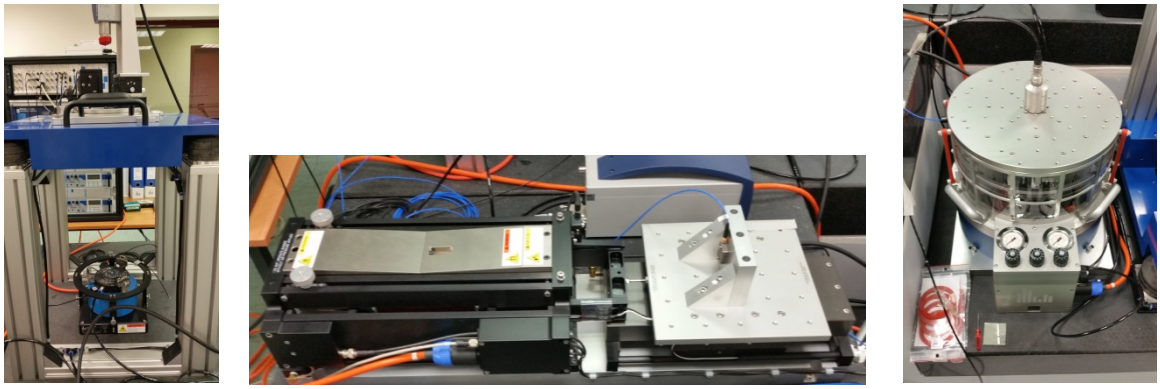
TÜBİTAK UME Araştırma Altyapısı Yenileme ve Geliştirme Projesi kapsamında akustik alanında yenilen kalibrasyon alt yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Laboratuvar standardı mikrofonların karşılıklık yöntemine göre basınç kalibrasyonu sistemi

Akustik alanında, yenilenen birincil seviyeli kalibrasyon sistemi ile 1″ çapındaki laboratuvar standardı mikrofonların kalibrasyonları 1 Hz - 10 kHz aralığında, 1/2″ çapındaki laboratuvar standardı mikrofonların kalibrasyonları 1 Hz – 31,5 kHz aralığında yapılabilmektedir. Kalibrasyonlar genellikle 1/1 veya 1/3 oktav bant merkez frekanslarında yapılmaktadır. Bunun dışında, gerekli olan durumlarda da maksimum 1/24 oktav bant merkez frekanslarında da yapılabilmektedir. Kalibrasyon sonrasında mikrofonların büyüklük ve faz bileşenlerinden oluşan kompleks hassasiyet değerleri elde edilmektedir. Elde edilen bu çıktılar, ülke içerisinde yapılan akustik ölçüm ve testler için izlenebilirlik sağlamaktadır.

3. TİTREŞİM ALANINDA YAPILAN KAPSAM GENİŞLETMESİ

Titreşim alanında, çizgisel ivme birimi olan m/s²'nin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi referans standardı ivmeölçerlerin kalibrasyonları ile sağlanmaktadır. Referans standardı ivmeölçerlerin birincil seviyeli kalibrasyonları, belirli frekanslarda sinüzoidal tipteki çizgisel ivmeye maruz bırakılan ivmeölçerlerin elektriksel çıkışlarının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Çizgisel ivme için referans standardı ivmeölçerlerin kalibrasyonunda kullanılan yöntem ISO 16063-11 standardında tanımlanmıştır [5]. Yöntemin uygulanması sırasında sadece kalibre edilen referans standardı ivmeölçerin kendisi yeterlidir. Yapılan kalibrasyonların frekans aralığı ve dönüştürücünün kütlesine bağlı olarak titreşim üretmede farklı titreşim uyarıcılar gereklidir. Bu yaklaşım ile birlikte, birincil seviyeli ivmeölçer kalibrasyonunda frekans bölgesinin 0,4 Hz – 20 kHz'e genişletilmesi, üç farklı titreşim uyarıcı kullanılmıştır. Kurulan kalibrasyon sistemi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Yüksek Frekans
5 Hz < f <20 kHz

Yatay Uyarıcı
0,4 Hz < f < 160 Hz

Dikey Uyarıcı
0,4 Hz < f < 400 Hz

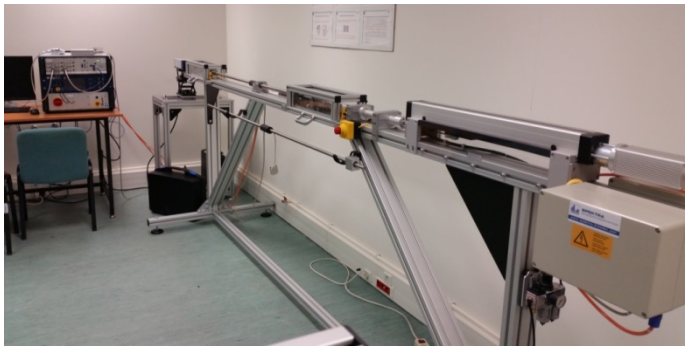
Şekil 2. Referans standardı ivmeölçerler için birincil kalibrasyon sistemi

İvmeölçerler, yaygın olarak titreşim ölçümlerinde ve testlerde, Ar-Ge çalışmalarında kullanılmaktadır. Kullanıldıkları alanlar, sahip olmaları gerekli özellikleri belirler. Yer kabuğu hareketleri gibi çok düşük ivme ve frekans özelliklerine sahip zemin hareketlerinin izlenmesinde yaygın olarak sismometre, geofon (geophone) vb. isimlerle bilinen dönüştürücüler/sistemler kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerden, monte edildikleri konumlarda birbirine dik üç eksende, örneğin kartezyen koordinat sistemine göre, zemin titreşimlerini algılamaları beklenmektedir. Mekanik kalibrasyonlar sırasında bu sistemlerin normal kullanımlarındaki montaj şekline göre uyarılmaları gerekmektedir. Pratikte bu durum, yatay ve düşey olarak periyodik titreşim sağlayan titreşim uyarıcılar ile karşılanabilmektedir. Şekil 2'de verilen kalibrasyon sistemi ile sismometre, geofon vb. sistemlerin mekanik kalibrasyonları yapılabilir durumdadır.

Mekanik hareket sonucu bir yüzeyin veya makine parçasının çizgisel ivmelenme, yer değiştirme ve hız ölçümleri temassız olarak da yapılabilmektedir. Bu amaç için lazer enterferometreler kullanılmaktadır. Ölçüm sisteminin taşınabilir olması ve/veya ölçümlerdeki gerekli optik ayarlamanın pratik yapılması söz konusu olduğunda, enterferometre sistemi bir paket halinde karşımıza çıkar. Bu tip cihazlar genel

olarak vibrometre adını almaktadır. Uygulama aşamasında vibrometrenin lazer ışığını, ölçümü yapılacak nesne üzerinde uygun şekilde konumlandırmak yeterlidir. Doğal olarak her ölçüm yapan cihaz/sistem gibi vibrometre cihazlarının da kalibrasyon ihtiyaçları vardır. Bu kapsamdaki kalibrasyonlar, ISO 16063-41 standardında tanımlanmıştır. Şekil 2'de verilen kalibrasyon sistemindeki yüksek frekanslı titreşim uyarıcı, titreşim kaynağı olarak kullanılabilmektedir.

Titreşim alanında diğer dinamik büyüklüklerden biri de şok büyüklüğüdür. Şok terimi, genel olarak kısa zaman aralığında büyük genlikli ivmelenme için kullanılmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, uygulama yönüyle şok, çizgisel ivmelenmeden farklılık göstermektedir. Şok büyüklüğü, geliştirilen araç/cihaz/sistem vb. ürünlerin; depolama, taşınma ve çalışma gibi süreçlerinde maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı dayanım testlerinde karşımıza çıkmaktadır. Test sistemlerinde kullanılan ivmeölçerin kalibrasyonlarının yapılmış olması testlerin güvenirliğini arttırmaktadır. Şok alanında kullanılan dönüştürücülerin izlenebilirliğini sağlamada kullanılan birincil kalibrasyon sistemi ISO 16063-13 standardında tanımlanmıştır [7]. Bu kapsamda (500 – 200000) g aralığını kapsayan birincil şok kalibrasyon sistemi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Şok dönüştürücüler için birincil kalibrasyon sistemi

Titreşim alanında kurulan yeni sistem ile sayısal çıkışlı ivmeölçerlerin kalibrasyonlarının yapılması da amaçlanmıştır. Bu aşamada belirli bir konfigürasyona sahip sayısal çıkışlı ivmeölçerlerin karşılaştırmalı kalibrasyonları da yapılabilecektir. Kurulu olan yeni sistemle, bu yöndeki kullanımı çok önerilmese de birincil seviyede kalibre edilmiş referans dönüştürücülerine bağlı olarak ikincil seviyeli kalibrasyonlar da yapılabilmektedir.

SONUÇ

TÜBİTAK UME Araştırma Altyapısı Yenileme ve Geliştirme Projesi kapsamında Akustik Laboratuvarında bulunan akustik ve titreşim alanlarındaki mevcut kalibrasyon yetenekleri geliştirilmiş, şok ve lazer vibrometrelerin birincil seviyeli kalibrasyonları için kalibrasyon sistemleri ilk kez kurulmuştur.

Kurulan bu sistemlerin uluslararası sisteme entegrasyonu ve kalitesinin temini faaliyetleri kapsamında, akustik alanı için Eylül 2019, titreşim alanı için Kasım 2019 döneminde uluslararası düzeyde anahtar karşılaştırmalara katılım sağlanacaktır. Karşılaştırmalardan elde edilen olumlu sonuçlar, TÜBİTAK UME'nin uluslararası ölçekte tanınırlığını gösteren ve Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun Anahtar Karşılaştırma Veri Tabanı'nda (KCDB) yeni kalibrasyon ve ölçüm yetenekleri verilerinin yayınlanabilmesi için teknik kanıtları oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

[1] IEC 61094-1:2000: Measurement microphones - Part 1: Specifications for laboratory standard microphones
[2] IEC 61094-2:2009: Measurement microphones - Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
[3] IEC 61094-3:2016: Electroacoustics - Measurement microphones - Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
[4] EURAMET EMPIR Projesi, “15HLT03 Ears II - Metrology For Modern Hearing Assessment And Protecting Public Health From Emerging Noise Sources”
[5] ISO 16063-11:1999 Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 11: Primary vibration calibration by laser interferometry
[6] ISO 16063-41:2011 Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 41: Calibration of laser vibrometers
[7] ISO 16063-13:2001, Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 13: Primary shock calibration using laser interferometry

ÖZGEÇMİŞ

Eyüp BİLGİÇ

1966 yılı Ankara doğumludur. 1988 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendislik Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Anadolu Üniversitesi’den Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nden Doktor ünvanı almıştır. 1991 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarında çalışmaktadır. Halen Akustik Laboratuvarı sorumlusu, TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde Baş denetçi, teknik alanda denetçi olarak görev yapmaktadır.

Enver SADIKOĞLU

1969 yılı Bakü doğumludur. 1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Bölümü’nde Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Yarıiletken Fiziği Araştırma Laboratuvarı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2001 yılında Azerbaycan Bilimsel Akademisi Fotoelektronik Enstitüsü’nde doktora çalışmasını tamamlamıştır. 1993 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Akustik Laboratuvarlarında Başuzman Araştırmacı olarak ve TÜBİTAK UME’nin Kalite Yöneticisi görevlerini yapmaktadır. 2009 yılından beri Avrupa Metroloji Enstitüler Birliği (EURAMET)’nde Kalite Yöneticiliği görevini yürütmekte, ayrıca TÜRKAK Laboratuvar ve diğer ülkelerin akreditasyon kurumları tarafından düzenlenen akreditasyon denetimlerinde baş denetçi ve teknik denetçi olarak görev almaktadır.

Cafer KIRBAŞ

Ankara’da 1969 yılında doğmuştur. 1996 Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik bölümünden mezun olmuştur. Aynı üniversiteden 1999 yılında kapasitif mikrofonların davranışlarının teorik olarak incelenmesi konusunda Yüksek Lisans derecesi almıştır. Şu an Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünde katmanlı yarı iletken ferroelektrik malzemelerdeki kusurların ses hızı yöntemiyle araştırılması konusunda doktora yapmaktadır. 1996 yılında Araştırmacı olarak başladığı Akustik Laboratuvarında şu an Başuzman Araştırmacı olarak görev almaktadır. Çok sayıda projelerde araştırmacı ve yürütücü olarak görev almış ve yine akustik alanında çok sayıda konferans bildirisi ve bilimsel makalesi bulunmaktadır.

İlkcan COŞKUN

1987 yılı İzmit doğumludur. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2015 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamlamıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine devam etmektedir. Ayrıca Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü'nü 2014 yılında bitirmiştir. Bir müddet T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nda Mekatronik Mühendisi olarak çalıştıktan sonra, 2011-2017 yılları arasında Türk Standardları Enstitüsü Makine Laboratuvarı Müdürlüğü'nde Deney Personeli, Kalibrasyon Müdürlüğü'nde Elektriksel Kalibrasyon Laboratuvarı Sorumlusu, Anadolu Yakası İthalat Müdürlüğü'nde ise Denetçi olarak görev almıştır. 2017 yılından bu yana TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarı'nda Uzman Araştırmacı olarak çalışmaktadır. Ayrıca TÜRKAK denetçi havuzunda teknik uzman olarak yer almaktadır.

Serkan BEŞİROĞLU

1976 yılı İstanbul doğumludur. 1994 yılında Gebze Endüstri Meslek Lisesi'nde mezun olmuştur. 1995-1997 yılları arasında Süperlas Fabrikasında Elektronik teknisyeni olarak çalışmış, 2002 - 2014 yılları arasında TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü'nde çalışarak çeşitli projelerde görev almıştır. 2014 yılından bu yana TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarı'nda Uzman Teknisyen olarak çalışmaktadır.

MİKROFON ÖNYÜKSELTEÇLERİNİN FREKANS TEPKİSİNE MİKROFON KAPASİTANSI ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Eyüp BİLGİÇ
Gülay GÜLMEZ

ÖZET

Kapasitif mikrofonlar; kararlılık, doğrusallık, geniş frekans ve dinamik bölgelerinde kullanılabilme özellikleri nedeni ile ses basınç düzeyi ve ses şiddet düzeyi ölçümlerinde tercih edilmektedir. Kapasitif mikrofonların yapısı gereği yüksek empedans değerleri, bağlı oldukları ön yükselteçler aracılığı ile düşük empedansa dönüştürülür; böylelikle mikrofonların maruz kaldıkları ses basıncına karşılık üretmiş oldukları elektriksel sinyaller ölçülebilir. Ölçme amacına göre mikrofon ve mikrofon ön yükselteçleri uygun olarak eşleştirilmelidir. Genel olarak mikrofon ön yükselteçlerinin, kendilerine takılı olan mikrofonların ürettiği sinyallere herhangi bir kazanç ve/veya filtreleme yapması beklenmez. Ancak, mikrofon ön yükselteçlerinin düşük frekans bölgesindeki frekans tepkileri, takılı mikrofon kapasitansına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu bildiride, mikrofon ön yükselteçlerinin, mikrofon kartuşları yerine kullanılabilen farklı kapasitans değerine sahip mikrofon simülatörü kullanılarak yapılan kalibrasyonları ve sonuçları sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akustik, Kapasitif Mikrofon, Mikrofon Ön yükselteci, Frekans Tepkisi

ABSTRACT

Condenser microphones are preferred in sound pressure level and sound intensity level measurements because of their properties such as stability, linearity and usability in wide frequency and dynamic range. High impedance value of the condenser microphones, due to their mechanical structure, is converted to low impedance by the preamplifiers they are connected, thus the electrical signals generated by the microphones in response to the sound pressure they are subjected to can be measured. The microphone and microphone preamplifiers must be matched for the purpose of the measurement. In general, microphone preamplifiers are not expected to gain and/or filter any signals generated by the microphones attached to them. However, the frequency responses of the microphone preamplifiers in the low frequency region may vary depending on capacitance of the microphone attached. In this paper, calibration and results of microphone preamplifiers using a microphone simulator with different capacitance values that can be used instead of microphone cartridges is presented.

Key Words: Acoustics; Condenser Microphone, Microphone Preamplifier, Frequency Response.

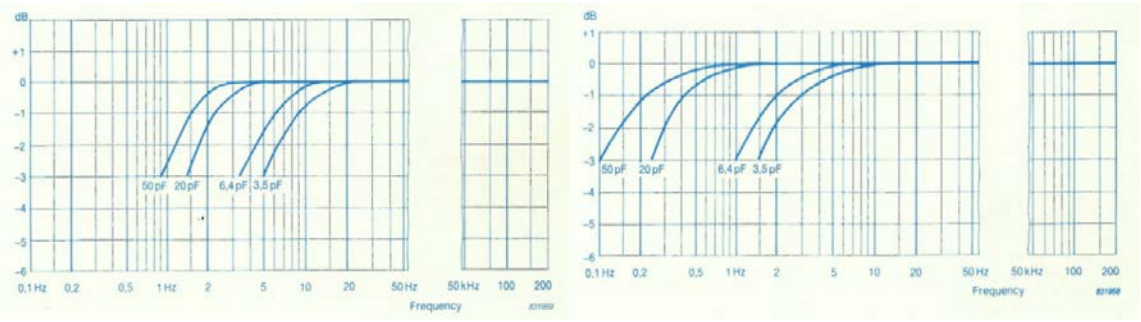
1. GİRİŞ

Ses ve gürültü ölçümlerinde, farklı yapısal özeliklere sahip mikrofonlar kullanılmaktadır. Mikrofonların çalışma prensiplerine bağlı olarak gerilim kaynakları, direnç köprüleri, gerilim ölçme devreleri vb cihaz ve elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Metrolojik amaçlı ses ve gürültü ölçümlerinde kullanılan kapasitif mikrofonların özellikleri ve kalibrasyon yöntemleri “IEC 61094 Measurement Microphones” isimli standardın Bölüm 1 – Bölüm 8’de tanımlanmıştır. Bu standartlarda, mikrofonlara takılan mikrofon ön yükselteçlerinin hem mekanik hem de bazı elektriksel özellikleri de ayrıca tanımlanmıştır. Kapasitif

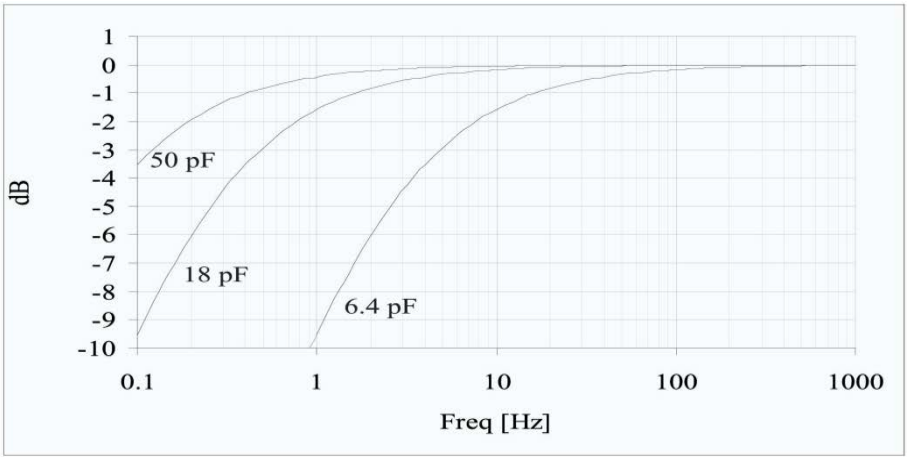
mikrofon, ses basıncı etkisi altında iken diyaframına etkiyen basınç etkisi ile yük ve dolayısı ile gerilim oluşturur. Oluşan bu gerilim, mikrofon kapsülünün (cartridge) bağlı olduğu ön yükselteç aracılığı ile ölçüm ve analiz sistemlerine aktarılır. Ölçülebilen minimum ve maksimum ses basınç düzeyi değeri, sadece mikrofon kapsülüne bağlı olmayıp, mikrofon ön yükseltecine de bağlıdır. Mikrofon ön yükselteci kimi zaman ölçülen ses basıncı ve frekans aralığını (dinamik bölge) kısıtlamaktadır. Kullanışlı ölçüm aralığı için üreticiler, hem mikrofon hem de ön yükselteçlerin özellikleri değerlendirerek belirli eşleştirmeler yapmaktadırlar. Genel olarak mikrofon ön yükselteçlerinin, kendilerine takılı olan mikrofonların ürettiği sinyallere herhangi bir kazanç ve/veya filtreleme yapması beklenmez. Ancak, mikrofon ön yükselteçlerinin düşük frekans bölgesindeki frekans tepkileri, takılı mikrofon kapasitansına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu bildiride, mikrofon ön yükselteçlerinin, mikrofon kartuşları yerine kullanılabilen farklı kapasitans değerine sahip mikrofon simülatörü kullanılarak yapılan kalibrasyonları ve sonuçları sunulmaktadır.

2. MİKROFON ÖN YÜKSELTECİ ve FREKANS TEPKİSİ

Kapasitif mikrofonların elektriksel uçlarındaki empedans çok büyük olduğundan, ses basıncı etkisi altında ürettiği gerilim doğrudan ölçülemez. Empedans uyumlaştırması için mikrofon ön yükselteci adı verilen elemanlar kullanılmaktadır. Ön yükselteçlerin frekans bağımlılığının olmaması diğer bir deyişle tepkilerinin frekansa göre değişmemesi ve gelen sinyal üzerinde kazanç veya zayıflatma yapmaması beklenir. Ön yükselteç üreticileri, ürünlerinin teknik özeliklerini kullanım kılavuzlarında ve ayrıca internet sayfalarında kullanıcılar ile paylaşmaktadır. Mikrofon ön yükselteçlerinin, uçlarına bağlanan mikrofonların kapasitans değerlerine bağlı olarak verilen frekans tepkilerine örnek olması için Şekil 1 ve Şekil 2'deki üretici bilgileri verilebilir.



Şekil 1. Mikrofon ön yükselteci frekans tepkisi, [1] solda B&K Tip 2645, sağda B&K Tip 2639

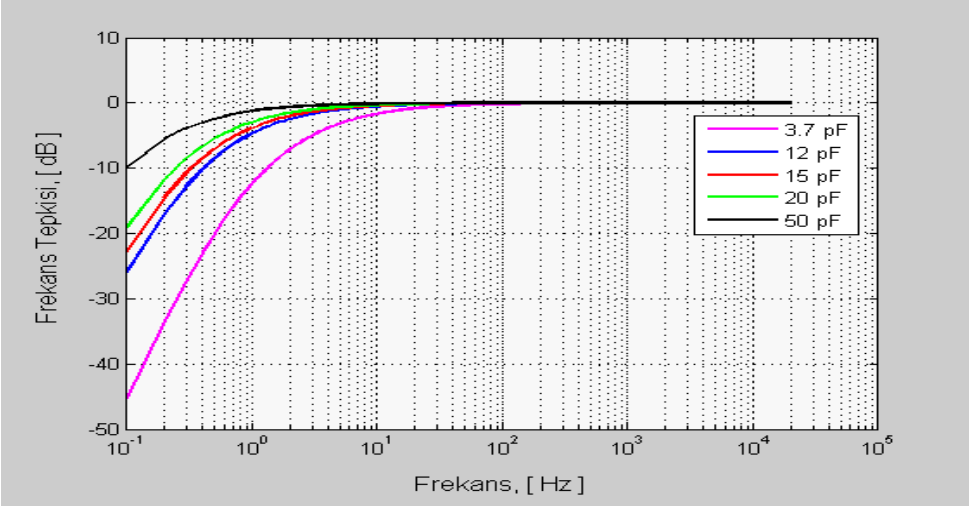


Şekil 2. Mikrofon ön yükselteci frekans tepkisi, GRAS Tip 26AG [2]

3. MİKROFON ÖN YÜKSELTECİNİN KALİBRASYONU

Şekil 1 ve 2'den görüleceği üzere mikrofon ön yükselteçlerin frekans tepkisi, diğer bir deyişle transfer fonksiyonu olarak adlandırılan bu özellik üreticiye ve modele göre değişiklik göstermektedir. Mikrofon ön yükselteçlerin girişlerine uygulanan sinyal bilindiği takdirde çıkışından ölçülen sinyal ile frekans tepkileri elde edilebilir dolayısı ile kalibrasyonları yapılabilir. Normal kullanım koşullarında ön yükselteç, kapasitif mikrofonla birlikte kullanılmaktadır. Bu bağlantı şekli ile ortamdaki ses basınç sinyallerine karşılık mikrofon kartuşu, ön yükseltece elektriksel sinyaller uygulamaktadır. Mikrofon kapasitif özellik gösterdiğinden, mikrofon kartuşunun ön yükseltece mekanik bağlandığı gibi bağlanabilen bir kapasitör, frekans tepkisi ölçümlerinde kullanılabilecektir.

Üreticiler mikrofon da dahil olmak üzere tüm ölçüm zincirinin durumunu test etmek için ölçme yöntemleri geliştirmişlerdir. Bunlardan birisi de Yük Enjeksiyonu Kalibrasyon (Charge Injection Calibration) tekniğidir [3]. Diğer taraftan mikrofon hassasiyetini elde etmek için Eşdeğer Gerilim Yöntemi (Insert Voltage Technique) de kullanılmaktadır [3]. Akustik ve titreşim alanında kullanılan sinyal şartlandırıcıların kalibrasyonlarına yönelik TÜBİTAK UME'de yapılan çalışmalarla ilgili teknik raporlar hazırlanmış ayrıca çeşitli kongrelerde sunulmuştur [4-6]. Kaynak [3]'te verilen eşitlikler incelenmesi sonrasında, kullanılan mikrofon ön yükseltecinin frekans tepkisi için teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, ön yükseltecin giriş kapasitansı yaklaşık 0,3 pF, direnci yaklaşık 50000 GΩ alınmıştır. Mikrofonları simüle etmek için 3,7 pF, 12 pF, 15 pF, 20 pF ve 50 pF değerlerine sahip mikrofon adaptörleri kullanılmıştır. Matlab yazılımı kullanılan hesaplamalarda elde edilen frekans tepkisi eğrisi Şekil 3'te verilmiştir.

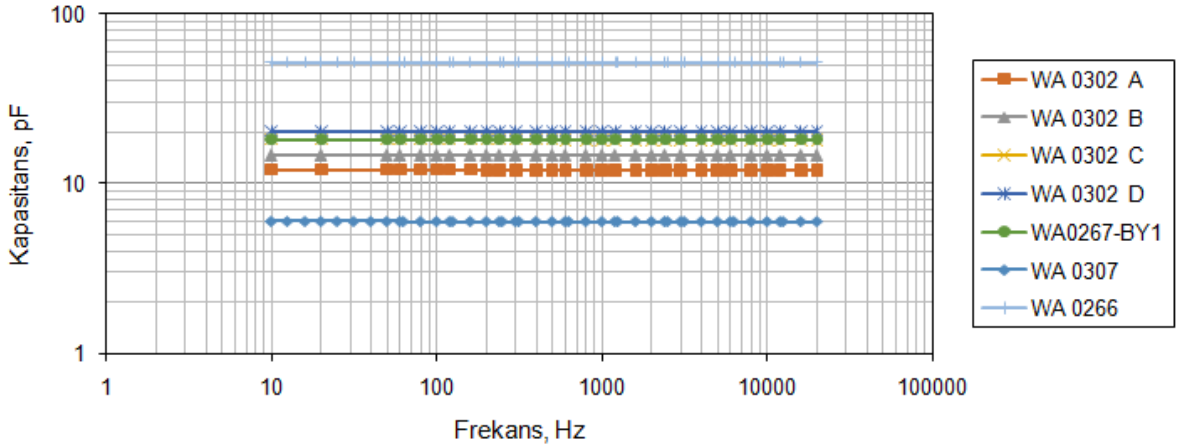


Şekil 3. Farklı mikrofon kapasitansına karşılık mikrofon ön yükseltecinin hesaplanan frekans tepkileri

TÜBİTAK UME'de mikrofon ön yükselteçlerin frekans tepkisini elde etmek diğer bir deyişle kalibrasyonlarını yapmak için ölçüm düzeneği kurulmuştur. Ölçüm düzeneğinde, Kararlı sinüzoidal sinyal üretebilen sinyal kaynağından elektriksel sinyaller ön yükseltece bağlı olan mikrofon adaptörlerine uygulanmaktadır. Mikrofon adaptörü ve mikrofon ön yükseltecin bağlı olduğu durum Şekil 4'de verilmiştir. Mikrofon adaptörüne uygulanan girişi gerilimi ve mikrofon ön yükselencinin çıkışındaki gerilim HP 3458A ve Agilent 3458A Sayısal voltmetreleri ile ölçülmektedir. Çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranı temel olarak ön yükseltecin frekans tepkisini oluşturmaktadır.

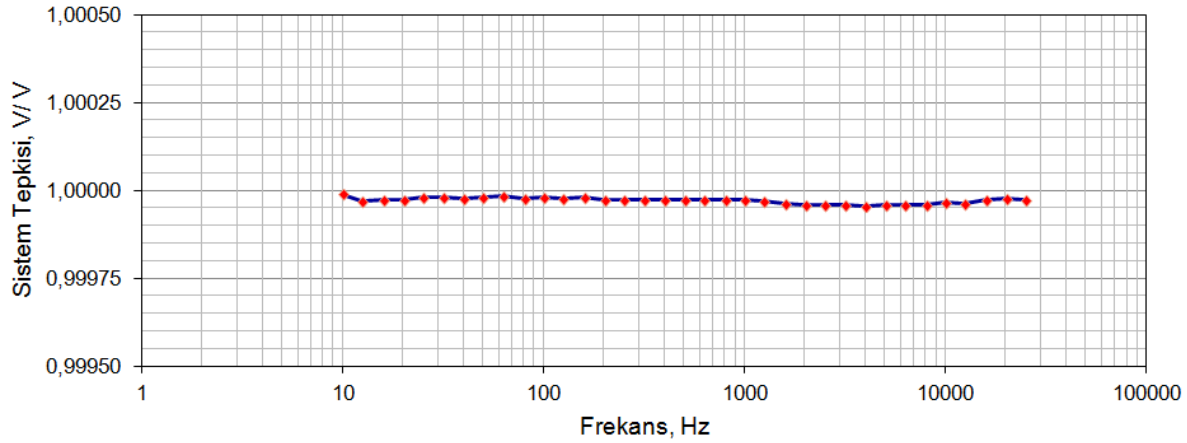
Şekil 4. Frekans tepkisi ölçümleri için mikrofon adaptörü ve ön yükseltecin bağlı olduğu durum

Ön yükselteçlerin frekans tepkisi ölçümlerinde farklı kapasitans değerlerine sahip mikrofon adaptörleri kullanılmıştır. Bu adaptörlerin frekans bağımlılıklarını incelemek için TÜBİTAK UME Empedans Laboratuvarın'da kalibrasyonları yaptırılmıştır. Kalibrasyon sonucunda elde edilen kapasitans değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Mikrofon adaptörlerinin nominal kapasitans değerleri WA 0302A = 12 pF, WA 0302B = 15 pF, WA 0302C = 18 pF, WA 0302D = 20 pF, WA0267 = 18,2 pF, WA 0307 = 5,98 pF ve WA0266 = 51,72 pF'tır.



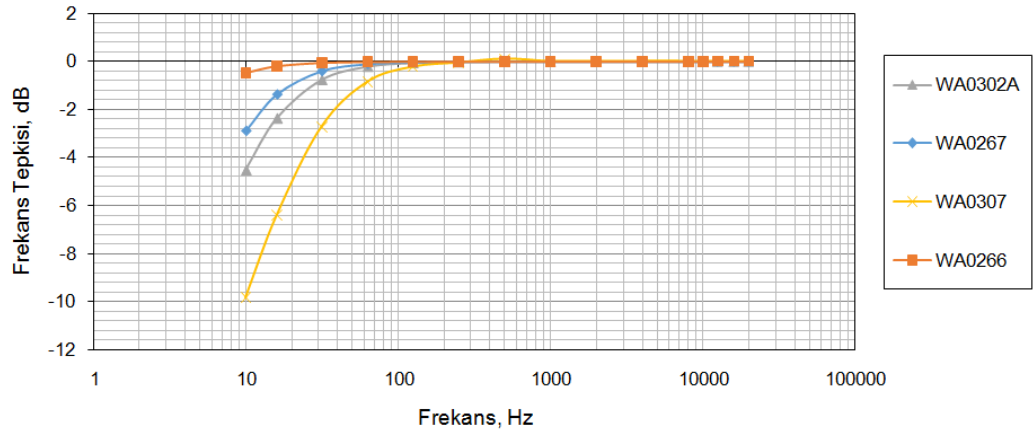
Şekil 5. Değerleri 6 pF – 50 pF aralığında değişen mikrofon adaptör kapasitansının frekans bağımlılıkları

Mikrofon ön yükseltecinin çıkışı, 7 pinli ön yükselteç kablosu ile birlikte bir besleme kaynağına bağlanmıştır. Bu kaynak, ön yükselteci çalışabilmesi için gerekli olan besleme gerilimini sağlamaktadır. Mikrofon adaptörüne uygulanan sinyal, ön yükselteçten geçtikten sonra besleme kaynağından çıkmaktadır. Besleme kaynağının ölçümler üzerindeki tepkisini görmek özel bir kablo kullanılarak, 7 pinli besleme kaynağı giriş soketine, sadece ön yükseltecin çıkış sinyalinin bağlandığı ucuna 10 Hz – 25 kHz aralığında 50 mV sinyal uygulanarak çıkışındaki gerilim değeri ölçülmüştür. 50 mV/Pa hassasiyetine sahip bir mikrofon kapsülüne 94 dB re 20 µPa ses basınç düzeyi uygulanırsa 50 mV değerinde sinyal üreteceğinden besleme kaynağının sistem tepkisi 50 mV değerindeki sinyallerle yapılmıştır. 1 V değerindeki sinyaller de kullanılabilir. Ölçümlerde kullanılan besleme kaynağının sistem tepkisi Şekil 6'da verilmiştir.



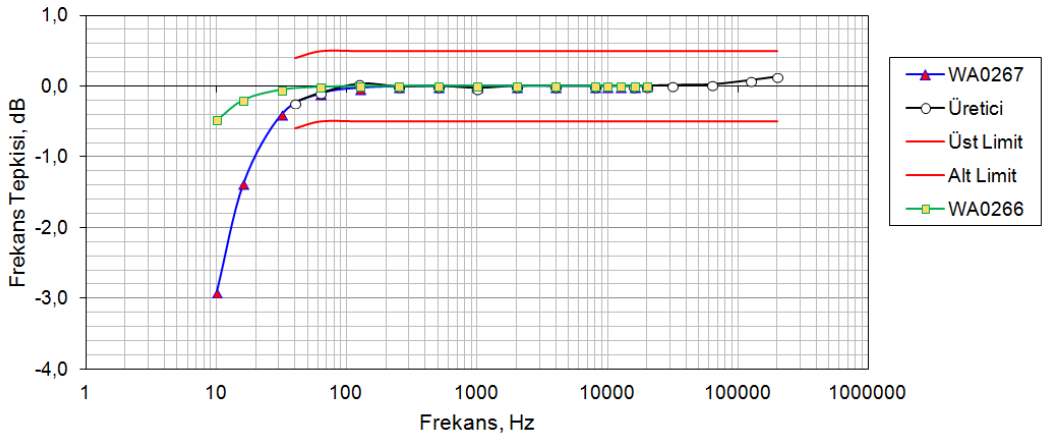
Şekil 6. Ön yükseltece gerekli olan besleme gerilimini sağlayan kaynağının ön yükselteç çıkış gerilimi ölçümlerinde kullanılan giriş ve çıkış uçları için sistem tepkisinin frekans bağımlılığı

TUBİTAK UME Akustik Laboratuvarında 10 Hz – 20 kHz aralığında yapılan ön yükselteç frekans tepkisi ölçüm sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ön yükseltecin farklı mikrofon adaptörleri kullanılarak elde edilen frekans tepkileri

TÜBİTAK UME'de kalibre edilen mikrofon ön yükselteci frekans tepkisi sonuçları ve bununla aynı model ancak farklı bir ön yükseltecin, üreticisi tarafından yapılan akredite kalibrasyon sonuçları Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Aynı model ön yükseltecin TÜBİTAK UME ve Üreticisi tarafından yapılan kalibrasyonlarından elde edilen frekans tepki değerleri

SONUÇ

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde bulunan bir adet ön yükseltecin kalibrasyonu yapılmış ve frekans tepkisi değerleri, farklı kapasitans değerlerine sahip mikrofon adaptörleri için elde edilmiştir. Buna göre:

Teorik hesaplama sonuçlarının verildiği Şekil 3 ile deneysel ölçüm verilerinin verildiği Şekil 7 karşılaştırılırsa her iki sonucun benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Düşük frekans bölgesindeki ölçümler, teorik değerlerden kısmen sapma göstermektedir.

Diğer taraftan Şekil 8'de verilen sonuçlar sadece mertebe olarak değerlendirildiğinde, ön yükselteç frekans tepkilerinin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları görülmektedir.

Ön yükselteçlerin düşük frekans bölgesindeki tepkileri, kendilerine takılan mikrofonların dolayısı ile mikrofon adaptörlerinin kapasitörlerine bağlı olarak değişenlik göstermektedir. Bu nedenle ön yükselteçlerin kalibrasyonları yapılırken, bu ön yükselteçle birlikte kullanılan mikrofon kapasitans değerinin dikkate alınması gereklidir. Buna yönelik bir bilgi bulunmaması durumunda ise büyük kapasitans değerine sahip mikrofon adaptörünün kullanımı tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Master Catalogue, Brüel & Kjaer, May 1989
[2] https://www.gras.dk/products/calibration-equipment/preamplifiers/product/214-26ag
[3] https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp1422.ashx
[4] Bilgic, E., Turhan, E. "Yük Tipi Şartlandırıcı Yükselteç Kalibrasyon Yöntemleri ve TÜBİTAK UME'de Gerçekleştirilen Kalibrasyonları",10. Ulusal Akustik Kongresi, İstanbul(16-17/12/2013):9 s.
[5] Bilgic, E., Gul, E. "Yük Tipi Şartlandırıcı Yükselteçlerin Dönüştürücü Hassasiyeti Kademelerinin Ölçümleri", Gebze : Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarı, 2016
[6] Bilgic, E., N. Alsubaey, F., A. Aladhyani, I., Sadikoglu, E., Kirbas, C. "Current Situations on Vibration Field at NMCC and Calibration of Signal Conditioner ", IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4th TC22 International Conference, Helsinki (30/05-01/06/2017) : 4 p.

ÖZGEÇMİŞ

Eyüp BİLGİÇ

1966 yılı Ankara doğumludur. 1988 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendislik Bölümünü bitirmiştir. 1993 yılında Anadolu Üniversitesi'den Bilim Uzmanı (Yüksek Lisans), 2005 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Doktor ünvanı almıştır. 1991 yılından itibaren TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Akustik Laboratuvarında çalışmaktadır. Halen Akustik Laboratuvarı sorumlusu, TÜRKAK akreditasyon faaliyetlerinde Baş denetçi, teknik alanda denetçi olarak görev yapmaktadır.

Gülay GÜLMEZ

1969 yılında Karaman'da doğdu. 1992 yılında Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1992 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde araştırmacı olarak çalışmaktadır. Empedans metrolojisi, primer seviyede indüktans, kapasitans AC direnç, DC Direnç, indüktif gerilim bölücü ölçüm sistemlerinin gerçekleştirilmesi alanlarında çalışmaktadır. 20'nin üzerinde makalesi mevcuttur. TCEM Teknik komitesinde empedans alanında teknik denetçi olarak görev almaktadır aynı zamanda Türk Akreditasyon Kurumu'nda Elektrik alanında teknik denetçi ve baş denetçi olarak çalışmaktadır.

ENDÜSTRİYEL ÖLÇÜMLERDE 3-BOYUTLU ÖLÇÜM CİHAZLARI (CMM) İÇİN BELİRSİZLİK HESAPLAMALARINDA YENİ ÇALIŞMA VE GELİŞMELER

Okhan GANİOĞLU
İlker MERAL
Muharrem AŞAR
Murat AKSULU

ÖZET

Gelişen ve hızlanan imalat ve üretim süreçlerinde, imal edilen parçalar için kabul veya ret kararlarının hızlı alınabilme ihtiyacı gün geçtikçe artmıştır. Hem imalat sektöründe, hem kalite kontrol alanlarında hızlı ölçüm yapabilmek için, 3 Boyutlu Ölçüm Cihazı (Koordinat Ölçüm Cihazı: CMM) kullanımı yaygınlaşmıştır. Parçalar için, hızlı ölçümler kadar hızlı karar alabilmekte önemlidir. Bu değerlendirmeler için standartlaştırılmış kurallar mevcuttur (EN ISO 14253-1, ISO / TR 14253-6). Değerlendirme sırasında ölçüm belirsizliğini de göz önüne almak gerekmektedir. Ne yazık ki, koordinat ölçümlerindeki belirsizlik hesaplanması teknik olarak çok zordur ve uluslararası alanda çok az rehber doküman vardır. Belirsizlik hesaplama çalışması zor ve zaman alıcı bir çalışma olmasından dolayı çoğu şirket rutin incelemelerinde belirsizlik değerini göz ardı etmektedir. Göz ardı edilen veya olması gerekenden yüksek hesaplanan belirsizlikler, karar verme sürecini olumsuz etkilemekte ve bazı parçaların hatalı kabulü ile bazı parçaların gereksiz olarak atılmasına sebep olmaktadır. Ayrıca hatalı kararlar, fonksiyonel arızası ciddi hasar ile sonuçlanabilecek kritik parçalar için önemli bir tehlikedir. EN ISO 15530 standardı serisi [7-10] koordinat ölçümlerinde belirsizlik hesaplamaları için yazılmış standart olmasına rağmen, uygulamaya açık yöntemlere sahip olmaması ve pratikte uygulanması imkânsız metotlara (eksik önkoşul tanımlamaları) sahip olması sebebiyle endüstriyel ölçümlerde kullanılması mümkün değildir. EN ISO 14253-2 [1-6] standardı belirsizlik hesaplamalarında boyutsal ölçümlere yönelmiş olmasına rağmen koordinat ölçümlerini kapsamamaktadır. Bu yüzden koordinat ölçümündeki belirsizlik hesapları için kolay uygulanabilir ve standartlaştırılmış yeni yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu yöntemler sayesinde üretim sırasındaki incelemeler ve karar süreçleri daha güvenilir hale gelecektir ve daha kaliteli ürünlere ulaşılabilecektir.

Mevcut yöntemleri inceleyerek, yeni, uygulanabilir yöntemler geliştirmek için İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü (INRIM) Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına (EMPIR) TÜBİTAK UME'nin de ortağı olduğu çok uluslu bir ortak proje önerisi sunmuştur. Proje 2017'de kabul edilmiş ve Haziran 2018'de başlamıştır.

Toplam 12 proje ortağı ülkenin katıldığı, 18NRM03 EUCoM kısa isimli proje ile 2 farklı belirsizlik hesaplama yöntemi çıkartılacak, uygulanabilirliği ve performansı test edilecektir. Çıktıları arasında EURAMET (Avrupa Metroloji Birliği) rehber dokümanlarının yazılması olan proje sonunda, geliştirilen yöntemler ve proje çıktıları 10 farklı ülkede düzenlenecek olan seminerler ile paylaşılacaktır.

Makalede, belirsizlik hesaplama konularında mevcut kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin dayandığı standartlar hakkında bilgi verildikten sonra, önerilen yeni yöntemlerin avantajları, nasıl gerçekleştirileceği ve proje hakkında bilgilendirmeler yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Koordinat Ölçümleri, CMM, Belirsizlik Hesaplamaları, Kalibrasyon, Üretim toleransları

ABSTRACT

In developing and accelerating manufacturing and production processes, the need for fast decisions of acceptance or rejection for manufactured parts has increased day by day. In order to make rapid measurements both in the manufacturing sector and in the areas of quality control, the use of 3 Dimensional Measurement Device (CMM) has become widespread. For parts, it is as important to be able to make decisions as performing fast measurements. Standardized rules exist for these assessments (EN ISO 14253-1, ISO / TR 14253-6). Measurement uncertainty should also be considered during the assessment. Unfortunately, the uncertainty in coordinate measurements is technically very difficult to calculate and there are very few international guidance documents. Since uncertainty calculation is difficult and time consuming, most companies ignore the uncertainty value in their routine investigations. Uncertainties that are overlooked or calculated higher than necessary have a negative impact on the decision-making process and cause some parts to be rejected unnecessarily or discarded as junk. In addition, faulty decisions are an important hazard for critical parts whose functional failure can result in serious damage. Although the EN ISO 15530 standard series [7-10] is the standard for uncertainty calculations in coordinate measurements, it is not possible to use it in industrial measurements because it does not have practical methods and has impractical methods (incomplete prerequisite definitions). Although EN ISO 14253-2 [1-6] is directed to dimensional measurements in uncertainty calculations, it does not include coordinate measurements. Therefore, there is a need for new methods that are easy to apply and standardized for calculating uncertainty in coordinate measurement. Through these methods, the inspections and decision processes during production will become more reliable and higher quality products will be achieved.

In order to develop new, applicable methods by examining existing ones, the National Metrology Institute of Italy (INRIM) has proposed a multinational joint project to the European Union (EU) Metrology Research and Innovation Program (EMPIR), in which TUBITAK UME is a partner. The project was accepted in 2017 and started in June 2018.

In this project, named 18NRM03 EUCoM in short and a total of 12 project partner countries participating, 2 different uncertainty calculation methods will be prepared and its applicability and performance will be tested. As well as the writing of EURAMET (European Metrology Association) guidance documents, the project outputs and the methods developed will be shared with the seminars to be held in 10 different countries at the end of the project.

In this article, after giving information about the current methods used in uncertainty calculation and the standards on which these methods are based, the advantages of the proposed new methods, how they will be realized and information about the project will be given.

Key Words: Coordinate Measurement, CMM, Uncertainty evaluation, Calibration, Product tolerances.

1. GİRİŞ

Metroloji dünyasına 70 'li yıllarda giren ölçüm belirsizliği parametresi, her geçen gün imalat ve üretilen parça toleranslarının biraz daha aşağıya çekildiği günümüzde daha da önem kazanmıştır. Düşük toleranslar ile hatasız ve hızlı üretim yapmaya çalışan üreticiler, üretilen parçaların kontrolünü ve kabulünü yapan aracı firmalar ile kullanıcıların en önemli değerlendirme parametrelerinden birisi olmuştur. Üretilen parçaların “Kabul” ve “Ret” kıstaslarını belirleyen standartlardan bir tanesi ISO 14253 serisidir [1-6]. Bu standartlara göre kabul kıstaslarını sınırlayan parametre ise ölçüm belirsizliğidir. İmalat sanayinin ve üretilen parçaları kontrol eden veya kullanan kişilerin ihtiyaç duydukları parametre ise güvenilirliği yüksek şekilde hesaplanmış düşük belirsizlik verileridir. Düşük ve güvenilir belirsizlik demek belirsizliğe etki eden parametrelerin net ve doğru bir şekilde belirlenmesiyle elde edilmesi demektir. Bu parametrelerin doğru belirlenememesi belirsizlik hesaplarındaki güvenilirliği zedelemekte bu güvensizlik firmalara, olması gereken değerden daha yüksek belirsizlik değerinin kullanımını mecbur kılmakta veya belirsizlik değerini göz ardı ederek değerlendirme yapmalarına sebep olmaktadır. Tolerans bantlarını daraltan, yüksek belirsizlik veya göz ardı edilen belirsizlik

değerleri parça kabulünde veya ret edilmesinde, hem üretici hem de kullanıcı adına riskleri artırmaktadır.

Hızlı parça imalatı ve kontrol edilme gerekliği 3 Boyutlu Ölçüm Cihazlarının (CMM) kullanımını yaygınlaştırmıştır. Cihazlardaki otomatik kullanım ve kullanım kolaylığı, boyut sınırlamasının azlığı ve üretim bantlarına takılabilirliği sebebiyle popülerliği gittikçe artmaktadır. Otuz yıldan daha fazla süredir kullanılmasına ve geliştirilmesine rağmen CMM cihazlarında hala tam olarak bilinmeyen ve netleştirilmemiş hatalar ve belirsizlik katkıları bulunmaktadır. Bu yüzden kullanıcılar belirsizlik hesaplarını, doğruluğu tam teyit edilmemiş olmasına rağmen, konunun uzmanlarının tavsiye ettiği şekilde gereğinden yüksek hesaplamakta veya yukarıda bahsedildiği gibi değerlendirme kıstası olarak riski göze alıp göz ardı etmektedir. CMM belirsizlik hesaplarını standartlaştırmak amacı ile hazırlanmış olan ISO 15530 [7-10] serisi standartlar tam olarak tamamlanmamıştır. Mevcut olan kısımlarda tavsiye edilen yöntemler zaman alıcı ve her ölçüm alanı (büyüklüğü) için uygulaması mümkün değildir. Bu yüzden kullanıcılar tarafından tam olarak benimsenememiştir.

Bu açığı kapatmak adına 12 farklı ülkenin katılımı ile bir konsorsium kurulmuş ve İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü (INRIM) koordinatörlüğünde Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına sunmak üzere 18NRM03 EUCoM kısa isimli proje hazırlanmış, 2017'de desteklenmesi kabul edilmiş ve Haziran 2018'de proje çalışmalarına başlanmıştır. Projenin amacı CMM belirsizlik hesaplamaları konusunda mevcut yöntemleri inceleyerek, yeni, uygulanabilir farklı yöntemler geliştirmek ve bu yöntemlerin doğruluğunu teyit etmek ve validasyonu yapılan yöntemleri mevcut standartların geliştirilmesi ve değiştirilmesi için önermektir.

2. ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNİN PARÇA KABUL VE RET KRİTERLERİNDEKİ ÖNEMİ

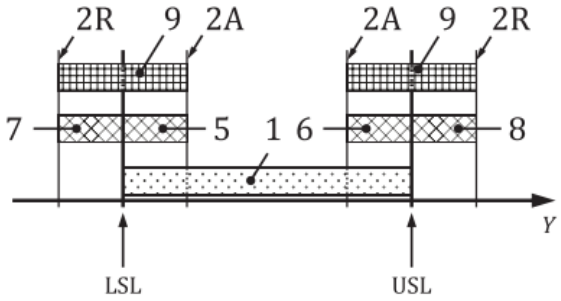
Ölçüm belirsizliği değerinin parça kabulünde veya ret edilmesindeki rolünden bahsettiğimizde iki dokümanın ön plana çıktığını görürüz. Birsi ISO 14253-1 [1], diğeri ise ISO GUM dokümanının uzantısı olan ve Uluslar Arası Ölçüler Ağırlıklar Ofisi (BIPM) tarafından yayımlanan JGCM 106 [10] dokümanıdır.

ISO 14253 Part-1 [1] genel olarak uygunluk onayı veya uygunsuzluk onayı değerlendirmeleri ve yöntemlerini anlatırken, ölçüm belirsizliğinin hesaba nasıl katılacağını, her iki seçenek için, tarif etmektedir. Önemli olan nokta ise her iki durumda da ölçüm belirsizliğinin, test edilen parça için tanımlanan tolerans aralığını daraltmasıdır. Kısacası ölçüm belirsizliği ne kadar düşük hesaplanır ise hem üretici, hem de tüketici için karar verme aşamasındaki güvenli aralık genişleyecektir (Şekil1.).

Benzer olarak JGCM 106 [10] dokümanı incelendiğinde (ISO 14253'e atıf yapılarak) yukarıda bahsedilen durumun detaylı bir şekilde açıklandığı görülmektedir. Bu dokümanda diğerinden farklı olarak uygunluk onayına tüketici riski tanımlaması yaparken, uygunsuzluk onayına üretici riski tanımlaması yapılmasıdır.

Her ne şekilde tanımlama yapılır ise yapılsın ölçüm belirsizliği değerinin kabul edilebilir toleransı düşürdüğü gerçeğini değiştirmemektedir.

Yapılan ölçümde belirsizliğe katkı eden parametrelerin bulunmasındaki kesinlik arttıkça belirsizlik hesabındaki güveni artıracak ve belirsizlik değerini düşürecektir. Böylece parça değerlendirilmesinde daha geniş toleranslara ulaşılacaktır.



1	Özellik /Tanımlama Bölgesi
2A	Uygunluğu doğrulamak için kabul limitleri
2R	Uygunsuzluğun doğrulanması için kabul limitleri
5	Güvenlik bandı uygunluğun doğrulanması için alt tanımlama sınırında
6	Güvenlik bandı uygunluğun doğrulanması için üst tanımlama sınırında
7	Güvenlik bandı uygunsuzluğun doğrulanması için alt tanımlama sınırında
8	Güvenlik bandı uygunsuzluğun doğrulanması için üst tanımlama sınırında
9	Belirsizlik bölgesi
LSL	Alt özellik/tanımlama limiti
USL	Üst özellik/tanımlama limiti

Şekil 1. ISO 14253 Part-1' e [1] göre üst ve alt limitlerin belirlenmesi ve Belirsizlik Bölgesi.

3. KOORDİNAT ÖLÇÜMLERİ BELİRSİZLİK HESABINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE İLGİLİ STANDARTLAR

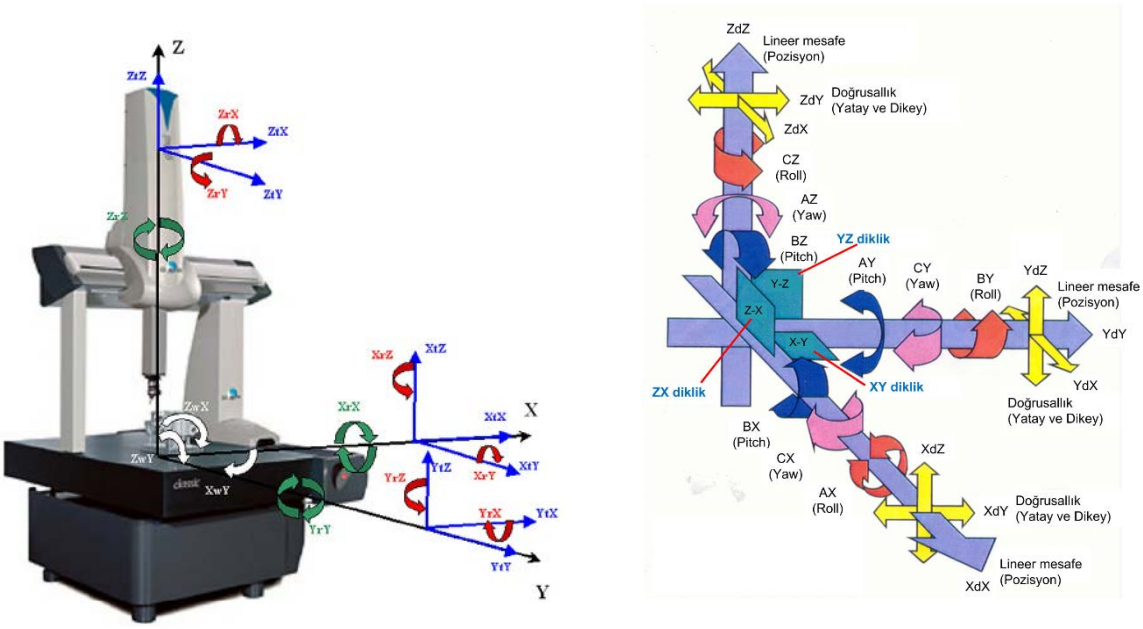
Belirsizlik hesapları konuşulduğunda ilk akla gelecek olan referans doküman ISO/IEC Guide 98-3:2008'dir [12] (JCGM 100:2008 [11]). Genel olarak belirsizlik ile ilgili genel tanımlamalar ve belirsizlik hesaplarının anlatıldığı, genel kuralların olduğu dokümandır. Özel olarak bir alana değil bütün ölçüm alanlarına hitap etmektedir. Bu dokümana ek olarak zaman içerisinde yayımlanmış olan ve özel bazı alanlara yönelik örnek ve çalışmaları içeren dokümanlarda mevcuttur. Bunlar içerisinde yaygın olarak kullanılanlar ise EA-4/02 M: 2013 [13] ve UKAS M3003 ver.3 (2012) [14] dokümanlarıdır. Her iki dokümanda ISO GUM dokümanının kısa bir özeti gibidir, ek olarak bazı ölçümler için örnek belirsizlik bütçeleri ve hesaplama yöntemlerini içermektedirler. Bunlara ek olarak ISO 14253-5 [4] dokümanından bahsedebiliriz. Bu dokümanda da yine belirsizlik hesaplama yöntemleri aktarılmaktadır. Ayrıca yaygın olarak yapılan boyutsal ölçümler ile ilgili birçok örnek uygulamayı içermektedir. Fakat bu dokümanların hiç birinde koordinat ölçümlerine yönelik özel bir çalışma ve örnek uygulama mevcut değildir.

Yukarda sayılan dokümanların tamamı aslında belirsizlik hesaplamalarında kullanılan klasik yöntemleri ihtiva etmektedir. Bunlara ek olarak daha sonra geliştirilen yöntemler ile ilgili ek dokümanlar yayımlanmıştır. JCGM 101:2008 [16] dokümanında anlatıldığı gibi belirsizlik hesaplarında Monte Carlo yönteminin uygulanması buna bir örnek olarak verilebilir. Bu yöntemin uygulanması zaman alıcı olmasının yanında pahalı yazılımlar gerekmektedir.

CMM ölçümleri ile ilgili hesaplama yöntemlerinin anlatıldığı standartlar ise ISO 15530 Serisi [6-9] standartlardır. Temel olarak koordinat ölçümlerinde belirsizlik kaynaklarının tanımladığı ve bunların hesap yöntemlerinin aktarıldığı standartlardır.

CMM'ler çok amaçlı cihazlardır. CMM cihazları hemen hemen boyutsal ölçümlerin tamamını yapabilmektedirler. Ayrıca yapıları gereği çoklu eksene sahiptirler, bu yüzden ölçümlere etki eden belirsizlik kaynakları çoktur. Bu kaynakların tamamının tespit edilmesi ve belirsizliğe ne kadar katkılarının olduğunun bulunması neredeyse imkânsızdır.

CMM'ler üzerine yapılan çalışmalardan elde edilmiş 21 adet geometri hatası vardır, bu hatalar Şekil 2. de gösterilmektedir. Her bir eksen, pozisyon hatasının yanı sıra, eksen boyunca yatay ve dikey yönde doğrusallık, picth-yaw-roll açısal hataları olmak üzere 6 çeşit hataya sahiptir. Böylece CMM cihazları çalışma sırasında, üç eksen (X, Y, Z), 3×6=18 hataya sahipken, 3 eksenin arasında ortaya çıkan 3 adet diklik hatası ile toplamda 18+3=21 adet hataya sahiptir.



Şekil 2. CMM eksenlerinde (X, Y, Z) 21 adet hatanın gösterimi.

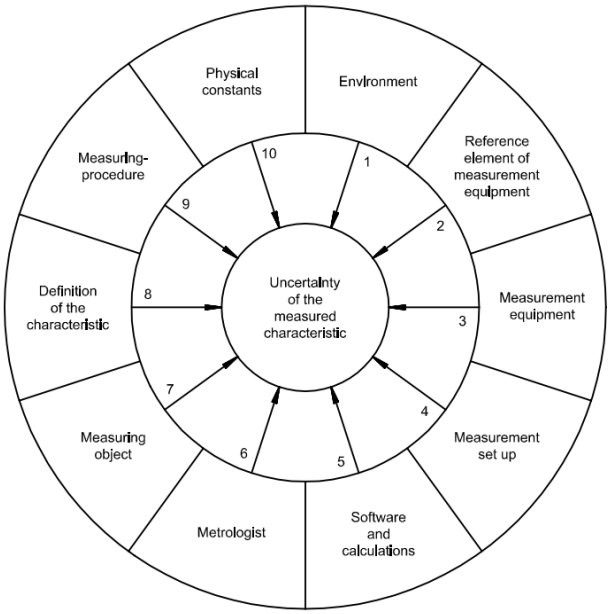
ISO 15530-1'de [6] genel bir yaklaşım ile sadece CMM cihazından kaynaklı değil genel olarak ölçüm sürecinin tamamını kaplayacak şekilde potansiyel belirsizlik kaynakları tanımlanmış ve olası nedenleri sıralanmıştır. Standarda göre belirsizlik sebepleri üç temel kaynaktan gelmektedir;

1. Cihaz Kaynaklı
2. Ölçüm Planı Kaynaklı
3. Dış Etkenler Kaynaklı

Cihaz kaynaklı belirsizlikler kullanılan cihazdan kaynaklanan bütün etkileri kapsamaktadır. Cihazın yapısından kaynaklanan geometrik hatalar, ölçüm öncesi parça yükleme, dinamik etkiler ve hatta çevresel etkiler de buna dahildir. En önemli hatalardan bir tanesi prob sisteminden kaynaklanan ve ayrıca diğer sensörlerden (örneğin; sıcaklık sensörleri) kaynaklanan hatalar olarak sıralanabilir. Bunların dışında cihaz için üretici tarafından belirlenen yazılım algoritma ve matematik hesaplardan kaynaklanan hatalar da sıralanabilir. Bunların tamamı aslında üretici tarafından kurulum sırasında kısmen giderilebilir veya etkisi azaltılabilen hatalardır. Bu hataları minimize etmek için üreticiler cihazın en iyi performans verdiği ortamda kullanılmasını tavsiye etmektedirler.

Ölçüm planı kaynaklı hatalar, ölçüm için seçilen süreçten kaynaklanan hataları kapsar. Ölçülecek parçanın cihaz üzerindeki konumu, oryantasyonu, prob tercihi ve nokta ölçümü sırasında örnekleme stratejisi gibi katkılar buna dahil edilebilir. Bunlara ek olarak ölçülen büyüklüğün tanımlanmasında/değerlendirilmesinde kullanılacak metodun da etkileri sayılabilir. Örnek olarak silindirde yuvarlaklık ölçümünde LSC (Least square circle), MZC (Minimum zone circles), MIC (Maximum inscribe circle) ve MCC (Minimum circumscribe circle) değerlendirme yöntemlerinin seçilebilir olması verilebilir. Yine silindiriklik parametresinin ölçümünde LSCyl (Least square cylinder) ve MZCyl (Minimum zone cylinders) örnek olarak gösterilebilir.

Dış etkenlerden kaynaklı belirsizlik katkıları ise CMM üreticileri ve kullanıcıların kontrolünün dışında olan etkilerdir. Bu etkilerden kaçınmak mümkün değildir. Parça geometri hataları örneğin form, yüzey pürüzlülüğü, doğrusallık, termal özelliği vb. ve hatta test parçası bağlama problemleri kısaca bu hatalara örnek olarak verilebilir. Bağlama esnasında tutturma kuvvetinin parçanın nötr ekseninden uygulanmaması, veya bağlama kuvvetinin aşırı olması; 3-lob hatası vb. bu hatalara örnektir.



Şekil 3. ISO 15530-1'e göre Bilinen belirsizlik katkıları [6].

Şekil 3. de görüldüğü gibi yukarıda örneklerini sıraladığımız belirsizlik katkılarına daha fazlası eklenebilir. Ayrıca Şekildeki her bir madde en az 2, en fazla 10 adet daha belirsizlik katkısı içermektedir (Bkz. ISO 15530-1 Annex B)

Yukarıda üç ana başlıkta sıralanan ölçüme özel belirsizlik katkılarının birleştirilmesi için tavsiye edilen yöntemler ise ISO/IEC Guide 98-3:2008'de [12] tanımlanmıştır. Bu adımlar takip edilerek ölçüme özel belirsizlik değerleri hesaplanabilecektir.

ISO 15530-3'de [8] kalibrasyonu yapılmış ek parça kullanılarak ölçüme özel belirsizlik katkılarının hesaplanması anlatılmaktadır ve kullanıcı için belirsizliğin hesaplanmasını kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Standartta anlatılan yöntem deneysel yerine-koyma metodu olarak da tanımlanmaktadır. Uygulama prensibi, gerçek ölçüm ile aynı şartlarda ve aynı yöntemle ölçüm almak fakat farklı olarak daha önce kalibrasyonu yapılmış, büyüklükleri bilinen ve ölçümü hedeflenen parça ile benzer bir parçayı ölçmektir. Elde edilen sonuç ile parçanın kalibrasyon değeri arasındaki fark belirsizlik hesabında kullanılmaktadır. Oldukça etkili bir uygulama olmasına rağmen, ölçümü yapılacak her parça için benzer ve kalibreli bir referans bulma zorunluluğu vardır. Bu yöntemin uygulaması için hem referans olarak kullanılan parça hem de ölçümü yapılacak parça aynı ölçüm strateji ile tekrarlı ölçümler ile ölçülmektedir. Tavsiye edilen, ölçümü yapılacak parçada uygulanan prosedürün (prob hareketleri dahil) uygulanarak, en az 10 turda, toplamda 20 ölçüm alınmasıdır. Test ve ölçümde kullanılacak referansın ölçüm yüzeyleri, malzemeleri aynı olmalı fakat boyutsal karakterlerinden açı değerleri ± 5º kadar değişim gösterebilirken, boyut değerleri 250 mm üstünde olanlarda %10, 250 mm altında olanlarda 25 mm farklı parçalar kabul edilebilmektedir. Ayrıca belirsizlik hesabında kullanılan katkılar bu parçanın kalibrasyonunu yapan laboratuvara bağlı olacaktır. Bu yüzden kalibrasyonu yapacak olan laboratuvarın beyan ettiği belirsizlik değerinin, hedeflenen ölçümü gerçekleştirmeye yetecek kadar düşük olması istenmektedir. Bu yöntem ile cihazdan ve ölçüm planından kaynaklanan belirsizlik katkıları hesaplanabilirken dış etkilerden kaynaklanan katkılar tam olarak bulunamamaktadır. Bu yüzden bu katkılar dışardan hesaplanarak katılmalıdır. Bu yöntem, basit parçalara kolay uygulana bilirken daha kompleks parçalarda tam olarak uygulanamamaktadır. Ayrıca uygulamanın zaman

alması sebebiyle birçok işletme tarafından tercih edilmemektedir. Belirsizlik hesabı yapıldıktan sonra belirli aralıklarla (örneğin tavsiye edilen haftada bir) referans parça ölçülerek, ölçülen değer ile kalibrasyon değeri arasındaki farkın belirlenen belirsizliğin altında olup olmadığının kontrol edilmesi (ara kontrol yapılması) tavsiye edilmektedir. Bulunan değerin beklenenden fazla çıkması durumunda belirsizlik hesabının tekrarlanması gerekmektedir. Bu standardın uygulanabilir olmadığı durumlar (Örneğin: Referans numune olmadığı zaman) için ise herhangi bir yardımcı rehber doküman mevcut değildir.

ISO 15530-4'de [9] belirsizlik hesaplamasında simülatör kullanımı tarif edilmektedir. Aslında simülatör kullanılması sanal olarak yerine-koyma metodunun uygulanmasıdır. Bilgisayar kullanılması sihirli değnek gibi gözükse de, başarılı sonuç alabilmek için, hesaplamadan önce bilgisayara bütün belirsizlik kaynaklarının ve dağılımlarının tanıtılması gerekmektedir. Ayrıca bu metot ölçüm işleminin matematik modelinin tam olarak bilindiği ölçümlerde işe yaramaktadır ve belirsizlik kaynaklarının iyi bilindiği fakat aralarındaki ilişkinin kompleks olduğu durumlarda kullanışlıdır. Klasik yöntemde tam olarak çıkartılamayan korelasyon ve belirsizlik katkıları arasındaki ilişki daha kompleks olarak işlenebilmektedir. Hesaplama sırasında istenildiği kadar farklı senaryo istenildiği kadar tekrar ile yapılabilmesi, hesaplanan verinin güvenilirliğini artırmaktadır. Fakat ölçüm yönteminden kaynaklanan ve kolay belirlenemeyen özel ölçüm hatalarını bulmak için oldukça fazla hesaplama döngüsü yapılması gerekmektedir.

4. YENİ ÇALIŞMA ve GELİŞMELER (PROJE ÇALIŞMA DETAYLARI)

CMM ölçümlerinde belirsizlik hesaplamalarını kolaylaştırmak ve uygulanabilir daha basit yöntemler geliştirmek adına 12 farklı ülkenin katılımı ile bir konsorsium kurulmuş ve İtalya Ulusal Metroloji Enstitüsü (INRIM) koordinatörlüğünde Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına 18NRM03 EUCoM [17] kısa isimli proje hazırlanmıştır. Proje, mevcut standartlara katkı sağlamak ve bulguların tüm kullanıcılara açık ve yayımlanabilir olması amacıyla Normativ (Mevcut standartların revizyonu, genişletilmesi veya yeni standart yayımlanmasına katkı sağlamayı amaçlayan projeler için açılmış başvuru kapsamı/başlığı) kapsamda hazırlanmıştır. Projenin 2017 yılında desteklenmesi kabul edilmiş ve Haziran 2018'de proje başlamıştır.

Projenin temel amacı CMM belirsizlik hesaplamaları konusunda mevcut yöntemleri inceleyerek, yeni, uygulanabilir, iki farklı yöntem geliştirmek. Geliştirilen yöntemlerin doğruluğunu teyit etmek ve ayrıca validasyonu yapılan bu yöntemleri, mevcut standartların geliştirilmesi veya değiştirilmesi için önermektir. Ayrıca tamamlanması ve basımı destek bulamamış olan ve bu yüzden eksik kalan yayımlanmamış ISO 15530 Serisi Bölüm 2 ve Bölüm 5 'in yayımlanmasına katkıda bulunmaktır.

1. Yöntem: İzlenebilir standartlaştırılmış yöntem geliştirmek (Posteriori Type-A)

Ölçüm belirsizliği hesabı gibi zor bir işi, genellikle derin bilgiye sahip olmayan uygulayıcılar yapmaktadır. Bazen hesaplamanın kendisi konunun uzmanı tarafından bile yapılamayacak kadar zordur.

Bu tip durumlarda, tüm belirsizlik kaynaklarının tam olarak anlaşılmasına gerek olmadan hesaplamada yardımcı olan posteriori bilgisine dayanan A Tipi yöntemler ön plana çıkar. Bu yöntem ile önceden tanımlanmış bir prosedür kullanılarak yapılan ölçümlerden elde edilen veriler kullanılır. A tipi yöntem zaman alıcı bir yöntem olmasına rağmen, alternatif bir yöntem olmaması sebebiyle üretimin sonunda seri tekrarlar ile uygulanır.

A tipi yöntemin uygulaması ISO 15530-3 [8] tarif edilmiştir. Bu yöntemin uygulanması için ölçülecek parça ile benzer kalibreli bir parçaya ihtiyaç vardır. Fakat bu yöntemin ana kısıtı kalibrasyonlu parçanın kendisidir. Problemli olan nokta ise her zaman ölçümü yapılması hedeflenen parçaya benzer parça bulunamaması veya referans olarak kullanılacak parça kalibrasyonunun yapılamamasıdır. Ayrıca A tipi yöntem komplex üç boyutlu parçalarda uygulanamayabilir. Bu yöntem ile elde edilen belirsizlik hesabının, parçayı kalibre eden laboratuvara bağlı olması ise yöntemin diğer bir kısıtıdır.

Proje içerisinde geliştirilmesi planlanan yeni yöntem ile bu kısıtlamanın ortadan kaldırılması planlanmaktadır. Ayrıca geliştirilen uygulamanın geniş bir ölçüm alanını (boyut ve açı ayrıca referansa bağlı veya bağlı olmayan büyüklükler) ve problama seçeneğini (nokta bulutu veya yüzey tarama) kapsaması hedeflenmektedir. Ölçüm stratejisi olarak, ölçülecek parçaya benzer kalibreli bir referansa ihtiyaç duyulmadan, tekrarlı ve tersine mühendislik yöntem kullanılması hedeflenmektedir. Çalışma sonunda yayımlanmamış olan ISO 15530-2 [7] basımı için gerekli olan yöntem oluşturulmuş ve validasyonu yapılmış olarak hazırlanmış olacaktır.

2. Yöntem: Basitleştirilmiş ve onaylanmış yöntem geliştirmek (Piriori Type-B)

Maalesef ISO standartlarında, test yapmadan veya ölçüm öncesinde belirsizlik kaynaklarının tahmin edilmesi veya önlenmesi konusunda yardımcı bir rehber bulunmamaktadır. Bir yönüyle uzmanların kendi tecrübeleri ile oluşturdukları fakat tam olarak doğruluğu ispatlanmamış yöntemler kullanılması, diğer taraftan kullanıcıların kendilerinin yetersiz bilgisiyle belirsizlik kaynaklarından kurtulmaları veya etkilerinin azaltılması mümkün gözükmemektedir.
Proje sayesinde tamamen kullanıcı dostu ve bütün eksikleri kapsayıcı bir çözüm üretmek zordur. Fakat geliştirilecek yeni yöntem ile ölçüme başlamadan önce belirsizlik kaynaklarının belirlenmesi ve hesaplanmasına çalışılarak, belirsizlik katkıları ile örnek uygulamaları içeren rehberler hazırlanacaktır.

Proje ile belirsizlik hesaplamalarını aşağıda sıralanan önceki (Priori) bilgilerden yararlanarak, ölçüm yapılmadan hesaplayan bir yöntem geliştirmek amaçlanmıştır.

1. CMM kabiliyetinin, özellikle EN ISO 10360 [18-22] testleri ile elde edilen MPE (Maximum Permissible Error, maksimum izin verilen hata) değerleri, özet beyanlarını,
2. CMM'in kendine has özel (durumunun) temel modeli,
3. Benzer ölçümlerden elde edilen sonuçlar ve
4. Uzman görüşü vb.

CMM ölçümlerindeki temel prensip, bir elementin herhangi bir büyüklük ölçümünde (ör: bir silindirin yarıçap hesabında) oldukça fazla alınan koordinat nokta bulutundan, daha az sayıda özellik içeren nokta kullanılarak ölçülen büyüklük parametresine dönüştürülmesidir. Aslında hesaplanan parametrelerle ilgili belirsizlikler, ilişkili varyans matrisinde kodlandığı gibi, hesaplamada kullanılan nokta koordinatlarıyla ilgili belirsizliklere bağlı olmasıdır. Fakat hesapta kullanılan gerçek varyans matrisini hesaplamak (bulmak) zor olsa da, önceki bilgiler kullanılarak makul bir yaklaşım ile belirsizlik hesabında kullanılacak varyans matrisi tespit edilebilecektir.

Geliştirilmesi planlanan yöntem uzman görüşlerine dayalı belirsizlik hesaplama yöntemi olacak ve yayımlanmamış olan ISO 15530-5 için gerekli olan yöntem valide edilmiş olarak hazırlanmış olacaktır.

Bu iki yöntemin validasyonu farklı çalışma (laboratuvar, endüstri) ortamlarında ve farklı CMM'ler ile test edilerek yapılacaktır. Bulunan sonuçlar on farklı ülkede gerçekleştirilecek çalıştaylar ile tanıtılması planlanmaktadır. Ayrıca çalışma grupları vasıtasıyla ISO 15530 Serisi [6-9] standartların güncellemesi ve yayımlanmamış bölümlerin (bölüm 2 ve bölüm 5) yazımı için gerekli bilgi kaynağı sağlanacaktır. Yayımlanmamış olan ISO 14253-5 standardının revizyonu için standardın eksik parçaları olan CMM alanındaki uygulamalı belirsizlik hesabı hazırlanmış olacak. Belirsizlik hesaplamaları için ISO 15530 Serisi [6-9] standartların uygulanabilir olmadığı durumları da kapsayacak şekilde çözüm üretilmeye çalışılacaktır.

CMM belirsizlik hesaplarındaki bilinmezlerin ortadan kaldırılması ile daha güvenilir ölçüm belirsizliğini hesaplayacak yöntemlerin geliştirilmesi mümkün olacak, böylece yanlış karar verme riskini (yanlış kabul: tüketici riski, yanlış ret: üretici riski) düşüreceği için parça kontrolleri yapan ölçüm laboratuvarları ve üretilen cihazın güvenilirliğini artırdığı için CMM üreticileri de fayda sağlayacaklardır.

Seri şekilde üretim yapılan durumlarda, üretimin sonunda bir sefere mahsus zaman harcayarak belirsizlik hesaplanabilir ve bütün üretim boyunca kullanılabilir. Bu tip durumlarda Posteriori (type-A) yöntemi uygun olabilir. Fakat her ürüne özel kontrol ve üretim yapılması durumunda veya üretime göre kontrol mekanizması oluşturulması gerektiğinde veya alternatif yöntemler arandığında ve hızlı bir şekilde belirsizlik hesabına ihtiyaç duyulduğunda, deneysel yöntemin uygulanmasının imkânsız veya çok maliyetli olacağı için, Priori (Type-B) yöntemin kullanılması uygun olacaktır.

SONUÇ

Standartların, CMM alanında farklı belirsizlik yöntemleri ve uygulamalarıyla tamamlanması CMM kullanıcılarına daha geniş uygulama alanında daha geniş imkânlar sağlayacaktır. Endüstri için daha uygulanabilir ve kolay belirsizlik hesabı aşağıdaki faydaları sağlayacaktır.

Ölçümleri kabul veya ret için karar verme platformu olarak kullanan üreticiler için, uluslararası standartlar ile tanımlanmış güvenilir ve uygulanabilir belirsizlik hesabı yöntemlerini kullanmak, hatalı karar verme riskini düşürerek daha güvenilir karar almalarını sağlayacaktır. Böylece katma değeri yüksek parça imal eden ve satış sırasında müşterisine parça kalitesini ispatlamaya ve müşterisinin kabulünü almaya çalışan firmaların işleri de kolaylaşacaktır. Gerçekçi hesaplama yöntemi müşterinin güvenini sağlayacaktır.

Genel uygulamada olduğu gibi bazen ölçümler ve kabul kararı, müşteri tarafından yapılan ölçümlere dayanmaktadır. Benzer bir durumda parça kabulünde yaşanacak riskler de azaltılmış olacaktır. Aynı şekilde bazen müşteri ve üretici/tedarikçi arasındaki anlaşmazlıkların çözümünde aracı firma ve ölçüm laboratuvarları devreye girmektedir. Uluslararası alanda kabul görmüş standartlara ve rehber dokümanlara dayalı ölçüm ve hesaplamaların yapılması anlaşmazlıkların çözümünde delil niteliğinde olacaktır ve çözümü kolaylaştıracaktır.

Ölçüm cihazlarını ürün olarak satan ve üreten firmalar için ise daha güvenilir ve uygulaması daha kolay belirsizlik hesabı, ürünlerinin gerçek performanslarının anlaşılmasına ve anlatılmasına destek verecektir. Müşteriler için ise yanlış cihaz tercihi azalırken, amaca uygun cihaz seçiminde kolaylık sağlanmış olacaktır.

Günümüzde küçük değişim ve katkıların büyük etkileri olduğu unutulmamalı. Bu alanda yapılacak en küçük iyileştirme dahi atık malzemenin azalmasına ve geri dönüşüm maliyetlerinin düşürülmesine sebep olacaktır. Bu durumda çevre için elde edilen en küçük yarar sadece endüstri için değil bütün toplum için olacaktır. Ayrıca atık malzeme ve geri dönüşüm maliyetlerinin aşağı çekilmesi ülke ekonomilerine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] BS EN ISO 14253-1 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications (ISO/FDIS 14253-1:2017; approved, awaiting publication)
[2] EN ISO 14253-2:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification (ISO 14253-2:2011)
[3] EN ISO 14253-3:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 3: Guidelines for achieving agreements on measurement uncertainty statements (ISO 14253-3:2011)
[4] EN ISO 14253-5:2015 Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 5: Uncertainty in verification testing of indicating measuring instruments (ISO 14253-5:2015)
[5] ISO/TR 14253-6:2012 Geometrical product specifications (GPS) -- Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment -- Part 6: Generalized decision rules for the acceptance and rejection of instruments and workpieces
[6] CEN ISO/TS 15530-1:2013 Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 1: Overview and metrological characteristics (ISO/TS 15530-1:2013)
[7] ISO/DTS 15530-2 Geometrical Product Specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMMs): Techniques for evaluation of the uncertainty of measurement – Part 2: Use of multiple

measurement strategies in measurements of artefacts (2008, unpublished; see documents ISO/TC213/WG10 N727-1, ISO/TC213/WG10 N727-2, ISO/TC213/WG10 N727-3)
[8] EN ISO 15530-3:2011 Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement - Part 3: Use of calibrated workpieces or measurement standards (ISO 15530-3:2011)
[9] ISO/TS 15530-4:2008 Geometrical Product Specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 4: Evaluating task-specific measurement uncertainty using simulation
[10] JCGM 106:2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment
[11] JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections)
[12] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
[13] EA-4/02 M: 2013: Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration
[14] UKAS M3003 ver.3 (2012): The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement
[15] ISO/IEC Guide 98-4:2012 Uncertainty of measurement – Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment
[16] JCGM 101:2008:Evaluation of measurement data -Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Propagation of distributions using a Monte Carlo method
[17] EURAMET EMPIR Project 18NRM03 EUCoM: “Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry”; http://eucom-empir.eu/
[18] EN ISO 10360-1:2000 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 1: Vocabulary (ISO 10360-1:2000)
[19] EN ISO 10360-2:2009 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions (ISO 10360-2:2009)
[20] EN ISO 10360-5:2010 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 5: CMMs using single and multiple stylus contacting probing systems (ISO 10360-5:2010)
[21] EN ISO 10360-6:2001 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 6: Estimation of errors in computing Gaussian associated features (ISO 10360-6:2001)
[22] EN ISO 10360-8:2012 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) – Part 8: CMMs with optical distance sensors (ISO 10360-8:2013)

ÖZGEÇMİŞ

Okhan GANİOĞLU

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1996 yılında Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1996-1997 yılları arasında özel bir firmada Arazi Ölçüm Cihazları konusunda teknik servis personeli olarak çalışmıştır. 1997 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır.

1999-2012 Yılları arasında Laboratuvar sorumlu vekili olarak görev yapmıştır. 2012 - 2016 yılları arasında Boyutsal Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmıştır. 2005 yılında uzman araştırıcı, 2012 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. 2009 - 2011 yılları arasında TURKAK Ölçme Tekniği ve Kalibrasyon Sektör Komitesi’nde görev almıştır. 2012 - 2016 yılları arasında EURAMET Uzunluk Teknik Komitesinde (TC-L) ve Uzunluk Danışmanlar Komitesi (CCL) Boyutsal Çalışma Gruplarında (WGDM) ülkemizi temsil etmiştir. 2000 yılından beri aktif olarak TURKAK akreditasyon denetimlerinde görev almaktadır. Eylül 2019 tarihi itibarı ile TUBİTAK-UME’den emekli olarak ayrılmıştır. Şuan serbest danışman ve eğitmen olarak çalışmaya devam etmektedir.

İlker MERAL

1995 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. -1996 Yılları arasında MKE Mühimmatsan A.Ş.'de kalite güvence mühendisi olarak çalışmıştır. 1997 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. Üniversal ölçümler, koordinat metrolojisi ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır. UME Boyutsal Laboratuvarı tarafından açılan Ulusal karşılaştırmalarda yürütücü olarak görev almaktadır. TÜRKAK adına denetçilik yapmaktadır.

Muharrem AŞAR

1996 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun olmuştur. 1996-1997 yılları arasında Abant İzzet Baysal Universitesinde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 1997 yılında Milli Eğitim Bakanlığı yurt dışı yüksek öğrenim bursunu kazanmış, 1999 yılında Güney Kaliforniya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 2005 yılında Kuzey Karolina Devlet Üniversitesi Fizik Bölümü'nde "Epitaksiyel Büyümenin Gerçek Zamanlı Optik Kontrolünde Anizotropi Etkileri ve İlgili Metroloji Cihazları" tezi ile doktorasını tamamladıktan sonra mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME'de çalışmaya başlamıştır. TUBİTAK UME Boyutsal Ölçümler Laboratuvarında yüzey pürüzlülüğü ve nanometroloji konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

Murat AKSULU

1990 yılında İTÜ Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Lisans derecesi, 2008 yılında Doktora derecesi almıştır. 1996 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuvarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 yılında uzman araştırıcı, 2013 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. Ana çalışma konusu Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve Form ölçümleridir. Boyutsal metroloji alanında çeşitli Avrupa birliği projelerinde, TÜBİTAK 1001 projesinde ve TÜBİTAK iç projelerinde çalışmıştır. Halen boyutsal laboratuvarında başuzman araştırıcı olarak çalışmaktadır

PİSTONLU BASINÇ STANDARTLARININ (DWT) KALİBRASYON METOTLARI VE ARA KONTROL YÖNTEMLERİNDE YAKLAŞIMLAR

İlknur KOÇAŞ KOZBE

ÖZET

Pistonlu basınç standartları ya da yaygın bilinen ismi ile "dead weight tester" cihazları basınç ölçümlerinde birincil seviye referans cihazlar olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar 8 ppm değerlerine varan belirsizliklerde hemen her ülkenin ulusal metroloji enstitüsünde kullanıldığı gibi, endüstriyel alanda, petrol ve gaz sektöründe saha kalibrasyonlarında kullanıldığı da görülmektedir. Basınç değerinin doğal sabitlerle türetilerek sağlandığı bu cihazlar yüksek yatırım ve sürdürülebilirlik maliyetine ihtiyaç duyduğu için ülkemizde de sınırlı sayıda akredite laboratuvar tarafından kullanılabilmektedir. Sürdürülebilirlik maliyetinin yüksek olmasının en önemli nedenlerinin başında, bu cihazların kalibrasyon ücretlerinin yüksek olması ve eleman yetkinliğinin sağlanması yönünde yapılan yatırımlardır. Başta akredite laboratuvar kullanıcıları olmak üzere, pistonlu basınç standardı kullanıcılarının cihazlara yönelik farkındalığına katkı sağlaması amacıyla pistonlu basınç standartlarının kalibrasyon metotları ve ara kontrol yöntemlerine ilişkin bilgiler sunulmuş, yaygın olarak yapılan hatalara yönelik örnekler verilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pistonlu Basınç Standartları, Dead Weight Tester, Ara Kontrol, Kalibrasyon

ABSTRACT

The piston pressure standards or commonly known as dead weight testers devices are used as primary level reference devices in pressure measurements. These devices are used in the national metrology institute of almost every country in the uncertainties up to 8 ppm, as well as in the industry oil and gas sector for the field calibrations. These devices, where the pressure value is derived from natural constants, can be used by a limited number of accredited laboratories in our country as they require high investment and sustainability costs. One of the most important reasons for the high cost of sustainability is the high cost of calibration of these devices and the investment in providing personnel competence. In order to contribute to the awareness of piston pressure standard users, especially accredited laboratory users, calibration methods and intermediate control methods of piston pressure standards and examples of common mistakes are presented.

Key Words: Pressure Balances, Dead Weight Tester, Intermediate Checks, Calibration

1. GİRİŞ

Basınç ölçümleri başta havacılık ve uzay sanayi olmak üzere, jet motorları, motor performanslarının ölçülmesi, biyomedikal cihazlar, tıbbi teşhis ve tanı metotları, petrol hatları, otomotiv sanayi vb. sektörler olmak üzere bilimsel çalışmalardan günlük hayatımıza kadar pek çok alanda karşımıza çıkan mekanik ölçümlerdir. Bu nedenle basınç ölçümlerinde, İtalyan bilim insanı Evangelista Torricelli'nin ilk barometreyi keşfi ve 1648 yılında Blaine Pascal'ın basınç biriminin elde edilmesine yönelik çalışmalarını müteakiben günümüze kadar geçen 375 yıl kadar kısa sürede büyük gelişmeler

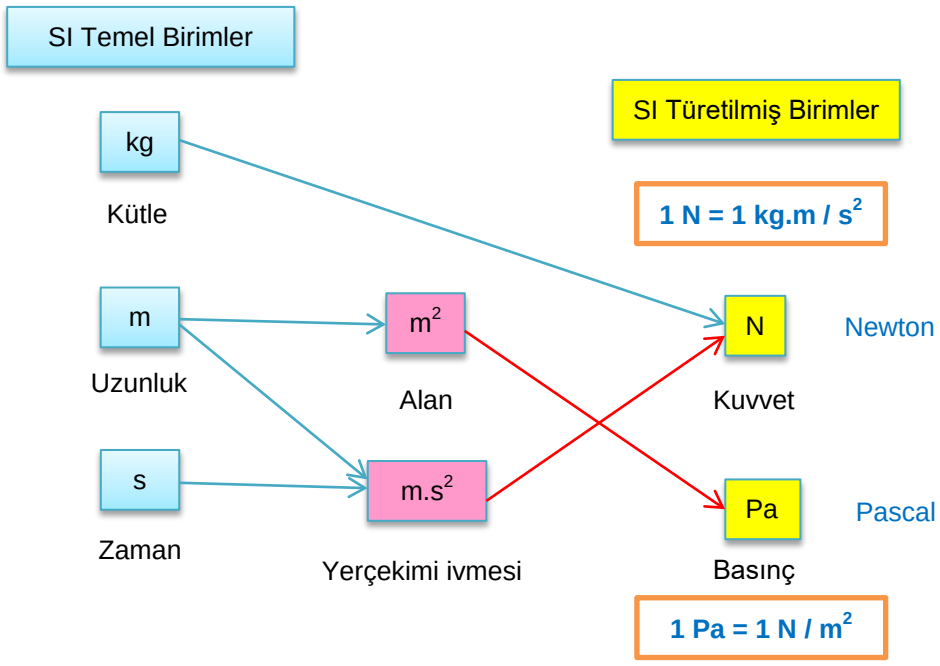
kaydedilmiştir. Teknolojinin baş döndürücü hızla geliştiği günümüzde, bu gelişmeler hassas basınç ölçümlerinde 5 ppm (parts per million) değerlerinde belirsizliklere ulaşmayı mümkün kılmıştır.

Basınç ölçümleri denildiğinde sanayide çok geniş bir kullanım alanına sahip ve tıpkı analog bir saat görüntüsüne sahip manometreler akla gelse de, elektriksel çıkış sinyali ile basınç değerlerinin ölçüldüğü basınç dönüştürücüleri, sıvı sütunlu manometreler, quartz basınç sensörleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm bu basınç ölçerler, maddelerin fiziksel özelliklerinden yararlanmak suretiyle, basınç değerlerinin tespit edilmesine imkan veren ikincil seviye ölçerlerdir. Oysaki metrolojide en önemli hususlardan biri, birimlerin elde edilmesi, transferi ve izlenebilirliğin sağlanmasıdır. Türetilmiş bir birim olan basınç biriminin elde edilmesinde bilinen iki yöntemden biri, alan üzerine kuvvetin etki ettirilmesi ile basınç değerinin türetilmesi olup, günümüzde basınç metrolojisinde ileri seviyede ülkelerin metroloji enstitüleri tarafından da birincil seviye basınç standardı olarak kullanılmaktadır.

2. PİSTONLU BASINÇ STANDARTLARI (DEAD WEIGHT TESTERS)

Türetilmiş birimlerin elde edilmesi, doğrudan doğal sabitler ile elde edilen temel birimlerin elde edilmesi kadar şanslı olmamıştır. Bir başka deyişle, işin içine ne kadar çok parametre katılıyorsa tüm bu parametrelerin büyük bir hassasiyetle belirlenme zorunluluğu var demektir.

Basınç biriminin pistonlu basınç standardı ile elde edilmesi Şekil 1 de şematize edilmiştir. Basınç, temel bir büyüklük olmayıp, uzunluk, kütle ve zamandan türetilmiş bir büyüklüktür. SI (Uluslararası Birimler Sistemi) 'da basınç birimi Pascal'dır. Kütle ve uzunluk gibi temel birimler ile yer çekimi ivmesi gibi doğal bir sabit aracılığıyla basınç birimi türetilebilmektedir.



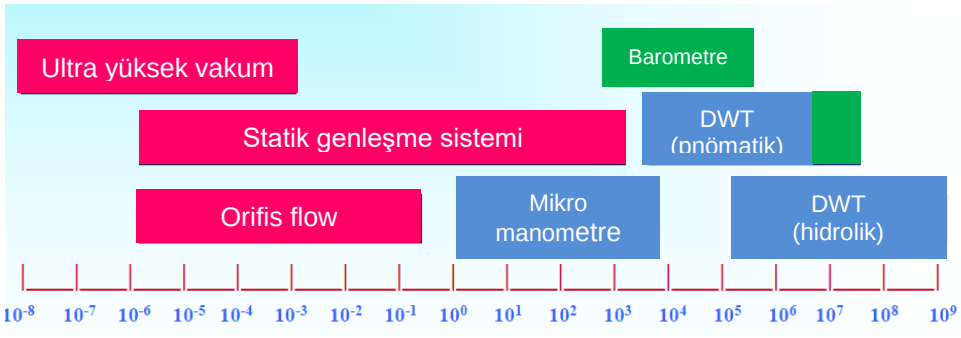
Şekil 1. Basınç birimi Pascal'ın elde edilmesi

Basınç ölçümlerinde birincil seviye referans standart olan psitonlu basınç standartları 10^3 Pascal seviyelerinden 10^9 Pascal seviyelerine kadar kullanılabilmektedir. Pnömatik pistonlu basınç ölçerler ile hidrolik pistonlu basınç ölçerlerin de yer aldığı birincil seviye basınç standartları kapsadığı basınç aralıkları ile Şekil 2 de gösterilmektedir.

Kırmızı= Absolute mode (mutlak basınç)

Mavi=Fark basınç mode-Gauge mode

Yeşil=Absolute ve gauge mode



Şekil 2. Basınç ölçüm aralıkları ve basınç ölçerler

Pistonlu basınç standartlarında temel prensip, yüzeyi çok iyi işlenmiş A_{eff} efektif alanına sahip pistonun altına uygulanan akışkan basıncının, akışkan içerisinde serbestçe yüzen piston üzerindeki F kuvvetiyle dengelenmesiyle oluşturulan basınç değerinin hesaplanması ($p_e = F / A_{eff}$) esasına dayanır (Şekil 3). Her ne kadar temel bir formül olarak görünse de referans basınç değerine doğrudan etki eden parametrelerin sayısı 10 dan az değildir.

$$p_e = \frac{\Sigma m_i \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi}}\right)}{A_p \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t - t_r)]}$$

p_e Pistonun altına etki eden gauge basıncı

A_p Efektif alan değeri $A_p = [A_o \cdot (1 + \lambda \cdot p)]$

A_o Atmosfer basıncında ve 20 °C sıcaklıkta piston-silindir ünitesi alanı

m_i Piston üzerine etki eden her bir kütle değeri /tüm yüzer elemanlar dahil)

g Yerçekimi ivmesi

ρ_a Havanın yoğunluğu

ρ_{mi} Kütlelerin yoğunluğu

A_o Atmosfer basıncında ve 20 °C sıcaklıkta piston-silindir ünitesi alanı

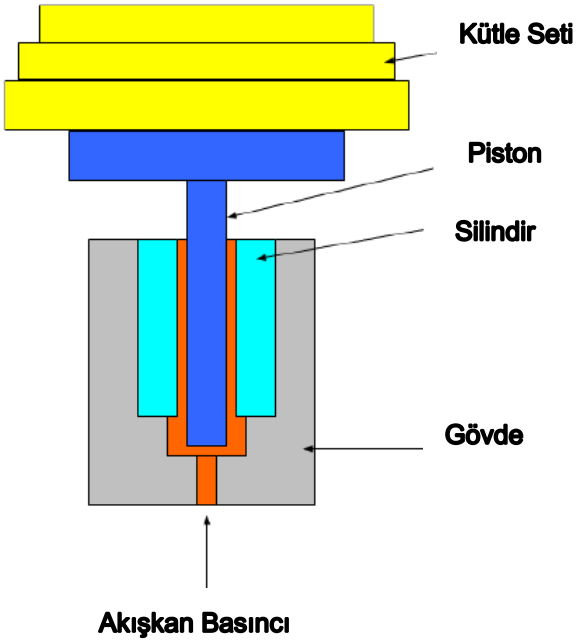
λ Basınç distorsiyon katsayısı

α_p Piston ısıl genleşme katsayısı

α_c Silindir ısıl genleşme katsayısı

t Ölçülen basınç değerindeki sıcaklık

t_r Referans sıcaklık (20 ° C)

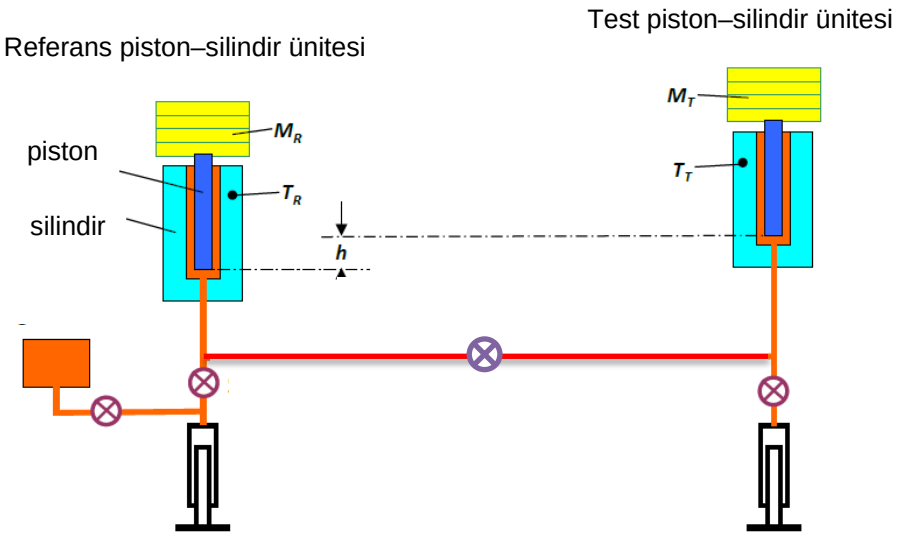


Şekil 3. Piston-silindir ünitesi ve kütle seti

3. KALİBRASYON YÖNTEMLERİ

3.1 Karşılaştırma Yöntemi ile Piston-Silindir Ünitesinin Efektif Alan Değerinin Belirlenmesi (Cross Floating Method)

3.1.1. Piston-silindir ünitelerinde piston düşme hızlarının belirlenerek referans ve test DWT basınç değerlerinin dengelenmesi metodu:



Şekil 4. Piston düşme hızlarının tespit edilmesi ile DWT efektif alan belirlenmesi kalibrasyon düzeneği

Bu yöntem literatürde karşılaştırma yöntemi olarak bilinmekte olup, boyutsal ölçümlerle efektif alan belirlenmesinden sonra en hassas kalibrasyon yöntemidir. Piston-silindir ünitesinin efektif alan değeri ve basınç distorsiyon katsayısı belirlenmek suretiyle kalibrasyon gerçekleştirilir. Referans DWT piston-silindir ünitesine ait tüm parametreler bilinmektedir. Ölçüm prensibi birbirlerine doğrudan bağlı olan referans ve testte oluşturulan basınç değerlerinin eşitlenmesi üzerine kurulmuştur. Kalibrasyon düzeneğinde referans DWT ile test DWT cihazı doğrudan birbirlerine bir basınç hattı ile bağlanır. Çoğunlukla bu hat üzerinde bir açma-kapama valfi (shut-off valve) yerleştirilmesi önerilir.

Bu kalibrasyonda test DWT cihazına ait kütle seti, kütle seti yoğunluk değerleri, piston-silindir ünitesi ısıl genleşme katsayıları vb. basınç eşitliğindeki tüm parametrelerin de değerlerinin de bilinmesi gereklidir. Test cihazının kütle değerlerinin yoğunlukları üretici firma tarafından verilen değerler olarak alınabilir. Ancak kütlelerin de kalibreli olması yani sertifika değerleri ile birlikte DWT cihazını kalibre eden laboratuvara iletilmesi önem arzetmektedir. Test DWT piston-silindir ünitesinin ısıl genleşme katsayıları yine üretici firma tarafından verilen ilk sertifikasında mevcuttur. Aşağıdaki denklemlerde kalibrasyonun gerçekleştirildiği laboratuvar ortam sıcaklığı nominal 20 °C olarak alınmıştır. Bazı üretici sertifikalarında bu değerin 23°C olarak da verildiği görülmekte olup, kullanıcının sertifikada verilen eşitliği dikkate alarak basınç değerini hesaplaması gereklidir.

$$p_{ref} = p_{test}$$

$$\frac{\Sigma m_{i_{ref}} \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi\,ref}}\right)}{A_{p\,ref} \cdot [1 + (\alpha_{p\,ref} + \alpha_{c\,ref}) \cdot (t_{ref} - 20°C)]} \mp p_{\Delta h} = \frac{\Sigma m_{i_{test}} \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi\,test}}\right)}{A_{p\,test} \cdot [1 + (\alpha_{p\,test} + \alpha_{c\,test}) \cdot (t_{test} - 20°C)]}$$

Yukarıdaki eşitlikten kalibrasyonu gerçekleştirilien test DWT cihazına ait $A_{p\,test}$ değeri kolaylıkla belirlenebilir. $A_{p\,test}$ değerinin elde edilmesi ise $A_{p\,test} = [A_o \cdot (1 + \lambda_{test} \cdot p)]$ eşitlğinden test cihazına ait basınç distorsiyon katsayısı λ_{test} değerinin tespit edilmesini sağlar. Hidrolik DWT cihazlarında piston üzerine etki eden kuvvet değerine σ.C kuvvetinin de ilave edilmesi gereklidir (σ, yağın piston üzerinde oluşturduğu gerilim değeri, C ise pistonun çevresi) . Bu değer pnömatik DWT cihazları için hesaba katılmaz. İlaveten gerek pnömatik gerekse hidrolik DWT cihazlarında hacim düzeltme değerinden ortaya çıkan kuvvetin (V.ρ) hesaplara katılması önem arzeder. Referans pistonun yüzme seviyesi ile test pistonun yüzme seviyesi arasındaki yükseklik farkından ortaya çıkan basınç değeri $p_{\Delta h}$ referans basınç değerine doğrudan etki eden diğer önemli bir parametredir.

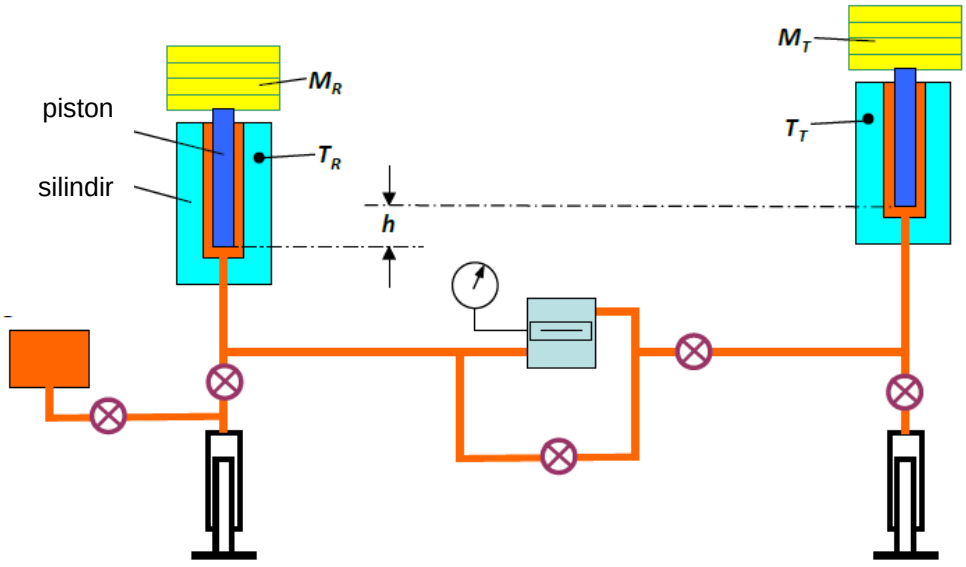
Bu yöntem boyutsal ölçümler ile efektif alan belirlenmesinden nispeten daha kolay ve daha düşük maliyetlerde olmakla birlikte, önemli derecede tecrübe isteyen bir kalibrasyon metodudur. Kalibrasyonu gerçekleştirilmek istenilen DWT cihazının full skala değeri genellikle 8 eşit aralığa bölünmek suretiyle her basınç değerinde yukarıdaki eşitliğin gerçeklenmesi sağlanır. Her iki cihazdaki basıncın eşitlenmesini sağlayarak dengeye getirebilmek için, çoğunlukla kullanılan yöntem, referans ve test cihazlarına ait pistonların düşme hızlarını ölçmek ve bu düşme hızlarını elde edecek şekilde sistemi dengeye getirecek kütle setini tespit etmektir. Yaygın olarak kullanılan yöntemde, kütle seti daha hafif olan DWT cihazı üzerine ilave kütle setleri (trim masses) eklemek suretiyle referans ve test cihazlarında oluşturulan basınçlar eşitlenir. Bu nedenle pistonlu basınç standartlarına basınç terazisi de denildiği görülmektedir.

3.1.2 Yüksek çözünürlükte fark basınç ölçer ile referans ve test DWT basınç değerlerinin dengelenmesi metodu: Bu yöntemde referans ve test DWT piston-silindir ünitelerinde oluşturulan basınç değerleri eşitlenirken sistemde yüksek çözünürlükte hassas bir fark basınç ölçer kullanılır. Bu fark basınç ölçer test ve referans arasındaki basınç hattına doğrudan bağlıdır. Test ve referans DWT cihazlarında nominal olarak aynı basınç değeri oluşturulduktan sonra, fark basınç ölçer devreye sokularak test ve referans basınç arasındaki basınç farkı okunur. Bu yöntem, piston-silindir ünitelerinin düşme hızlarının tespit edilerek aynı düşme hızlarının test ve referans DWT cihazları birbirine doğrudan bağlı iken de elde edilmesini zorunlu kılmaz. Fark basınç değerini sıfır basınca yaklaştıran kütle setlerini tespit etmek, test cihazının bilinmeyen A_o değerini tespit etmek için yeterlidir.

$$\Delta p = p_{ref} - p_{test}$$

$$p_{ref} = \frac{\Sigma m_{i_{ref}} \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi\,ref}}\right)}{A_{p\,ref} \cdot [1 + (\alpha_{p\,ref} + \alpha_{c\,ref}) \cdot (t_{ref} - 20°C)]} \mp p_{\Delta h}$$

$$p_{test} = \frac{\Sigma m_{i_{test}} \cdot g \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi\,test}}\right)}{A_{p\,test} \cdot [1 + (\alpha_{p\,test} + \alpha_{c\,test}) \cdot (t_{test} - 20°C)]}$$



Şekil 5. Fark basınç ölçer ile DWT efektif alan belirlenmesi kalibrasyon düzeneği

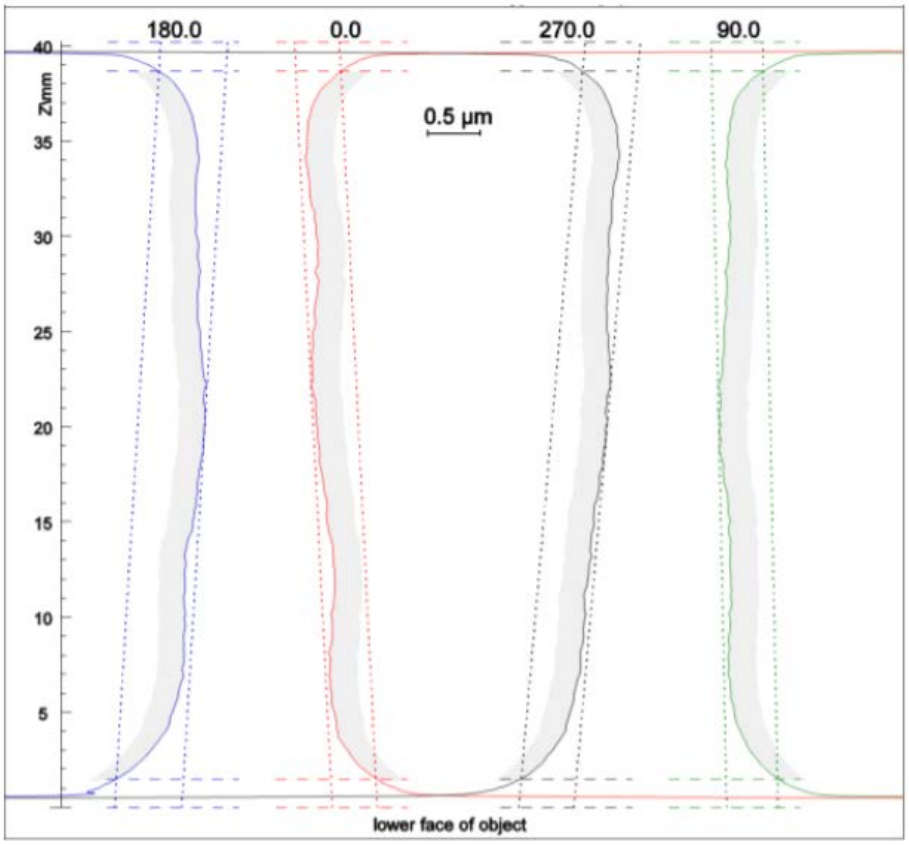
3.2 Boyutsal Ölçümler ile Piston-Silindir Ünitesinin Efektif Alan Değerinin Belirlenmesi

Bu metot, ülkemizde bazı kalibrasyon laboratuvarları tarafından uzun yıllar boyunca, piston-silindir ünitesinin boyutlarının mikrometre vb. boyutsal ölçümler ile ölçülerek A_o alan değerinin geometrik bir formülle hesaplanması olarak değerlendirilmiştir. Çok sayıda laboratuvarın DWT cihazlarına boyutsal ölçümler ile kalibrasyon sertifikası verilmiştir.

Boyutsal ölçümler ile A_o değerinin belirlenmesi , piston ve silindirin ayrı ayrı yuvarlaklık, düzlemsellik-parelellik ve çap ölçümlerine dayanmaktadır. Ülkemizin boyutsal ölçümler ile efektif alan belirlenmesine yönelik ilk çalışmaları TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarının katılım sağladığı EURAMET 463 ve EURAMET 740 projeleri ile gerçekleşmiştir. Bu projelerde boyutsal ölçümleri PTB tarafından yapılan piston-silindir ünitelerinin, efektif alan değerleri ve basınç distorsiyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalara esas teşkil eden toplam boyutsal ölçüm verisi yaklaşık 10500 civarındadır.

Basınç değerinin belirlenmesinde etkili olan alan, pistonun veya silindirin mutlak alan değerleri değildir. O nedenle boyutsal ölçümlerle mutlak alan değerleri belirlense dahi, önemli olan piston-silindir ünitesinin efektif alan değerinin belirlenmesidir. Piston-silindir arasında bulunan ve clearance adı verilen ve 0,1-0,2 mikron mertebelerinde olan boşlukta etkili olan r* yarıçapı gerçekte efektif alan değerini verir. Burada ise akış denklemlerinin piston-silindir ünitesinin yüzme mesafesi boyunca çözümlenmesi ile mümkündür.

Efektif alan değerinin belirlenmesini müteakiben, piston-silindir ünitesinin basınç altında ne kadar deforme olduğunun da ayrıca tespit edilmesi gereklidir. Aşağıdaki şekilde teorik olarak mükemmel boyutlarda üretilen bir piston-silindir ünitesinin gerçekte boyutsal ölçümlerde elde edilen sonuçlarını göstermekte olup, örnek olarak verilmiştir.



Tablo 1. PTB (Almanya) tarafından farklı kesitlerde açısal pozisyonda ölçümleri gerçekleştirilen bir piston-silindir ünitesi çap değerleri

Measurement position / mm	Piston Diameter / mm	
	0° – 180°	90° – 270°
14	35.332 25	35.332 32
0	35.332 47	35.332 51
-14	35.332 20	35.332 30
Measurement position / mm	Cylinder Diameter / mm	
	0° – 180°	90° – 270°
9	35.333 80	35.333 81
0	35.333 60	35.333 63
-9	35.333 80	35.333 82

3.3 Kütle Setlerinin Oluşturduğu Basınç Değerlerinin Belirlenmesi

Bu kalibrasyon yöntemi genellikle endüstride yaygın olarak kullanılan ikincil seviye DWT cihazlarının kalibrasyonlarında tercih edilir. Bu yöntemde piston-silindir ünitesinin efektif alan değeri, basınç distorsiyon katsayısı, ısıl genleşme katsayıları vb. parametrelere ihtiyaç duyulmaz. Kütlelerin oluşturduğu kuvvet

değerinin piston-silindir ünitesi üzerine etkimesi ile elde edilen basınç değerleri yüksek çözünürlükte referans bir basınç ölçer ile belirlenir ve bu değerler sertifikada sunulur. Bazı üretici firmalar kütlelerin üzerinde nominal basınç değerlerini de basılı olarak vermektedir. Burada kullanıcının dikkat etmesi gereken en önemli husus, kullanım sırasındaki ortam sıcaklığını ve kullanılan yerdeki yerçekimi ivmesinin dikkate alınarak referans basınç değeri üzerinde düzeltme yapma gereğidir.

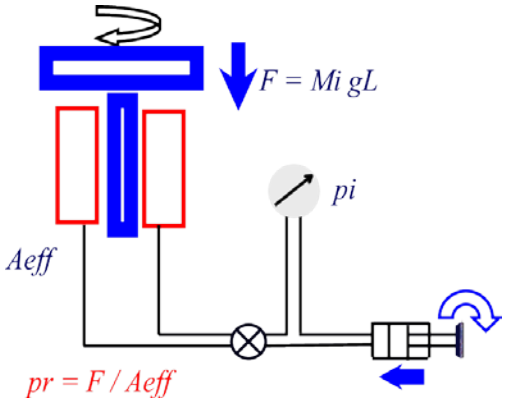
$$p = \frac{p_{nom} \cdot g_{yerel}}{g_c} \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t_{ref} - t)]$$

g_c Kalibrasyonun yapıldığı yerdeki yerçekimi ivme değeri (sertifikada verilir)

g_{yerel} Kullanıcının bulunduğu mahaldeki yerçekimi ivmesi

p_{nom} Nominal basınç değeri

$\alpha_p + \alpha_c$ Piston-silindir ünitesinin ısıl genleşme katsayıları



Şekil 6. Kütle set değerlerinin oluşturduğu nominal basınç değerlerinin belirlenmesi ile DWT kalibrasyonu

4. ARA KONTROL YÖNTEMLERİ

Referans basınç ölçer olarak pistonlu basınç standardı (DWT) kullanan laboratuvarlarının karşılaştığı önemli problemlerden biri de bu cihazların ara kontrol ölçümlerinin gerçekleştirilmesidir. DWT cihazlarının en geç 5 yıllık periyotlarda kalibrasyonu yaygın olarak tavsiye edilir. DWT cihazında ana eleman piston-silindir ünitesinin alan değerinin değişip değişmediği, performansının devam ettiği ve kütle setlerinin değerlerinin sertifikada verilen değerler içinde olup olmadığının kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Ara kontrol yönteminin de kalibrasyon metoduna yakın bir yöntem olması tabii ki en doğru yöntemdir. Ancak kalibrasyon sürelerinin uzunluğu ve çok yüksek maliyetlerde gerçekleştirilmesi nedeniyle kullanıcı cihazının ara kontrol ölçümlerini tekrar kalibrasyon ölçümüne benzer bir metotla yaptıramaz. Normal şartlarda ara kontrollerin kullanıcının kendi imkanları dahilinde yapması gereken faaliyetler olduğu bilinir. Kullanıcının böyle bir durumda DWT kalibrasyonu gerçekleştirebilecek yetkinlikte olması ve herşeyden önemlisi bu DWT cihazını kontrol edecek nitelikte referans bir cihaza sahip olması beklenir ki bu durum ülkemizde ulusal metroloji enstitüsünün dışında herhangi bir laboratuvarda henüz mümkün değildir. Yukarıda açıklanan nedenler esas alındığında, DWT cihazının ara kontrolünün yapılmaması kabul edilebilir bir durum değildir.

Öyleyse böyle bir durumda kullanıcının DWT cihazının performansını gözlemleyecek parametreler üzerinden ölçümler alması beklenilmelidir. Bu parametreler kalibrasyon sonuçlarına doğrudan etki eden parametrelerdir. Ara kontrol yöntemi olarak kullanıcılara önerilebilecek yöntemler;

4.1 Piston düşme hızının kontrolü: Bu yöntemde DWT cihazına ait pistonun düşme hızının önceden belirlenmesi veya üretici firma tarafından verilen teknik değerler çerçevesinde gözlenmesi önem taşır. Normal şartlar altında bir piston-silindir ünitesi , sistemde herhangi bir yağ/hava kaçağı yok ise en az 3 dakika boyunca yüzme seviyesinde 30 rpm (revolution per minute) ile durmaksızın dönmelidir. 3 dakika boyunca pistonun düşme hızı ölçülür. Pistonun düşme hızı basınç değerleri arttıkça artabilir. Bir pistonun düşe hızı için tek bir değer vermek doğru değildir. Örneğin 10 bar ile 1000 bar çalışma aralığında olan bir DWT cihazına ait pistonun düşme hızı 100 bar değerinde x mm/s kadar iken, 1000 bar değerinde 5x mm/s olabilir. Bu nedenle belirli basınç değerlerinde her pistonun düşme hızı yaklaşık 10 kere ölçülmek suretiyle ortalama bir değer tespit edilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus özellikle hidrolik DWT cihazlarında kullanılan yağın üretici tarafından tavsiye edilen yağ ile aynı özelliklere sahip olmasıdır. Piston-silindir ünitesi arasındaki boşluğun (silindir çapı ile piston çapı arasındaki fark) 0,1..0,2 mikron değerlerinde olduğu göz önüne alındığında, istenilen viskoziteden yüksek bir yağ kullanılması durumunda piston normal olarak düşmeyecek olup, kısa bir süre sonra da dönmesi duracaktır. Bu nedenle kullanıcının DWT cihazının kalibrasyonu sırasında kullanılan yağ ve ölçüm alınan her basınç noktasındaki ortalama düşme hızlarını bilmesi gerekir. Bu ara kontrol metodunun 18 aylık periyotlarda cihazın ölçüm aralığı içinde en az 5 basınç noktasında yapılması sistemin performansının gözlenmesi için önem taşır. Düşme hızında beklenilmeyen değerler piston-silindir ünitesi efektif alanındaki değişikliğe işaret edebileceği gibi, sistemde bir kaçak olup olmadığına, sızdırmazlık elemanlarında bir deformasyon olup olmadığına da işaret etmek suretiyle sistemin performansının gözlenmesine yarar. Düşme hızını birincil seviye DWT cihazlarında sisteme dahil bir monitörden gözlenebileceği gibi, bu tür monitörlerin bulunmadığı DWT cihazları için piston üzerinde temassız olarak yerleştirilen bir lazer mesafe ölçer ile de kolaylıkla tespit edilebilir. Burada kullanıcıyı, ara kontrol yöntemi olarak DWT cihazının düşme hızını sadece bir kronometre ve gözle ölçmesi gibi yanlış bir uygulamaya yönlendirmemek gerekir. Çünkü belirsizlik değeri 30 ppm olan bir DWT cihazının düşme hızı belirleme yöntemi kesinlikle hassas bir cihazla olmalıdır.

4.2 Quartz tip sensörlü basınç ölçerler ile piston-silindir ünitesi tarafından oluşturulan basıncın kontrolü:
Quratz esaslı sensörler günümüzde en hassas yapıya sahip olan sensörler olup, %0,0008 doğruluk değerlerinde basınç ölçerlerin üretiminde kullanılmaktadır. Endüstride ve akredite laboratuvarlarda kullanılan DWT cihazlarının, üreticiler tarafından beyan edilen en iyi doğruluk sınıflarının %0,025 ile %0,05 arasında olduğu göz önünde bulundurulduğunda %0,0008 doğruluk sınıfında quartz tip bir sayısal basınç ölçerle DWT cihazının ara kontrolü son derece başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu hususta yaygın ve yanlış bir kanı ise quartz tip basınç ölçerin yüksek maliyetinin laboratuvara gereksiz bir yük getireceği kanaatidir. Bu tip basınç ölçerin maliyeti DWT cihaz maliyetinin en çok 1/3 ü kadar olup, laboratuvar bu cihaz ile sadece kendi ara kontrollerini yapmayıp, akredite başka laboratuvarların ve endüstrideki dead weight tester cihazlarının kalibrasyonunu yapacak alt yapıya da sahip olabilir.

Bir DWT cihazın ara kontrolü denildiğinde hangi yöntem uygulanırsa uygulansın, piston-silindir ünitesi üzerine etki eden kuvveti oluşturan kütlelerin de mutlaka ara kontrollerinin yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

SONUÇ

Birincil seviye basınç ölçer bir cihaz olan pistonlu basınç standartları, yaygın adıyla dead weight tester cihazları uygun kullanım ve koruma koşulları sağlandığında aynı performans ile 40 yıla varan sürelerde kullanılabilmektedir. Bunun en iyi örnekleri Fransa Metroloji Enstitüsü BNM-LNE, İtalya Metroloji Enstitüsü INRIM ve Almanya Metroloji Enstitüsü PTB başta olmak üzere dünyanın önde gelen metroloji enstitülerinde halen başarıyla kullanılmakta olan DWT cihazlarıdır. Ülkemizde ise Ulusal Metroloji Enstitüsündeki ilk kullanılan DWT cihazları bugün 28 yaşına ulaşmıştır. Aradan geçen bu süre içinde ülkemizde halen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı dışında,

DWT cihazının kalibrasyonunu yapan akredite bir laboratuvar ortaya çıkmamıştır. Bunun en önemli nedenlerinden biri de akredite laboratuvarların, ikincil seviye DWT cihazlarının kalibrasyon yöntemini tıpkı TÜBİTAK UME tarafından gerçekleştirilen hassasiyette ve birinci sınıf DWT cihazlarına uygulanan yöntemle yapmak zorunluğunda zannetmeleridir. Önemli olan kullanıcının ihtiyacı olan seviyede kalibrasyonu gerçekleştirecek bilgi ve donanıma sahip olmaktır.

TÜRKAK tarafından akredite edilen kalibrasyon laboratuvarlarının basınç kapsamlarında DWT cihazı ile en iyi ölçüm belirsizliği veren laboratuvar sayısı TÜBİTAK UME dahil yaklaşık 10 adet olmasına karşın, çok sayıda kullanıcının DWT cihazına sahip olduğu bilinmektedir. Çoğu zaman, kullanıcıların bu cihazları yüksek kalibrasyon maliyeti nedeniyle veya kullanacak yetkinlikte personeli olmaması nedeniyle atıl durumda tuttuğu görülmektedir. Ayrıca ülkemizde TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü dışında, herhangi bir akredite laboratuvarın EA çerçevesinde düzenlenen DWT kalibrasyonu konulu bir LAK faaliyetine katılamamış olması da ayrıca ülkemizin bu alanda da temsili açısından önem arzetmektedir.

KAYNAKLAR

[1] EURAMET cg 3, Calibration Guide, Version 1.0 (03/2011)
[2] MOLİNAR, G. F., An Overview On Pressure Metrology, IMGC-CNR, Torino, Italy (TÜBİTAK UME Basınç Grubu Paydaşlar Toplantısı), 2005
[3] Dana R. Defibaugh and Douglas A. Olson, National Institute of Standards and Technology, NCSL International Workshop and Symposium, August 1, 2007
[4] SAMADRO, R.A., EGA V. E., HAFİD, H. , Calvculation of Effective Area Based on Dimensional Measurement For 35 mm Diameter Piston-Cylinder Unıt of KIM-LIPI Pressure Standard

ÖZGEÇMİŞ

İlknur KOÇAŞ KOZBE

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Konstrüksiyon Bilim Dalında 1991 yılında Yüksek Lisans, aynı bilim dalında 1999 yılına Doktora öğrenimini tamamlamıştır. 1990-1999 yılında YTÜ Makine Fakültesi Konstrüksiyon Ana bilim Dalında Araştırma Görevlisi, 1999-2000 yılında ise Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. Metroloji ile ilgili çalışmaları, 2000 yılında göreve başladığı TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç ve Vakum Grubu Laboratuvarları Sorumluluğu ile başlamıştır. 2005-2011 yılları arasında EURAMET Yüksek Basınç Çalışma Grubunda ülkemizi temsil etmiş olup, EURAMET 834, EURAMET 861, EURAMET 1091 uluslararası karşılaştırma ölçümlerinde proje koordinatörü, EURAMET 1125 ve EURAMET 1170 projelerinde proje koordinatör yardımcısı ve EURAMET 740, EURAMET 499, EURAMET 1041, EMRP-14i projelerinde TüBİTAK UME iş paketi sorumlusu olarak görev almıştır.

2011 yılında Avrupa Metroloji Enstitüleri tarafından aday gösterildiği IMEKO,TC16, “Pressure and Vacuum Measurements “Teknik Komite Bilimsel Sekreterya görevine seçilmiştir.

2005 yılından günümüze kadar TÜRKAK 17025 Akreditasyon denetiminde (150 nin üzerinde) Teknik Denetçi ve Baş Denetçi olarak görev almıştır.

2012 yılında TÜBİTAK UME’den Başuzman olarak emekli olan Dr. KOÇAŞ KOZBE halen İstanbul Gedik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir.

BASINÇ DÜŞÜMÜ PARAMETRESİNİN İZLENEREK HİDROLİK FİLTRE KİRLİLİK ŞALTERLERİNİN GÜVENİRLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Özgür ÇELİKDEMİR
Levent ÇETİN

ÖZET

Bu çalışmada, hidrolik ünitelerde yağ kirlilik şalterlerinden gelen bilginin doğruluğunun değerlendirilmesi için algoritma geliştirilmiş ve test edilmiştir. Çalışma yapılırken sistemdeki algılayıcılar üzerinde deneyler yapılarak sıcaklık ve debinin basınç farkı ile ilişkisi ortaya konulmuş, filtre üzerinde oluşan basınç deneysel yollarla modellenmiş ve sistem üzerinde gözlemler yapılmıştır. Deneysel gözlemde faydalanılan tablolara ve metotlara yöntem kısmında değinilmiştir. Referans alınan yağa bağlı olarak iyileştirme çalışmaları yapılmış ve hidrolik devre oluşturulmuştur. Bu sistem üzerindeki filtreleme çalışmaları sonucunda çıkarımlarda bulunulmuştur. Bu çıkarımlarda, ön görülen deneysel yöntemin filtre bilgisini veren hatalı sinyalleri azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İzlenebilirlik, hidrolik filtreler, güvenirlik

ABSTRACT

In this study, an algorithm has been developed and tested to evaluate the accuracy of information from oil pollution switches in hydraulic units. During the study, the sensors on the system were experimented and the relationship between pressure difference, temperature and flow rate was determined. The pressure on the filter was modeled by experimental methods and observations were made on the system. The tables and methods used in experimental observation are discussed in the method section. Improvements were made depending on the reference oil and hydraulic circuit was created. Inferences have been made as a result of filtering studies on this system. In these inferences, it was seen that the proposed experimental method reduces the false signals that give the filter information.

Keywords: Traceability, Hydraulics Filters, Reliability

1.GİRİŞ

Günümüzde geliştirilen teknolojik cihazlara algılayıcılar yaygın olarak entegre edilmiştir. Bu durum gerçek zamanlı olarak sistemin çalışma dinamiklerini izlenebilir hale getirmiştir.

Hidrolik üniteler endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin işlevlerini düzgün bir şekilde yerine getirebilmesi için üzerlerine basınç, sıcaklık, seviye, debi algılayıcıları takılmaktadır.[1]

Hidrolik ünitelerdeki temel problemlerden bir tanesi, yağ sıcaklığı, yağ viskozitesi ve debiye bağlı olarak filtre kirlilik şalterinin hatalı bilgi vermesidir. Yağ kirlilik şalterleri filtre üzerindeki basınç düşümüne tepki vermektedirler. Dolayısı ile verilen bilginin yağ temizliğine göre mi yoksa çalışma şartlarına bağlı olarak mı verildiğinin ayırt edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada sistemde entegre olarak bulunan algılayıcılar yardımı ile kontrollü deneyler yapılarak sıcaklık ve debinin basınç farkı ile ilişkisi ortaya konulmuştur. Elde edilen bu bilgiler ile yağ kirlilik şalterlerinden gelen sinyallerin doğruluğunun değerlendirilmesi için bir algoritma geliştirilip, deneysel sistem üzerinde bu algoritma test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ön görülen deneysel yöntemin hatalı uyarıları azalttığını göstermektedir.

1.1 Problem tanımı

Hidrolik sistemlerde yağın temizliğinin sağlanması ve sisteme sürekli temiz yağ gönderilebilmesi için kullanılan hidrolik filtrelerde, filtrenin tıkanıklığını gösteren filtre tıkanıklık şalteri bulunmaktadır. Bu şalterin temel kullanım amacı üzerinden geçen yağın filtreyi kirletmesine bağlı olarak yeni filtre değiştirmesi amaçlı uyarı vermesidir.

Filtre tıkanıklık şalteri, filtrenin giriş ile çıkışı arasındaki basınç farkına bağlı olarak uyarı sinyali üretmektedir. Bu sebeple sadece filtrenin kirliliği değil, aynı zamanda filtrenin maruz kaldığı debiye ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen viskoziteye göre sinyaller üretebilmektedir.

Hidrolik sistemlerde çalışma esnasında hidrolik yağ farklı sıcaklık değerlerine maruz kalmaktadır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak yağ viskozitesi değişmektedir. Yağ viskozitenin değişimi ile filtre üzerindeki basınç farkı değişmekte ve filtre üzerindeki göstergeler hatalı tıkanıklık sinyali üretmektedirler.

Benzer şekilde filtrelerin üzerinden geçen yağ debisinin, nominal olarak filtre geçirgenliğinden göreceli olarak fazla olması, filtre üzerindeki basınç farkını attırmakta ve filtre üzerindeki göstergeler hatalı tıkanıklık sinyali üretmektedirler.

2.YÖNTEM

Normal koşullarda filtre seçimi, filtre içerisinden geçecek olan yağın tipi, çalışacağı sıcaklıktaki viskozitesi ve yağın debisi göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Tasarım kriterinde önerilen değer filtrenin kullanılacağı koşullarda, yağın geçişi sırasında girişi ile çıkışı arasında en fazla 1,5 bar basınç düşümü olacak şekilde seçilmesidir.[2] Bu koşullarda tıkanıklık şalterlerinin düzgün çalıştığı ön görülmektedir. Yukarıda problem tanımında verilen kirliliğe bağlı olmayan tıkanıklık sinyallerinin kaynağının çalışma koşulları (debi ve sıcaklık) olduğunun belirlenmesi için filtre seçiminde kullanılan nominal değerler dışında filtre üzerinde oluşan basınç farkının nasıl değiştiğinin modellenmesi gerekmektedir.

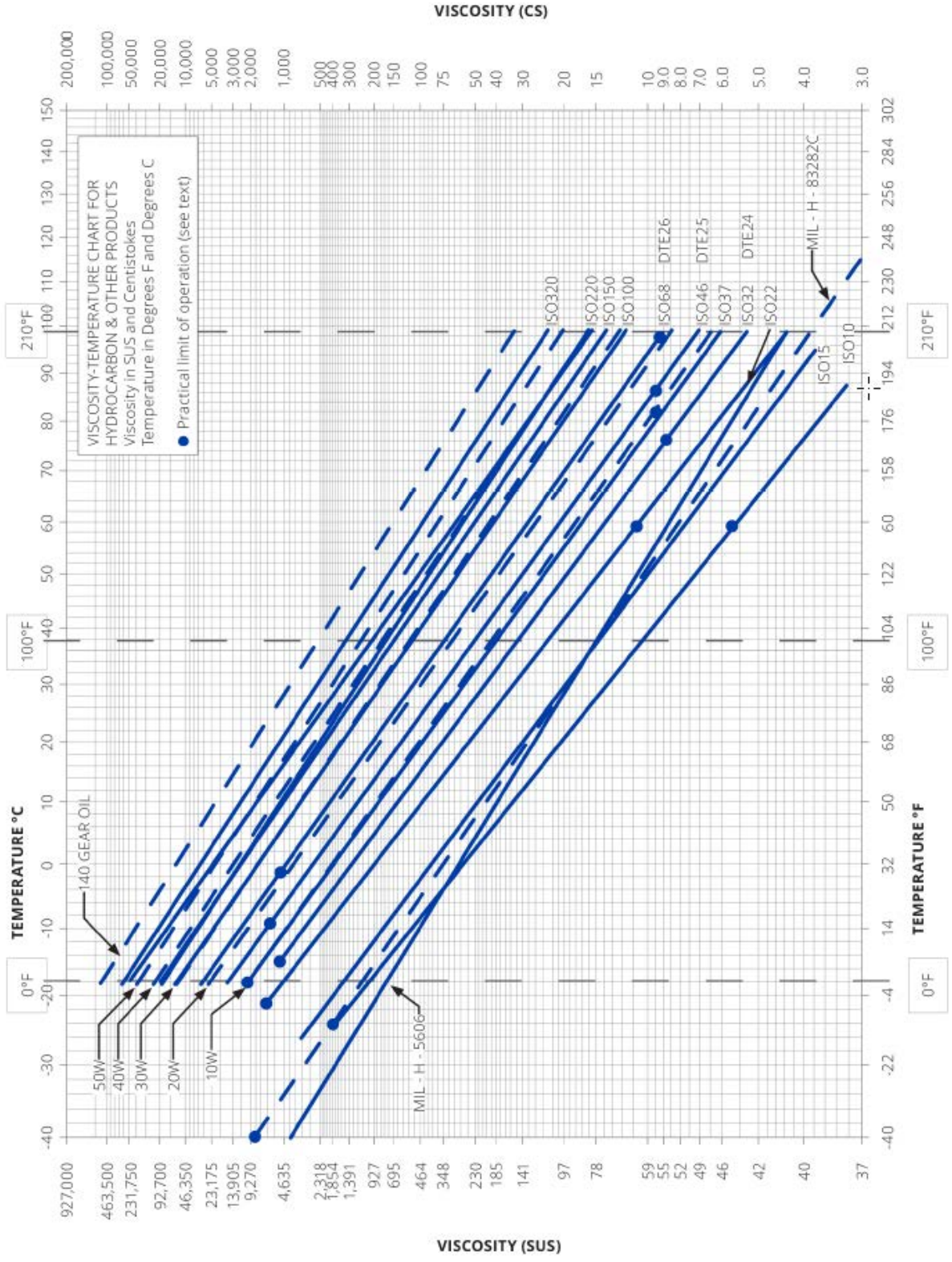
Bu çalışmada bu modelleme için deneysel bir yaklaşım önerilmektedir.

Bu yaklaşımda sıcaklık ve debi aralığına değişimlerinin belirlenmesi, daha sonra ise bu aralık içerisinde anlamlı sayıda değer çifti ile hidrolik sistem çalıştırılarak filtre üzerindeki basınç düşümünün gözlemlenmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar bir look-up tablosuna işlenerek tıkanıklık sinyalinin kaynağı kontrol edilecektir.

2.1.Sıcaklık aralığının belirlenmesi

Yağ viskozitesi, hidrolik komponentlerin ideal çalışma viskozite aralıklarına bağlı olarak belirlenmelidir. Yağ viskozitesinin ölçülmesi pahalı ve pratik bir yöntem olmadığından, sıcaklık viskozite tablosu kullanılarak deneysel gözlemin yapılması gereken sıcaklık aralığı belirlenmelidir.

Hidrolik yağ üreticileri belirlenen uluslararası standartlara uygun olarak sıcaklık viskozite ilişkisini deneysel olarak belirleyip teknik bilgi olarak paylaşmaktadırlar.



Şekil 1. Viskozite Sıcaklık İlişkisi [3]

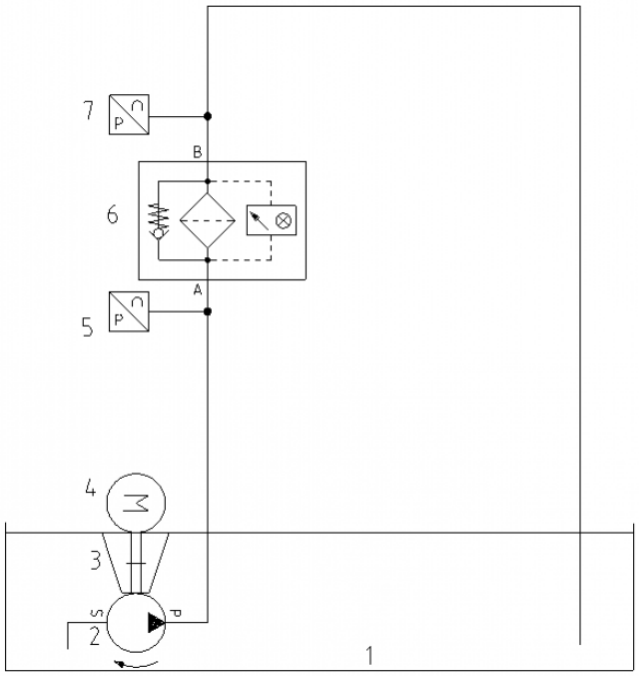
Şekil 1 de görüldüğü gibi yağ viskozitesi ve sıcaklık arasında doğrusal olmayan ve ters orantılı bir ilişki vardır. Buna karşılık grafik üzerinden belirli bir yağ tipi için herhangi bir viskozite değerinin oluştuğu sıcaklık değeri okunabilmektedir.

2.2.Debi aralığının belirlenmesi

Hidrolik sistemlerde basınç hattında debinin ölçülmesi pahalı ve sık tercih edilmeyen bir yöntemdir. Buna karşılık tüm sistemlerde debi ile orantılı bir değişken olan motor devir sayısı bilinmektedir. Bu çalışmada pompanın düzgün çalışması için önerilen minimum ve maksimum devir sayıları kullanılarak motor devri ile basınç farklı arasındaki ilişki belirlenecektir. Bu ilişki pompa büyüklüğü verisi kullanılarak filtreden geçen debiye bağlı olarak oluşan basınç düşümünü verecek şekilde ölçeklenecektir.

3.DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada referans olarak alınan ISO 46 mineral hidrolik yağı kullanılarak metot kısmında belirtilen filtre tıkanıklık şalteri performans iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Belirtilen sıcaklık ve devre bağlı kontrollü deneylerin yapılabilmesi için aşağıdaki hidrolik devre kurulmuştur.



Şekil 2. Hidrolik Devre Şematik çizim

Devrede elektrik motorunun (4) tahriki ile dönen pompa(2) hidrolik tank(1) içerisinde bulunan yağı emerek basınç filtresi(6) üzerinden tanka(1) geri döndürmektedir. Basınç filtresinin girişinde ve çıkışında basınç transmiterleri (5-7) bulunmaktadır. Bu akış sırasında oluşan basınç farkları transmiterden okunarak kontrol sistemine kaydedilmiştir. Kullanılan komponentlerin listesi tablo 1 de verilmiştir.

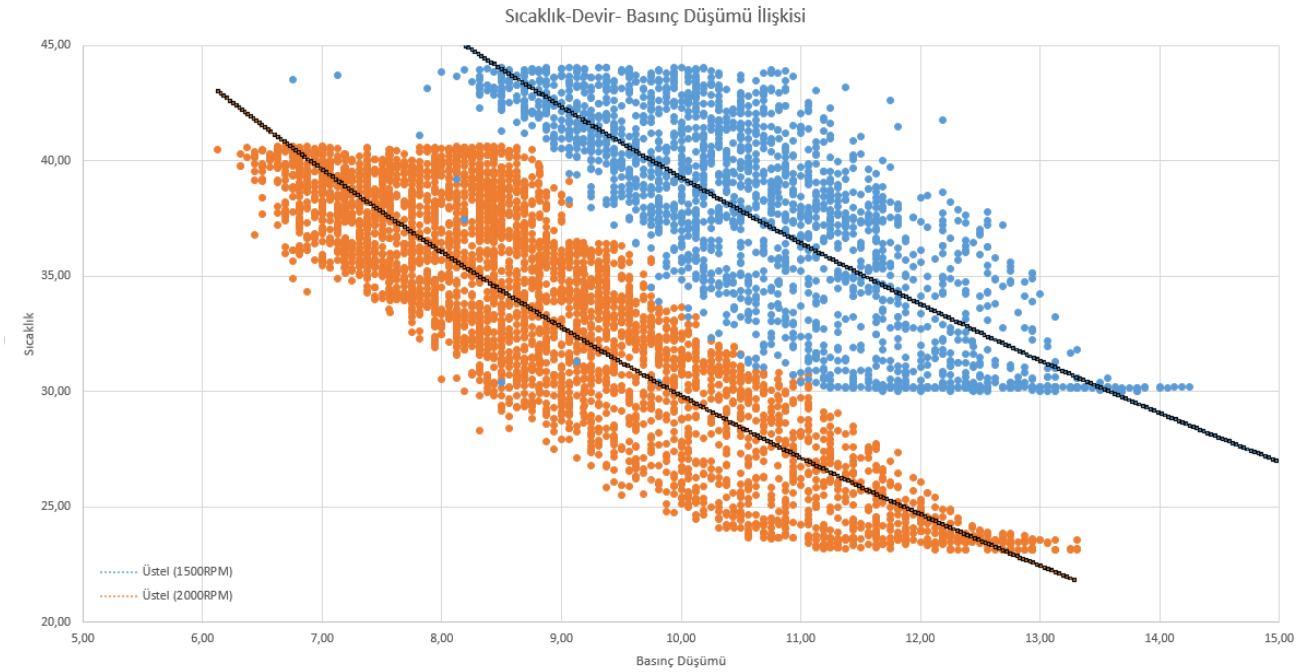
Tablo 1 Hidrolik Ünite ve Üzerindeki Ekipmanlar

1	40Lt Hidrolik Tank
2	8cc Dişli Pompa
3	Kaplin Kampana Takımı
4	3kW 1450 RPM Elektrik Motoru
5	PT160R-14-LI3-H1131 (160 Bar / 4-20 mA Basinç Transmiteri)
6	245 LEN 0063 H10XL A00 V5,0 M R4 Basınç Filtresi
7	PT160R-14-LI3-H1131 (160 Bar / 4-20 mA Basinç Transmiteri)

İlk olarak motor devri nominal çalışma devrine getirilerek sıcaklığa bağlı basınç düşümü deneyleri yapılmıştır. Daha sonra bu deneyler pompanın çalışabileceği devir aralığı içerisinde elektrik motorunun devri 1500 ve 2000 d/dk. devirler için yapılmıştır. Her bir devir değeri için sıcaklık 20 ile 40 derece arasında 5 derecelik artım ile değiştirilmiştir.

Sistem üzerinde gerekli parametre değişikliklerin yapılabilmesi için kontrol ünitesi hidrolik sisteme entegre edilmiştir. Örnekleme periyodu 1s olarak ayarlanarak basınç ve sıcaklık algılayıcılarından gelen değerler kontrolcü içerisine kayıt edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar şekil3 de verilmiştir.



Şekil 3. Filtreli Sistem Sıcaklık – Devir Sayısı – Basınç Değişimi

Şekil3 de verilen sonuçlar sabit deplasmanlı 8cc dişli pompa kullanılarak elde edilmiştir. Bu sebep ile grafikte verilen devir sayılarıma karşılık gelen debi değerleri de eğri üzerinde belirtilmiştir.

Şekil3 incelendiğinde elde edilen deneysel verinin iki temel faktörden etkilendiği görülmektedir. Bunlardan 1.si devre üzerinde bağlantı elemanlarının neden olduğu dirençten kaynaklanan basınç düşümünün sebep olduğu öteleme etkisi ve diğeri de kontrol edilemeyen faktörlerin sebep olduğu belirsizliklerdir.

Bu etkileri ortadan kaldırmak için iki aşamalı bir düzeltme modeli önerilmiştir. İlk aşamada alınan ölçüm verileri skaler kalman filtresi yardımı ile tahmin edilmiştir. İkinci aşamada ise offset etkisine sebep olan sistematik hatayı belirlemek için yukarıda belirtilen deneyler filtresiz olarak tekrar edilmiş ve her bir devir ve sıcaklık ikilisi için filtresiz devredeki basınç düşümü değerleri yine skaler kalman filtresi yardımı ile belirlenmiştir.

Tablo 2a. Skaler Kalman Filtresi ile Filtresiz Devredeki Basınç Düşümü Değerleri

	Sıcaklık (C derece)			
Devir (d/dk.)	25	30	35	40
1500	10,63	9,40	8,18	7,49
2000	-	-	9,11	8,23

Tablo 2b. Skaler Kalman Filtresi ile Filtreli Devredeki Basınç Düşümü Değerleri

	Sıcaklık (C derece)			
Devir (d/dk.)	25	30	35	40
1500	11,53	9,71	8,39	7,63
2000	-	-	11,16	10,14

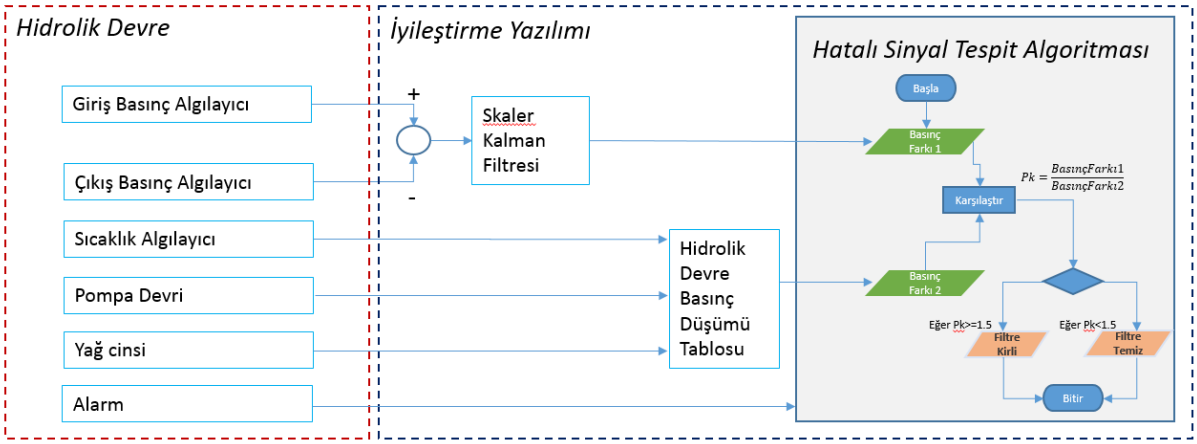
Tablo 2c. Ofsetli Basınç Düşümü Değerleri

	Sıcaklık (C derece)			
Devir (d/dk.)	25	30	35	40
1500	0,9	0,31	0,21	0,14
2000	-	-	2,05	1,91

Tipik olarak, gerçek zamanlı sistemler bir sistemin durumunu elde etmek için tek bir ölçüm yapmak yerine birçok ardışık ölçüm üretir. Bu birçok ölçüm daha sonra o zaman anında sistemin durumunu üretmek için matematiksel olarak birleştirilir. Modelin önceki bilgileriyle birlikte giriş ve çıkış bilgilerinden sistemin durumlarını tahmin edilebilen filtredir. Kalman Filtresi, geleneksel tahmin edicilerde olduğu gibi filtreleme özelliğine rağmen, sistemin ölçülemeyen durumlarını tahmin etmek için çok güçlü ve yeteneklidir.

Her bir zaman adımında, Kalman Filtresi, gerçek bilinmeyen değerlerin tahminlerini belirsizlikleriyle {uncertainty} beraber üretir. Sıradaki ölçümün sonucu gözlendiğinde, bu tahminler, belirsizliği düşük tahminlere daha fazla ağırlık vererek, ağırlıklı ortalama ile güncellenir. [4]

Elde edilen deneysel sonuçlar göz önüne alınarak Şekil4 de belirtilen iyileştirme yazılımı önerilmiştir.



Şekil 4. Sistem Modeli

Hidrolik sistem üzerinde bulunan devre elemanları iyileştirme yazımının parametreleridir. Filtre üzerinde bulunan giriş basınç algılayıcısı ve çıkış basınç algılayıcısı arasındaki fark skaler kalman filtresi uygulanarak bulunan basınç farkı hatalı sinyal tespit algoritmasına aktarılır. Yağ sıcaklığı, pompa devri, yağ cinsine göre Hidrolik devre basınç düşümü tablosundan filtre temizken olması gereken basınç farkı tespit edilir. Bu iki basınç farkı arasındaki oran 1,5 ten fazla ise fitre tıkanıklık sinyali doğru bir alarm olarak değerlendirilir. Bu oranın 1,5 tan az olduğu durumlarda ise tıkanıklık sinyali gelse dahi alarm doğru bir alarm değildir.

Çıkarım:

Endüstriyel sistemlerde sistem bileşenlerinin çeşitliliği, çevreden sisteme etkiyen faktörler gibi parametrelerden dolayı deterministtik matematiksel modellerin uygulanabilirliği düşüktür. Bu sebeple bu çalışma içerisinde deneysel bir yaklaşım ile filtre üzerindeki basınç düşümünü tahmin eden algoritma tasarlanıp işlevselliği gösterilmiştir. Bu algoritmada skalar kalman filtresi kullanılarak ölçüm ve model belirsizliklerinin sonuca etkileri azaltılmıştır. Ve hidrolik sistemlerde filtre tıkanıklık sinyali için performans iyileştirmesi yapılmıştır. Tıkanıklık alarmı gelse dahi, önerilen algoritma ile doğru değerlendirilmesi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] R. B. WALTERS, C.ENG., F.I.MECH.E., HYDRAULIC AND ELECTRO-HYDRAULIC CONTROL SYSTEMS, *Engineering Consultant Wembley, UK*
[2] Bosch Rexroth AG, RE 51422, edition:2015-03, Inline filter with filter element according to DIN 24550
[3] Bennet Filtration Products, Viscosity Reference Chart
[4] Çayıroğlu, İ., 2012, “Kalman Filtesi ve Programlama”, Fen ve Teknoloji Bilgi Paylaşımı

ÖZGEÇMİŞ

Özgür ÇELİKDEMİR

Lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Daha sonra İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmıştır. Hali hazırda Hidropar İzmir A.Ş de çalışmaktadır. Araştırma alanı hidrolik sistem tasarımı ve kontrol sistemleridir.

Levent ÇETİN

Doktorasını robotik alanında 2008 yılında Dokuz Eylül Üniversitesinde tamamlamıştır. Hali hazırda İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Akademik ilgi alanı Mekatronik sistem tasarımı ve kontrol teorisi uygulamalarıdır.

KALİBRASYON KONUMUNUN BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÖLÇÜM SONUÇLARINA ETKİSİ

Abdullah HAMARAT
Yasin DURGUT
Ahmet TÜRK
Recep YILMAZ
Onur AYDEMİR

ÖZET

Basınç ölçümlerinde kullanılan basınç dönüştürücüleri (transduser, transmitter), uygulamada farklı konumlarda (yatay konum, dikey konum vb.) kullanılabilmektedir. Sensörler, kullanım amacına ve sürecin gerektirdiği hassasiyete göre çeşitli doğruluklarda üretilmekte ve hizmete sunulmaktadır. Kullanım öncesinde ve ihtiyaca göre belirlenen zaman dilimlerinde rutin kontrol ve kalibrasyonları gerçekleştirilen basınç dönüştürücüleri ölçüm değerleri, kalibrasyon konumuna göre değişebilmektedir. Kalibrasyon konumunun ölçüm sonuçlarına olan etkisini incelemek için bu çalışmada, 7500 psi (5 V) ve 5000 psi (5 V) ölçüm kapasitesine sahip bağıl basınç dönüştürücüler (transduser) yatay ve dikey konumlandırılarak aynı şartlar altında pistonlu basınç standardı ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyonlar, artan ve azalan yönde üç ölçüm çevrimi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı şartlarda, dikkate alınan basınç dönüştürücüleri için ölçümün dikey veya yatay olarak yapılmasının dönüştürücü ölçüm sonucunu etkilediği tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar sonraki bölümlerde paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Transduser, Transmitter, Basınç dönüştürücü, Kalibrasyon konumu, Yatay bağlama, Dikey bağlama.

ABSTRACT

Pressure transducers (transducer, transmitter) used in pressure measurements can be used in different positions (horizontal position, vertical position etc.) in the application. Sensors are manufactured and serviced with various accuracy according to the purpose of use and the sensitivity required by the process. The measurement values of the pressure transducers, which are routinely checked and calibrated in the time periods before and after the usage, may vary depending on the calibration position. In order to examine the effect of the calibration position on the measurement results, in this study, the relative pressure transducers having a measurement capacity of 7500 psi (5 V) and 5000 psi (5 V) were calibrated with the pressure deadweight tester under the same conditions by positioning horizontally and vertically. The calibrations were carried out as three measurement cycles in upwards and downwards directions. In the conditions where the measurements were made, it was determined that the vertical or horizontal measurement of the measurement for the considered pressure transducers affected the result of the transducer measurement and the results obtained were shared in the following sections.

Key Words: Transducer, Transmitter, Pressure transducer, Mounting type for calibration, Horizantal mounting, Vertical mounting .

1. GİRİŞ

Basınç dönüştürücüler günümüz dünyasında birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının gereklerine göre çeşitli hassasiyetlerde üretilmekte, sanayi ve araştırma geliştirme merkezlerinde farklı amaçlara hizmet etmektedirler. Hizmet verdikleri yerlerdeki sürecin gerektirdiği şekilde bağlanmakta ve kullanılmaktadırlar.

Bilindiği gibi bir basınç dönüştürücü uygulanan basınç değerine karşılık elektriksel bir sinyal çıkışı vermektedir. Dönüştürücü çıkışından alınan bu sinyal ya bir gösterge vasıtasıyla basınç değerine dönüştürülmekte, ya bir multimetre ile elektriksel sinyal olarak okunmakta ve sonrasında basınç değeri hesaplanmakta, ya da bilgisayar ortamında otomasyon amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Basınç dönüştürücü çıkış sinyali ortamdaki elektriksel gürültü, radyo dalgaları, titreşim, yatay veya dikey konumlandırılma vs. gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Bu çalışmada Honeywell STJE model 5000 psi (5 V) ve 7500 psi (5 V) kapasiteli basınç dönüştürücüler kullanılmıştır. Kullanılan basınç dönüştürücüler Şekil 1' de yer alan fotoğraflarda görülmektedir.

Şekil 1. Çalışmada kullanılan basınç dönüştürücüler

2. KULLANILAN CİHAZLAR

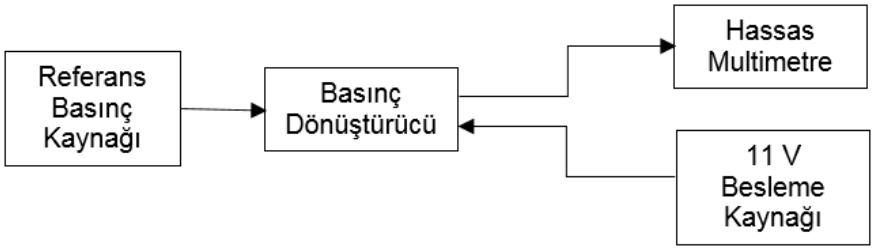
Bağlantı pozisyonunun (yatay, dikey) basınç dönüştürücü çıkışına etkisinin incelenmesi için yapılan ölçümlerde, biri 7500 psi diğeri 5000 psi basınç kapasitesine sahip hidrolik bağıl basınç dönüştürücüler kullanılmıştır. Dönüştürücülere uygulanan referans basınç değeri, yüksek doğruluğa sahip piston silindir ünitesi kullanılarak elde edilmiştir. Yine basınç dönüştürücülerin beslemesi için DC güç kaynağı ve besleme kaynağı gerilimini ölçmek için DPI615 kalibratörünün gerilim ölçüm özelliği kullanılmıştır. Dönüştürücü çıkış sinyalinin yüksek hassasiyette ve yüksek doğrulukta ölçülebilmesi için, HP marka 3458A tipi 8 ½ dijit hassas multimetreden okumalar gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılmış cihazların izlenebilir sertifikalı cihazlar olmasına dikkat edilmiştir. Tablo 1' de kullanılan cihazların bilgileri verilmiştir.

Tablo 1. Ölçümlerde kullanılan cihazlar

Cihaz Adı	Üretici	Tip	Seri No	Ölçüm Aralığı
Basınç Dönüştürücü	Honeywell	STJE	1097544	(0-7500) psig ((0-5) VDC)
Basınç Dönüştürücü	Honeywell	STJE	1083893	(0-5000) psig ((0-5) VDC)
Piston Silindir Ünitesi	DH	Huile	5877	1 MPa/kg
Multimetre	HP	3458A	2823A15077	100 mVDC – 1 kVDC
Basınç Kalibratörü	Druck	DPI 615	61513209	(0 – 50) VDC
DC Güç Kaynağı	HP	6545A	3215A-00135	(0-120) VDC

3. ÖLÇÜM DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜMLERDE KULLANILAN METOT

Basınç dönüştürücü bağlantı pozisyonunun dönüştürücü çıkış sinyaline etkisinin incelenmesi için Şekil 2' de blok diyagramı görülen ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Basınç dönüştürücünün pistonlu basınç standardına yatay ve dikey bağlantı durumu Şekil 3' de yer almaktadır. Ölçümlerde 5000 psi (yaklaşık 345 bar, 5 V) ve 7500 psi (yaklaşık 517 bar, 5 V) ölçüm kapasitesine sahip hidrolik bağıl basınç dönüştürücüler kullanılmıştır. İstenilen referans basınç değeri piston silindir ünitesine yüklenen ağırlıklar vasıtasıyla elde edilmiş ve basınç dönüştürücü çıkış sinyali, kullanılan 8 ½ dijit hassas multimetre ile yüksek doğrulukta okunmuştur. Test cihazı ölçümler esnasında kalibrasyon düzeneğinde kullanılan DC güç kaynağı ile 11 V besleme gerilimi ile beslenmiştir. Basınç dönüştürücü besleme gerilimi sisteme yerleştirilen gerilimölçer vasıtasıyla hassas bir şekilde okunmuştur (Şekil 4). Ölçümlerde kullanılan hassas multimetre ve besleme kaynağı Şekil 5' de görülmektedir.



Şekil 2. Ölçüm düzeneği blok diyagramı

Şekil 3. Dikey ve yatay bağlantılı ölçüm düzeneği

Şekil 4. Besleme gerilimi ölçümünde kullanılan gerilimölçer

Şekil 5. Hassas multimetre ve besleme kaynağı

5000 psi kapasiteli bağıl basınç dönüştürücünün ölçümleri 7 farklı nominal basınç noktasında (0 bar, 50 bar, 100 bar, 150 bar, 200 bar, 250 bar, 300 bar) yapılmıştır. 7500 psi kapasiteli bağıl basınç dönüştürücünün ölçümleri ise 6 farklı nominal basınç noktasında (0 bar, 100 bar, 200 bar, 300 bar, 400 bar, 500 bar) alınmıştır. Ölçümler her bir basınç dönüştürücü için hem yatay hem de dikey pozisyonda 3 ölçüm çevrimi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm çevrimi 1 artan ve 1 azalan yöndeki serilerden oluşmaktadır [1]. Nominal basınç noktasında oluşturulan referans basınç değerlerine karşılık elde edilen basınç dönüştürücü çıkış sinyalleri hassas multimetreden okunmuştur. Ölçümler esnasında basınç dönüştürücüler besleme kaynağından 11 VDV gerilim ile beslenmiş ve her noktadaki besleme gerilimi değeri gerilimölçerden okunarak kaydedilmiştir. Böylelikle ölçüm esnasındaki besleme gerilimi değişimleri gözlemlenmiştir.

4. KALİBRASYON VERİLERİNİN ALINMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ölçümlerde referans cihaz olarak pistonlu basınç standardı kullanılmıştır. Yüksek doğrulukta elde edilen referans basınç değerlerine karşılık, basınç dönüştürücü çıkış sinyal değerleri hassas multimetreden okunmuştur. Her bir dönüştürücü için hem yatay bağlamada hem de dikey bağlamada aynı ölçüm metodu uygulanarak kalibrasyonlar gerçekleştirilmiştir. Önceki bölümde belirtilen nominal basınç noktalarında, oluşturulan referans basınca (p_{ref}, bar) karşılık okunan çıkış sinyali (I, Volt) değerleri kullanılarak Euramet cg-17 ve DKD R 6-1 rehber dokümanlarında belirtildiği şekilde gerilim–basınç (I-p) eğrileri çizdirilmiştir [2,3]. Elde edilen bu eğrilerden her bir kalibrasyon için dönüşüm katsayısı (transmisyon katsayısı) (S_o, V/bar) belirlenmiştir [2,3]. Bu dönüşüm katsayıları vasıtasıyla, dönüştürücü çıkışından okunan elektriksel sinyal değerleri basınç birimi cinsine çevrilmiştir ($p_{hesaplanan}$) (1).

$$p_{hesaplanan} = I_{okunan} / S_o \quad (1)$$

$p_{hesaplanan}$: Okunan gerilim değeri kullanılarak hesaplanan test cihazı basınç değeri (bar),
I_{okunan} : Test cihazı çıkışından okunan gerilim değeri (V),
S_o : Dönüşüm katsayısı (V/bar),

Her iki test cihazı için hem yatay hem dikey pozisyonda yapılan ölçümlerden elde edilen kalibrasyon sonuçları Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5' de verilmiştir. Tablolarda yer alan sapma değerlerinin hesaplanması aşağıda yer alan formül (2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$Sapma = p_{hesaplanan} - p_{ref} \quad (2)$$

Sapma : Hesaplanan basınç değeri ile referans basınç değeri arasındaki fark (bar),
$p_{hesaplanan}$: Okunan gerilim değerleri kullanılarak hesaplanan test cihazı basınç değeri (bar),
p_{ref} : Referans cihaz tarafından oluşturulan basınç değeri (bar),

Tablo 2. 300 bar basınç dönüştürücü dikey bağlantı ölçüm sonuçları

Artan Değerler				Azalan Değerler			
P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma	P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma
bar	V	bar	bar	bar	V	bar	bar
0,0000	0,00000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00010221	0,0070	0,0070
49,9492	0,72499731	49,9946	0,0454	49,9492	0,72565747	50,0402	0,0910
99,9256	1,44991013	99,9834	0,0578	99,9255	1,45093695	100,0542	0,1287
149,9013	2,17456502	149,9544	0,0531	149,9012	2,17571726	150,0339	0,1327
199,8765	2,89885753	199,9005	0,0240	199,8765	2,89987887	199,9709	0,0944
249,8516	3,62273549	249,8179	-0,0337	249,8516	3,62343046	249,8658	0,0142
299,8259	4,34613553	299,7024	-0,1235	299,8259	4,34623152	299,7090	-0,1169

Tablo 3. 300 bar basınç dönüştürücü yatay bağlantı ölçüm sonuçları

Artan Değerler				Azalan Değerler			
P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma	P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma
bar	V	bar	bar	bar	V	bar	bar
0,0000	0,00000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00014052	0,0097	0,0097
49,9578	0,72508009	50,0012	0,0434	49,9578	0,72573991	50,0467	0,0889
99,9343	1,44995562	99,9882	0,0539	99,9342	1,45096966	100,0581	0,1239
149,9101	2,17462369	149,9610	0,0509	149,9100	2,17573223	150,0374	0,1274
199,8855	2,89895252	199,9103	0,0248	199,8854	2,90000695	199,9830	0,0976
249,8607	3,62277820	249,8250	-0,0357	249,8606	3,62360765	249,8822	0,0216
299,8351	4,34616624	299,7094	-0,1257	299,8350	4,34632448	299,7204	-0,1146

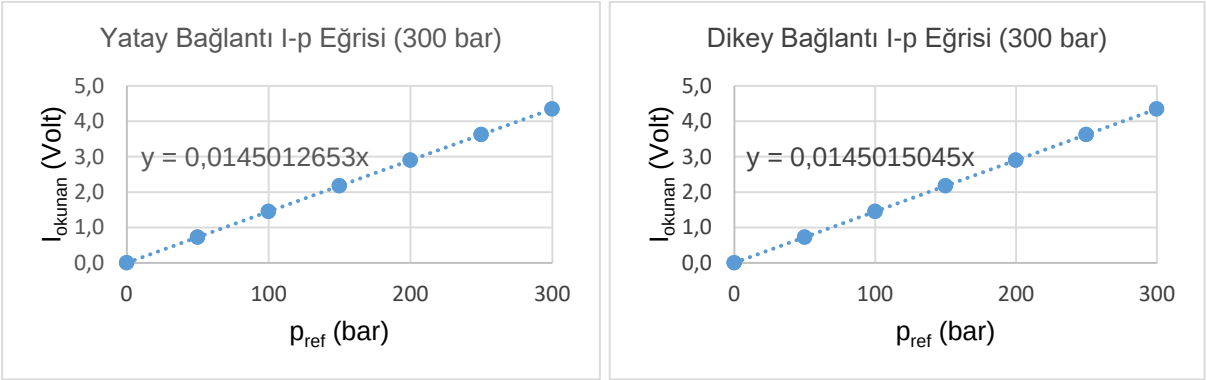
Tablo 4. 500 bar basınç dönüştürücü dikey bağlantı ölçüm sonuçları

Artan Değerler				Azalan Değerler			
P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma	P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma
bar	V	bar	bar	bar	V	bar	bar
0,0000	0,00000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00070437	0,0727	0,0727
99,9257	0,96879418	100,0369	0,1112	99,9256	0,97024139	100,1863	0,2607
199,8768	1,93686549	199,9991	0,1223	199,8767	1,93883231	200,2022	0,3255
299,8264	2,90437095	299,9029	0,0765	299,8262	2,90616584	300,0883	0,2621
399,7738	3,87109420	399,7259	-0,0479	399,7737	3,87237835	399,8585	0,0848
499,7200	4,83696153	499,4606	-0,2594	499,7199	4,83727612	499,4931	-0,2268

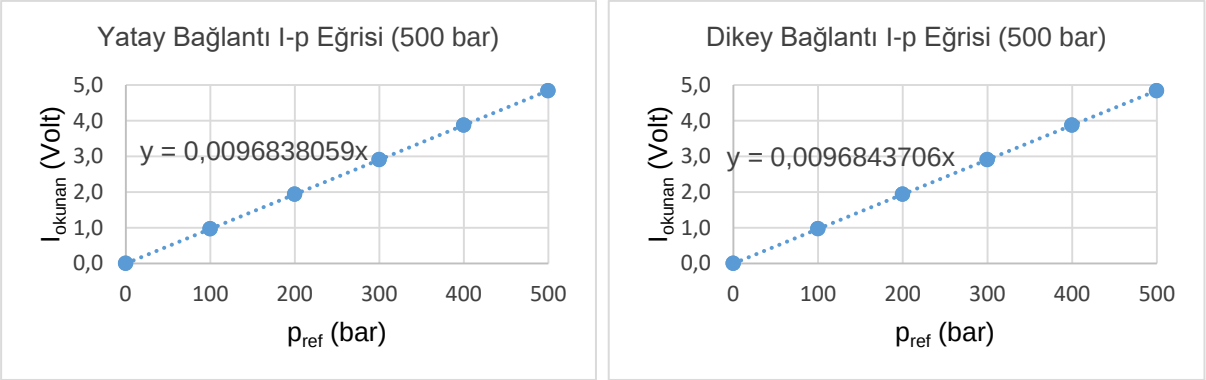
Tablo 5. 500 bar basınç dönüştürücü yatay bağlantı ölçüm sonuçları

Artan Değerler				Azalan Değerler			
P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma	P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma
bar	V	bar	bar	bar	V	bar	bar
0,0000	0,00000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00066807	0,0690	0,0690
99,9343	0,96855599	100,0181	0,0838	99,9342	0,96995736	100,1628	0,2286
199,8855	1,93659877	199,9832	0,0977	199,8853	1,93854950	200,1847	0,2994
299,8351	2,90412814	299,8953	0,0602	299,8349	2,90604721	300,0935	0,2586
399,7826	3,87091585	399,7308	-0,0518	399,7824	3,87230201	399,8740	0,0916
499,7288	4,83697233	499,4908	-0,2380	499,7287	4,83727577	499,5222	-0,2065

Kalibrasyon esnasında, referans basınca karşılık basınç dönüştürücülerden okunan elektriksel gerilim çıkışı değerlerinden faydalanılarak Şekil 6 ve Şekil 7' deki grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler hem yatay hem de dikey bağlantı durumundaki ölçümler için çizdirilmiştir. Söz konusu grafiklerdeki eğrilerden her iki basınç dönüştürücü için dikey ve yatay ölçümlerin dönüşüm katsayıları (S_o) belirlenmiştir. Şekil 6' da görüldüğü gibi, 300 bar kapasiteli basınç dönüştürücünün yatay bağlantı durumu için dönüşüm katsayısı (S_o) 0,0145012653 (V / bar) ve dikey bağlantı durumu için dönüşüm katsayısı (S_o) 0,01450115045 (V / bar) olarak elde edilmiştir. Şekil 7' de ise, 500 bar kapasiteli basınç dönüştürücünün yatay bağlantı durumu için dönüşüm katsayısının (S_o) 0,0096838059 (V / bar) ve dikey bağlantı durumu için dönüşüm katsayısının (S_o) 0,0096843706 (V / bar) olarak elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6. 300 bar basınç dönüştürücü için elde edilen I-p eğrileri ve dönüşüm katsayıları



Şekil 7. 500 bar basınç dönüştürücü için elde edilen I-p eğrileri ve dönüşüm katsayıları

Bilindiği gibi basınç dönüştürücülerin kalibrasyonlarından elde edilen dönüşüm katsayıları kullanılarak dönüştürücülerin daha sonraki kullanımlarında ölçülen elektriksel çıkış değerleri basınç birimi cinsine çevrilmektedir. Dönüştürücülerin kalibre edilmesinin ana amaçlarından bir tanesi de sensör karakteristiğinin, dolayısıyla da bu dönüşüm katsayılarının belirlenmesidir. İdeal şartlarda elde edilen bu dönüşüm katsayısının sensör tasarlanırken üretici tarafından belirlenen teorik değere yakın olması arzu edilmektedir. Teorik değerden uzaklaşma üretici tarafından belirlenen sensör doğruluğunun kötüleşmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmada da benzer yöntem kullanılarak, basınç dönüştürücülerin yatay ve dikey bağlandığı durumlarda kalibrasyonlardan elde edilen veriler kullanılarak eğri grafikleri oluşturulmuştur. Bu eğri grafiklerinden de kalibrasyonlarda kullanılan basınç dönüştürücülerin dönüşüm katsayıları belirlenmiş ve haliyle de test cihazı basınç değerleri ve sapmaları hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar yukarıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5).

Dönüştürücü bağlantı şeklinin çıkış sinyaline olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, her bir dönüştürücünün yatay ve dikey ölçümlerinden elde edilen sapma değerleri Tablo 6 ve Tablo 7' de verilmiştir. Yatay durumdaki ölçüm sapmaları ile dikey durumdaki ölçüm sapmaları arasındaki farklar dönüştürücü çıkış sinyalinin bağlantı durumuna göre etkilenme miktarını göstermektedir. Tablo 6 ve Tablo 7' de basınç dönüştürücülerin yatay ve dikey bağlantı durumlarında hesaplanan farklar basınç birimi ve % FS cinsinden verilmiştir.

Tablo 6. 300 bar kapasiteli basınç dönüştürücü dikey ve yatay sapma değerleri ve farkları

Nominal Basınç	Dikey Konum		Yatay Konum		Dikey ve Yatay Bağlantı Pozisyonu Arasındaki Fark			
p_{nom}	Artan	Azalan	Artan	Azalan	Artan	Azalan	Artan	Azalan
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	%FS	%FS
0	0,0000	0,0070	0,0000	0,0097	0,0000	0,0027	0,0000	0,0009
50	0,0454	0,0910	0,0434	0,0889	0,0020	0,0021	0,0007	0,0007
100	0,0578	0,1287	0,0539	0,1239	0,0039	0,0048	0,0013	0,0016
150	0,0531	0,1327	0,0509	0,1274	0,0022	0,0053	0,0007	0,0018
200	0,0240	0,0944	0,0248	0,0976	0,0008	0,0032	0,0003	0,0011
250	-0,0337	0,0142	-0,0357	0,0216	0,0020	0,0074	0,0007	0,0025
300	-0,1235	-0,1169	-0,1257	-0,1146	0,0022	0,0023	0,0007	0,0008

Tablo 7. 500 bar kapasiteli basınç dönüştürücü dikey ve yatay sapma değerleri ve farkları

Nominal Basınç	Dikey Konum		Yatay Konum		Dikey ve Yatay Bağlantı Pozisyonu Arasındaki Fark			
p_{nom}	Artan	Azalan	Artan	Azalan	Artan	Azalan	Artan	Azalan
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	%FS	%FS
0	0,0000	0,0727	0,0000	0,0690	0,0000	0,0037	0,0000	0,0007
100	0,1112	0,2607	0,0838	0,2286	0,0274	0,0321	0,0055	0,0064
200	0,1223	0,3255	0,0977	0,2994	0,0246	0,0261	0,0049	0,0052
300	0,0765	0,2621	0,0602	0,2586	0,0163	0,0035	0,0033	0,0007
400	-0,0479	0,0848	-0,0518	0,0916	0,0039	0,0068	0,0008	0,0014
500	-0,2594	-0,2268	-0,2380	-0,2065	0,0214	0,0203	0,0043	0,0041

SONUÇ

Basınç sensörünün kullanıldığı alandaki montaj yerine göre yatay ve dikey bağlantı şeklinin etkisini incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada, biri 500 psi (5 V) ölçüm kapasitesine ve diğeri de 7500 psi (5 V) ölçüm kapasitesine sahip iki adet hidrolik bağıl basınç dönüştürücü kullanılmıştır. Her bir basınç dönüştürücü aynı ölçüm düzeneğine hem yatay hem de dikey bağlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Basınç dönüştürücü besleme kaynağından 11 V besleme gerilimi ile beslenmiş ve çıkış sinyali 8 ½ dijit hassas multimetre ile okunmuştur. Referans basınç değeri ise, ölçümlerde kullanılan pistonlu basınç standardı tarafından oluşturulmuştur.

Yapılan ölçümlerde, 5000 psi ölçüm kapasiteli basınç dönüştürücünün yatay ve dikey olarak bağlanması sonucunda elde edilen sapma değerleri arasındaki fark en fazla 25 ppm olarak bulunmuştur. 7500 psi ölçüm kapasiteli basınç dönüştürücünün yatay ve dikey olarak bağlanması sonucunda elde edilen sapma değerleri arasındaki fark ise en fazla 64 ppm olarak bulunmuştur. Kullanılan basınç dönüştürücülerinin üretici tarafından verilen doğruluk değerleri 500 ppm' dir [4]. Her ne kadar doğruluk değerine göre küçük miktarlarda da olsa, yapılan bu çalışmada, her iki basınç dönüştürücünün çıkış değerlerinin bağlantı şeklinden etkilendiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] G2BA-030, "Basınç Dönüştürücülerinin Kalibrasyonu ve Belirsizlik Hesaplamaları Eğitim Dokümanı", TUBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı, 2018, Kocaeli
[2] EURAMET Calibration Guide No. 17, "Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers", EURAMET, 2017
[3] Guideline DKD-R 6-1, "Calibration of Pressure Gauges", DKD, 2014
[4] Honeywell Website, "https://measurementsensors.honeywell.com/Pages/Product.aspx?category=&cat=Honeywell&pid=stje", Mayıs 2019

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah HAMARAT

1975 Yenice/Çanakkale doğumludur. 1996 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2002 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bölümü' nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 1997-2002 yılları arasında özel sektörde enerji, teknik servis, proje yöneticiliği gibi çeşitli alanlarda çalışmıştır. 2002-2007 yılları arasında TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı olarak çalışmıştır. 2007-2018 yıllarında özel sektör proje yöneticisi, laboratuvar teknik müdürü ve laboratuvar müdürü görevlerinde bulunmuştur. Haziran 2018' den bu yana TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Yasin DURGUT

1975 Akşehir doğumludur. 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yine aynı yıl Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü İngilizce hazırlık Programı'nı bitirmiştir. Sonrasında Alcatel Telekomünikasyon A.Ş.'de 2000-2004 yılları arasında çeşitli telekomünikasyon projelerinde çalışmıştır. Durgut, 2006 yılında ise Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nü bitirmiştir. 2016 yılında Fizikte doktora çalışmasını dinamik basınç ölçüleri konusunda tamamlayarak doktor ünvanı almıştır. Yasin Durgut, proje yöneticisi PMP (Project Management Professional) sertifika derecesine sahiptir. 2004 yılından bu yana TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya devam etmektedir. Çeşitli dergilerde, ulusal ve uluslarası konferans ve kongrelerde yirminin üzerinde yayını bulunmaktadır. Aktif olarak Turkak'ta basınç alanında TS EN ISO/IEC 17025 kapsamında denetçilik faaliyetlerini sürdürmektedir.

Ahmet TÜRK

1984 Bozüyük doğumludur. 2007 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2014 yılından bu yana Tübitak UME basınç laboratuvarında araştırmacı olarak görev yapmaktadır. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünde yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır.

Recep YILMAZ

1985 Konya doğumludur. 2016 yılında KTO Karatay Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü ve yine aynı yılda Çift Anadal programı kapsamında Mekatronik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Dış Ticaret Ön Lisans programından mezun olduktan sonra aynı fakültenin İşletme bölümü 4. Sınıfında öğrenimine devam etmektedir. Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans öğrenimi görmektedir. 2017 senesinde MVD Makine San. A.Ş. AR-GE Merkezi'nde AR-GE Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2017 Kasım ayından bu yana TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı personel olarak çalışmaktadır.

Onur AYDEMİR

1976 yılında İzmit doğumludur. İlk ve orta öğrenimini Ardahan'da tamamladı. Süleyman Demirel Üniversitesi Burdur Meslek Yüksek Okulu Elektronik bölümünden 1996 yılında mezun oldu. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde Elektronik Atölye (Özel Ölçümler Lab.), göreve başladı. 2007 yılından bu yana da aynı enstitüde Basınç Laboratuvarı'nda başteknisyen olarak çalışmaya devam etmektedir.

BESLEME GERİLİMİNİN BASINÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ ÇIKIŞ SİNYALİNE ETKİSİ

Abdullah HAMARAT
Yasin DURGUT
Ahmet TÜRK
Recep YILMAZ
Onur AYDEMİR
Naylan KANATOĞLU

ÖZET

Ortamdaki basınç değişimini algılayıp genellikle elektriksel sinyale dönüştüren cihazlar basınç dönüştürücü (transduser, transmitter) olarak adlandırılmaktadır. Günümüz dünyasında bu dönüştürücüler, basınç ölçümü ve otomasyon gerektiren savunma, havacılık, uzay, araştırma ve geliştirme, imalat, otomotiv sanayi vb. gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Birtakım basınç dönüştürücülerde elektriksel çıkış elde edebilmek için, sensörü elektriksel olarak besleme ihtiyacı doğmaktadır. Sensör üreticileri bu besleme gerilimini genellikle tek bir değer yerine 10 V - 36 V, 12 V - 24 V vs. şeklinde aralık olarak vermektedir. Bu çalışmada 11 V – 28 V aralığındaki bir besleme geriliminde çalışan ve ölçüm kapasitesi 7500 psi (maksimum çıkış sinyali: 5 V) olan basınç dönüştürücü (transduser), farklı gerilimlerde beslenerek ölçümleri yapılmış ve çıkış sinyaline olan etkileri incelenmiştir. Ele alınan basınç dönüştürücüsünün çıkış sinyalinin besleme gerilimi değişiminden bir miktar etkilendiği görülmüş ve gözlemler çalışmanın ilerleyen bölümlerinde paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Transduser, Transmitter, Basınç dönüştürücü, Besleme gerilimi.

ABSTRACT

Devices that sense the pressure changes in the environment and convert them to electrical signals are called pressure transducers. Nowadays, these transducers are widely used in many fields that required pressure measurement and automation such as defense, aeronautics, space, research and development, manufacturing, automotive industry, etc. In order to obtain an electrical output for some kind of pressure transducers, there is a need to supply the sensor electrically. The sensor manufacturers usually define this supply voltage as 10 V - 36 V, 12 V - 24 V etc. instead of a single value. In this study, the pressure transducer operating at a supply voltage in the range of 11 V to 28 V and it's pressure capacity up to 7500 psi (maximum output signal: 5 V) were calibrated by supplying at different voltages and the effects on the output signal were investigated. The output signal of the pressure transducer which is used in the measurements was affected slightly by the change in the supply voltage and the observations were shared later in the study.

Key Words: Transducer, Transmitter, Pressure transducer, Power supply.

1. GİRİŞ

Dönüştürücüler (transduser) fiziksel büyüklükleri (kuvvet, tork, enerji, hareket vs.) genellikle elektriksel sinyallere dönüştürerek otomasyon, kontrol, ölçüm vb. gerektiren alanlarda sıkça kullanılmaktadır. Basınç dönüştürücüler de basıncı bir elektriksel çıkışa dönüştürürler ve kapasitif tip, dijital çıkışlı, gerilim/akım çıkışlı vb. gibi türlere ayrılırlar. Herhangi bir basınçlı ortamdaki basınç değişiminin diyafram üzerinde oluşturduğu mekanik deformasyon, elektrik sinyaline dönüştürülerek basınç ölçümü gerçekleştirilir. Bu cihazlar diyafram üzerine etki eden basınç ile orantılı elektriksel çıkış üretirler. Bazı basınç dönüştürücü örnekleri Şekil 1.'de görülmektedir [1-3].

Şekil 1. Basınç dönüştürücü

Bir basınç dönüştürücü basınç odası, basıncı meydana getiren akışkanın cihaza girip çıktığı bir basınç kanalı ve bir diyaframdan meydana gelmektedir. Diyaframa üzerine belirli bir basınçtaki akışkan etki ettiğinde, diyaframda meydana gelen elastik şekil değişimi, öteleme duyargası (indüktif, kapasitif dönüştürücü) veya gerinim ölçer (strain gauge) vasıtasıyla elektriksel sinyale dönüştürülür. Üretilen bu elektriksel sinyaller, birtakım devreler kullanılarak kuvvetlendirildikten sonra bir göstergeye gönderilerek basınç değeri elde edilir [3].

2. ÖLÇÜMDE KULLANILAN CİHAZLAR

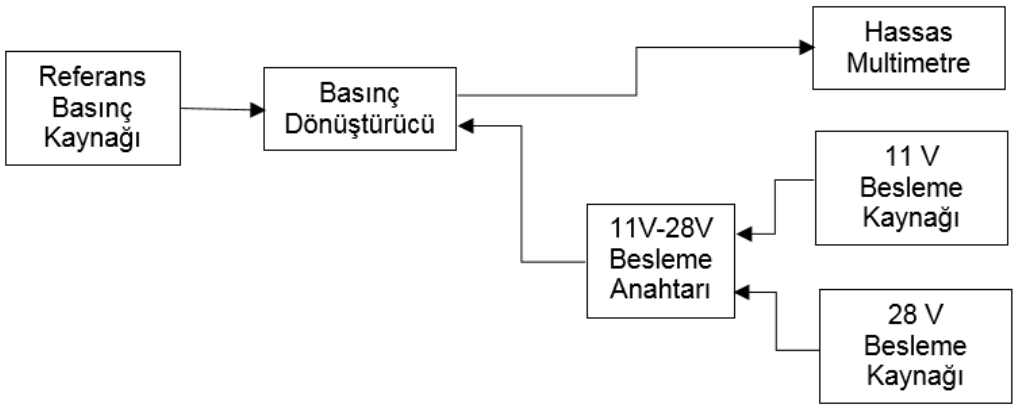
Besleme geriliminin basınç dönüştürücüsü çıkış sinyaline etkisinin incelenmesi için gerçekleştirilmiş olan ölçümlerde, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Basınç Standartları Laboratuvarı' nda bulunan referans basınç standardı, iki adet besleme kaynağı ve besleme kaynağı gerilimini ölçmek için DPI615 kalibratörünün gerilim ölçüm özelliği kullanılmıştır. Dönüştürücü çıkış sinyalinin yüksek hassasiyette ve yüksek doğrulukta ölçülebilmesi için, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Gerilim Standartları Laboratuvarı' ndan edinilen HP marka 3458A tipi hassas multimetre kullanılmıştır. Ölçümlerde referans olarak kullanılan tüm cihazların izlenebilirliği sağlanmış sertifikalı cihaz olmasına dikkat edilmiştir. Referans standartlar, test cihazı ve kaynak cihazlar ile ilgili bilgiler Tablo 1.'de yer almaktadır.

Tablo 1. Ölçümlerde kullanılan cihazlar

Cihaz Adı	Üretici	Tip	Seri No	Ölçüm Aralığı
Basınç Dönüştürücü	Honeywell	STJE	1097544	(0-7500) psig ((0-5) VDC)
Piston Silindir Ünitesi	DH	Huile	5877	1 MPa/kg
Multimetre	HP	3458A	2823A15077	100 mVDC – 1 kVDC
Basınç Kalibratörü	Druck	DPI 615	61513209	(0 – 50) VDC
DC Güç Kaynağı	HP	6545A	3215A-00135	(0-120) VDC
DC Güç Kaynağı	Meili	MCH-305D-II	012100516	(0-30) VDC

3. ÖLÇÜM DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜMLERDE KULLANILAN METOT

Besleme geriliminin basınç dönüştürücü çıkış sinyaline etkisinin incelenmesi için kurulan düzeneğin blok diyagramı Şekil 2' de ve ölçümlerde kullanılan cihazlar Şekil 3' de görülmektedir. Ölçümlerde 7500 psi (yaklaşık 517 bar) maksimum ölçüm kapasitesine sahip hidrolik basınç dönüştürücü kullanılmıştır. İstenilen referans basınç değeri piston silindir ünitesine yüklenen ağırlıklar vasıtasıyla elde edilmiş ve basınç dönüştürücü çıkış sinyali kullanılan 8 ½ Dijit Hassas Multimetre ile yüksek doğrulukta okunmuştur. Elde edilen basınç değerine ve çıkış sinyaline olası etkilerin minimum sevide tutulabilmesi için kullanılan bir elektriksel anahtar vasıtasıyla besleme gerilimi 11 V ve 28 V değerlerinde anlık olarak değiştirilmiş ve farklı besleme gerilimindeki değerler multimetre göstergesinden okunmuştur. Böylelikle ortam şartları vs. değişiminden kaynaklı referans basınç ve test cihazı çıkış sinyali olası değişimleri en aza indirgenmiş ve iki farklı beslemedeki basınç dönüştürücü çıkış sinyali değerlerinin aynı şartlarda elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 4' de ölçümlerde kullanılan multimetre ve besleme gerilimi kaynakları görülmektedir. Besleme geriliminin hassas şekilde okunabilmesi için ayrıca bir gerilimölçer kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 2. Ölçüm düzeneği blok diyagramı

Şekil 3. Ölçüm düzeneği

Şekil 4. Hassas multimetre, 11 V besleme kaynağı ve 28 V besleme kaynağı

Şekil 5. Besleme gerilimi ölçümünde kullanılan gerilimölçer

Ölçümler sıfır dahil 6 farklı nominal basınç noktasında (0 bar, 100 bar, 200 bar, 300 bar, 400 bar, 500 bar) 3 ölçüm çevrimi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm çevrimi 1 artan ve 1 azalan yöndeki serilerden oluşmaktadır [3]. Nominal basınç noktasında oluşturulan referans basınç değerine karşılık elde edilen basınç dönüştürücü çıkış sinyali, hem 11 V besleme gerilimi hem de 28 V besleme gerilimi için multimetreden anlık olarak okunmuştur. Ayrıca her noktadaki besleme gerilimi değeri kaydedilmiş, böylelikle ölçüm esnasındaki besleme gerilimindeki değişimler gözlemlenmiştir.

4. ÖLÇÜM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Ölçüm Verilerinin Alınması ve Değerlendirilmesi

Ölçümlerdeki referans basınç değerleri pistonlu basınç standardı kullanılarak, piston üzerine yerleştirilen ve değeri bilinen kütleler vasıtasıyla yüksek doğrulukla oluşturulmuştur. Referans basınç değerlerine karşılık elde edilen basınç dönüştürücü çıkış sinyali değerleri kullanılan hassas multimetreden okunmuştur. Nominal basınç noktalarında, oluşturulan referans basınca (p_{ref}, bar) karşılık test cihazından okunan çıkış sinyali (I, Volt) değerleri kullanılarak Euramet cg-17 ve DKD R 6-1 rehber dokümanlarında belirtildiği şekilde gerilim–basınç (I-p) eğrisi çizdirilmiştir. Çizdirilen bu eğriden test cihazının dönüşüm katsayısı (transmisyon katsayısı) (S_o, V/bar) belirlenmiştir [4,5]. Elde edilen bu dönüşüm katsayısı vasıtasıyla her bir noktada ölçülen çıkış sinyalinin basınç birimi cinsinden değeri hesaplanmıştır ($p_{hesaplanan}$) (1).

$$p_{hesaplanan} = I_{okunan} / S_o \quad (1)$$

$p_{hesaplanan}$: Okunan gerilim değeri kullanılarak hesaplanan test cihazı basınç değeri (bar),
I_{okunan} : Test cihazı çıkışından okunan gerilim değeri (V),
S_o : Dönüşüm katsayısı (V/bar),

Yukarıda bahsedilen işlemler hem 11 V besleme gerilimi, hem de 28 V besleme geriliminde elde edilen ölçüm değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 2 ve Tablo 3' de görülmektedir. Tablolarda yer alan sapma değerlerinin hesaplanması ise aşağıda yer alan formül kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$Sapma = p_{hesaplanan} - p_{ref} \quad (2)$$

Sapma : Hesaplanan basınç değeri ile referans basınç değeri arasındaki fark (bar),
$p_{hesaplanan}$: Okunan gerilim değerleri kullanılarak hesaplanan test cihazı basınç değeri (bar),
p_{ref} : Referans cihaz tarafından oluşturulan basınç değeri (bar),

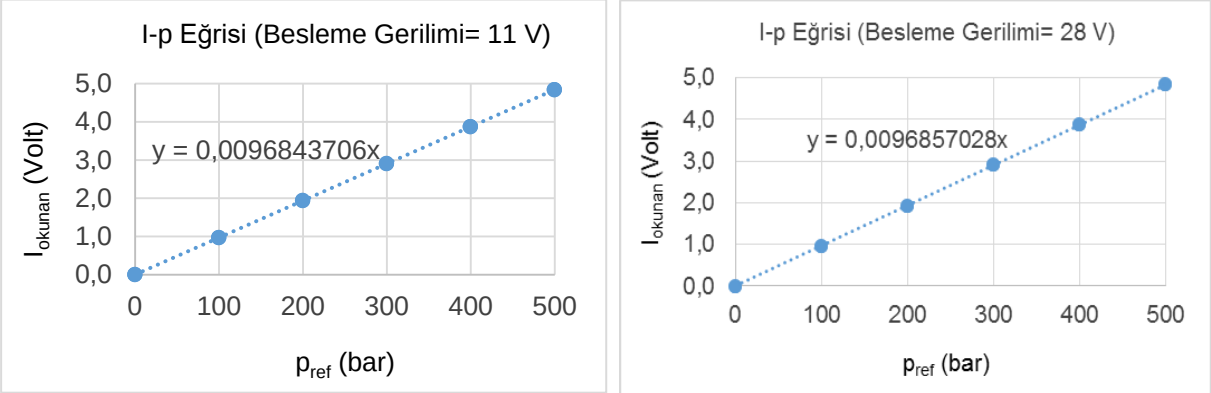
Tablo 2. Ölçüm sonuçları (11 V besleme gerilimi için)

Artan Değerler				Azalan Değerler			
P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma	P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma
bar	V	bar	bar	bar	V	bar	bar
0,0000	0,00000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00070437	0,0727	0,0727
99,9257	0,96879418	100,0369	0,1112	99,9256	0,97024139	100,1863	0,2607
199,8768	1,93686549	199,9991	0,1223	199,8767	1,93883231	200,2022	0,3255
299,8264	2,90437095	299,9029	0,0765	299,8262	2,90616584	300,0883	0,2621
399,7738	3,87109420	399,7259	-0,0479	399,7737	3,87237835	399,8585	0,0848
499,7200	4,83696153	499,4606	-0,2594	499,7199	4,83727612	499,4931	-0,2268

Tablo 3. Ölçüm sonuçları (28 V besleme gerilimi için)

Artan Değerler				Azalan Değerler			
P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma	P_{ref}	I_{okunan}	$P_{hesaplanan}$	Sapma
bar	V	bar	bar	bar	V	bar	bar
0,0000	0,00000000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00050181	0,0518	0,0518
99,9253	0,96868332	100,0117	0,0864	99,9253	0,97010681	100,1586	0,2333
199,8760	1,93697251	199,9827	0,1067	199,8760	1,93881648	200,1730	0,2970
299,8252	2,90466539	299,8921	0,0669	299,8251	2,90635347	300,0663	0,2412
399,7722	3,87161885	399,7251	-0,0471	399,7721	3,87290903	399,8583	0,0862
499,7181	4,83782711	499,4813	-0,2368	499,7180	4,83813671	499,5132	-0,2048

Ölçümlerden elde edilen referans basınç ve gerilim değerleri kullanılarak, 11 V besleme gerilimi için dönüşüm katsayısı (S_o) 0,0096843706 (V / bar) olarak ve 28 V besleme gerilimi için dönüşüm katsayısı (S_o) 0,0096857028 (V / bar) olarak belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 11 V ve 28 V besleme gerilimleri için elde edilen I-p eğrileri ve dönüşüm katsayıları

Basınç dönüştürücülerin kalibrasyonundaki ana amaçlardan bir tanesi, ölçümlerden elde edilen referans basınca karşılık çıkış sinyali değerlerinden Şekil 6' da yer alan eğrilerin (I-p eğrileri) eğiminden dönüşüm katsayılarının belirlenmesidir. Haliyle basınç dönüştürücünün kalibrasyondan sonraki kullanımlarında dönüştürücü çıkışından okunan elektriksel sinyal değeri, belirlenen bu dönüşüm katsayısı kullanılarak basınç birimi cinsine çevrilmektedir. Bu çalışmada da benzer yöntem kullanılarak, basınç dönüştürücünün teknik özelliklerinde yer alan minimum ve maksimum besleme gerilimlerinde kalibrasyonları gerçekleştirilmiş ve ölçümlerden elde edilen verilerden basınç değerleri ve sapmaları hesaplanmıştır (Tablo 2 ve Tablo 3).

Besleme geriliminin ölçüm değerlerine etkisinin incelenebilmesi için Tablo 4' de görüldüğü gibi, 11 V besleme geriliminde elde edilen artan ve azalan yönlerdeki sapma değerleri ile 28 V besleme geriliminde elde edilen artan ve azalan yönlerdeki sapma değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sapma değerleri arasındaki farklar basınç dönüştürücü çıkış değerlerinin besleme gerilimi değişiminden etkilenme miktarını göstermektedir. Her iki besleme gerilimindeki ölçümlerden hesaplanan sapmalardan elde edilmiş olan farklar, hem basınç birimi hem de % FS cinsinden Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. 11 V ve 28 V besleme gerilimi sapma değerleri ve farkları

Nominal Basınç	Sapma (11 V Besleme İçin)		Sapma (28 V Besleme İçin)		Fark ($Sapma_{11V}$ - $Sapma_{28V}$)			
p_{nom}	Artan	Azalan	Artan	Azalan	Artan	Azalan	Artan	Azalan
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	%FS	%FS
0	0,0000	0,0727	0,0000	0,0518	0,0000	0,0209	0,0000	0,0042
100	0,1112	0,2607	0,0864	0,2333	0,0248	0,0274	0,0050	0,0055
200	0,1223	0,3255	0,1067	0,2970	0,0156	0,0285	0,0031	0,0057
300	0,0765	0,2621	0,0669	0,2412	0,0096	0,0209	0,0019	0,0042
400	-0,0479	0,0848	-0,0471	0,0862	0,0008	0,0014	0,0002	0,0003
500	-0,2594	-0,2268	-0,2368	-0,2048	0,0226	0,0220	0,0045	0,0044

SONUÇ

Bu çalışmada, 7500 psi (5 V) maksimum çalışma kapasitesine sahip hidrolik basınç dönüştürücü çıkış sinyalinin besleme gerilimi değişiminden etkilenmesi incelenmiştir. Referans basınç değeri pistonlu basınç standardı ile yüksek doğrulukla elde edilmiş ve basınç dönüştürücü çıkış sinyali 11 V ve 28 V besleme gerilimlerinde 8 ½ dijit hassas multimetre ile anlık olarak okunmuştur.

Yapılan ölçümler ve değerlendirmeler sonucunda göz önüne alınan basınç dönüştürücü için, çıkış değerlerinin besleme gerilimi ile en fazla 0,0285 bar mertebesinde etkilendiği tespit edilmiştir (Tablo 4). Bu değer tam gösterge (full scale) cinsinden 0,0057 %FS değerine yani 57 ppm' e tekabül etmektedir. Bu basınç dönüştürücünün üretici teknik özelliklerinde 0,05 %FS doğruluk değerine sahip olduğu beyan edilmiştir [6]. Ölçümlerden elde edilen besleme gerilimi etki miktarının, test cihazı doğruluk değerinin yaklaşık %11,4' ü kadar olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, basınç ölçüm proseslerinde yaklaşık 100 ppm ve altı basınç hassasiyeti beklentisinin olması durumunda besleme geriliminin etkileri ön plana çıkabilmektedir. Haliyle basınç dönüştürücü kullanıcılarının daha gerçekçi ölçümler yapabilmeleri için, cihazlarını ya kullandıkları besleme geriliminde kalibre ettirmeleri ya da kalibre ettirdikleri besleme geriliminde kullanmaları tavsiye edilir. Bu çalışmada, kalibrasyonlarda kullanılan basınç dönüştürücü veya benzer bir basınç dönüştürücü için, cihaz doğruluk sınıfı ve üstündeki basınç ölçüm doğruluğu beklentilerinde, besleme gerilimi etkisinin göz ardı edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Omega, "https://www.omega.com/en-us/resources/pressure-transducers", Mayıs 2019
[2] Wikipedia, "https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_sensor", Mayıs 2019
[3] G2BA-030, "Basınç Dönüştürücülerinin Kalibrasyonu ve Belirsizlik Hesaplamaları Eğitim Dokümanı", TUBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı, 2018, Kocaeli
[4] EURAMET Calibration Guide No. 17, "Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers", EURAMET, 2017
[5] Guideline DKD-R 6-1, "Calibration of Pressure Gauges", DKD, 2014
[6] Honeywell Website, "https://measurementsensors.honeywell.com/Pages/Product.aspx?category=&cat=Honeywell&pid=stje", Mayıs 2019

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah HAMARAT

1975 Yenice/Çanakkale doğumludur. 1996 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2002 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bölümü' nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 1997-2002 yılları arasında özel sektörde enerji, teknik servis, proje yöneticiliği gibi çeşitli alanlarda çalışmıştır. 2002-2007 yılları arasında TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı olarak çalışmıştır. 2007-2018 yıllarında özel sektör proje yöneticisi, laboratuvar teknik müdürü ve laboratuvar müdürü görevlerinde bulunmuştur. Haziran 2018' den bu yana TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Yasin DURGUT

1975 Akşehir doğumludur. 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yine aynı yıl Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü İngilizce hazırlık Programı'nı bitirmiştir. Sonrasında Alcatel Telekomünikasyon A.Ş.'de 2000-2004 yılları arasında çeşitli telekomünikasyon projelerinde çalışmıştır. Durgut, 2006 yılında ise Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nü bitirmiştir. 2016 yılında Fizikte doktora çalışmasını dinamik basınç ölçüleri

konusunda tamamlayarak doktor ünvanı almıştır. Yasin Durgut, proje yöneticisi PMP (Project Management Professional) sertifika derecesine sahiptir. 2004 yılından bu yana TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya devam etmektedir. Çeşitli dergilerde, ulusal ve uluslarası konferans ve kongrelerde yirminin üzerinde yayını bulunmaktadır. Aktif olarak Turkak'ta basınç alanında TS EN ISO/IEC 17025 kapsamında denetçilik faaliyetlerini sürdürmektedir.

Ahmet TÜRK

1984 Bozüyük doğumludur. 2007 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2014 yılından bu yana Tübitak UME basınç laboratuvarında araştırmacı olarak görev yapmaktadır. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünde yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır.

Recep YILMAZ

1985 Konya doğumludur. 2016 yılında KTO Karatay Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü ve yine aynı yılda Çift Anadal programı kapsamında Mekatronik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Dış Ticaret Ön Lisans programından mezun olduktan sonra aynı fakültenin İşletme bölümü 4. Sınıfında öğrenimine devam etmektedir. Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans öğrenimi görmektedir. 2017 senesinde MVD Makine San. A.Ş. AR-GE Merkezi'nde AR-GE Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2017 Kasım ayından bu yana TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı personel olarak çalışmaktadır.

Onur AYDEMİR

1976 yılında İzmit doğumludur. İlk ve orta öğrenimini Ardahan'da tamamladı. Süleyman Demirel Üniversitesi Burdur Meslek Yüksek Okulu Elektronik bölümünden 1996 yılında mezun oldu. 1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde Elektronik Atölye (Özel Ölçümler Lab.), göreve başladı. 2007 yılından bu yana da aynı enstitüde Basınç Laboratuvarı'nda başteknisyen olarak çalışmaya devam etmektedir.

Naylan KANATOĞLU

1974 Bulgaristan doğumlu. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1995'ten beri TÜBİTAK UME'de Gerilim Laboratuvarı'nda çalışmaktadır. Metroloji. DC ve AC Gerilim, DC ve AC Akım ve DC Dirençlerinde Ölçüm Teknikleri. Çok Fonksiyonlu Kalibratörler, Multimetreler, DC Gerilim Standartları, AC-DC Transfer Standartları, DC ve AC Akım Şöntleri vb. Enstrümantasyonda ileri teorik ve pratik nitelikler. DC ve AC Gerilim, DC ve AC Akım ve Direnç ölçümleri ve belirsizlik değerlendirmeleri üzerine eğitimler. Yeni ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi.

MEKANİK KARŞILAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE UZUN MASTAR BLOKLARININ YÜKSEK HASSASİYETTE KALİBRASYONU VE TÜRKİYE'NİN DÜNYADAKİ YERİ

Tanfer YANDAYAN
Sibel Aslı AKGÖZ

ÖZET

SI birimi "metre" nin endüstriye aktarılmasında birinci seviye transfer standart olarak kullanılan uzun mastar blokların düşük belirsizlikle kalibrasyonu son derece önem arz etmektedir. Bu bildiride TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuarında yapılan çalışmalarla, (125-1000) mm arasındaki uzun mastar bloklar için verilen belirsizlik değerinin mekanik karşılaştırma yöntemi kullanılarak, 3 kat mertebesine kadar nasıl düşürüldüğünün tarihsel süreci, hangi çevresel etkilerin önemli olduğu ve bunların nasıl kontrol altında tutulduğu anlatılacaktır. Ayrıca uluslararası karşılaştırmalar ile test edilen bu küçük belirsizliğin diğer ulusal metroloji enstitüleri ile karşılaştırılması ve dünyada uzun mastar bloklar için en düşük belirsizlik veren ikinci kurum olunması ve daha da aşağıya çekmek için yeni yapılan çalışmalar hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Çalışmanın, boyutsal ve sıcaklık ölçümlerinde belirsizliklerini düşürmek isteyen laboratuvarlar ve araştırma yapan firma, kurum vs. için yol gösterici olacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: uzun mastar blok, mekanik karşılaştırma yöntemi, uzun mastar blok komparatörü, mastar blok ölçümlerine sıcaklığın etkisi, belirsizlik.

ABSTRACT

Precise calibration of long gauge blocks, used for dissemination of SI unit metre in industry is very important. In this paper we describe how reduction of calibration uncertainty (three times) for long gauge blocks (125-1000) mm) using mechanical comparison method is achieved in TUBITAK UME and which are the important uncertainty parameters and how they were handled. We also compare this small uncertainty value (second in ranking in the world) tested in international comparison with the other National Metrology Institutes. We believe that the paper will be useful for those labs that would like to improve their facilities and established new ones for calibration of long gauge blocks.

Key Words: long gauge block, long gauge block comparator, temperature influences on gauge block measurement, uncertainty.

1. GİRİŞ

Metre biriminin endüstriye aktarılmasında birinci seviye transfer standart olarak kullanılan uzun mastar bloklar, üç boyutlu koordinat ölçme cihazlarının kalibrasyonları gibi, ölçme alet ve cihazlarının kontrol, ayar ve kalibrasyonlarında referans olarak kullanılmaları ve endüstri 4 uygulamalarının öne çıkmasıyla daha da önemli hale gelmiştir. Ayrıca üretim aşamasında nihai ürünün kontrolünde, ölçümünde, bazen de ölçme cihazları ile birlikte kullanılarak (ölçüm cihazının setlenmesi, ayarlanması vs.) izlenebilirliğin nihai ürüne direkt olarak aktarılması uzun mastar blokar ile sağlanmaktadır. Bu nedenle mastar blokların kalibrasyonları ve kalibrasyon için verilen belirsizlik değerleri, cihazların ve ürünlerin uygunluk değerlendirilmesi aşamasında son derece önemlidir.

Uzun mastar blokların kalibrasyonları için interferometrik ve mekanik karşılaştırma olmak üzere iki farklı yöntem kullanılır. Birinci seviye ölçüm olan interferometrik yöntemde belirsizlik değeri, ikinci seviye ölçüm olan mekanik karşılaştırma yönteminden daha düşüktür. Ancak bu, her interferometrik ölçüm sistemi için geçerli değildir: Mekanik karşılaştırma ölçüm yöntemi kullanan bazı hassas cihazlar ile gerçekleştirilen ölçümlerin belirsizlik değeri, interferometrik yöntem kullanan çoğu cihazla gerçekleştirilen ölçümlerin belirsizlik değerinden daha iyi elde edilebilmektedir.

Mekanik yöntem, son derece pratik ve interferometrik yönteme göre daha az maliyetli bir yöntem olmasının yanında, mastar blokların kullanım alanları da düşünüldüğünde, metroloji dünyasında önemli bir yer tutmaktadır. TUBİTAK UME, 20 yılı aşkın süredir uzun mastar blok kalibrasyonu için verdiği hizmeti, izlenebilirlik sağlayıcı olduğunun sorumluluğu ile belirsizlik değerini zaman içinde daha da iyileştirerek üst seviyede vermeye devam etmektedir. Öyle ki, bugün bu alanda verilen belirsizlik değeri çoğu interferometrik ölçüm sistemi ile yapılan belirsizlik değerinden daha düşüktür. Bu nedenle düşük belirsizlikle kalibrasyona ihtiyaç duyarak çalışmalar yapan firmalar ve diğer ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin bir kısmı, referans mastarlarını UME'ye göndererek kendi izlenebilirliklerini TÜBİTAK UME Boyutsal lab. üzerinden alarak sağlamaktadırlar. Bu durum ulusal metroloji enstitülerinin kendi ülkelerinde izlenebilirlik dağıtıcısı oldukları düşünüldüğünde düşük belirsizlikle izlenebilirlik sağlayabilmeleri bakımından son derece önem arz etmektedir.

Bu bildiride TÜBİTAK UME tarafından, mekanik karşılaştırma yöntemiyle, (125-1000) mm arasındaki uzun mastarlar için verilen (0.075 0.400) µm belirsizlik değerinin, (0.051 0.167) µm değerleri arasına nasıl düşürüldüğü, hangi çevresel etkilerin önemli olduğu ve bunların nasıl kontrol altında tutulduğu anlatılacaktır. EURAMET.L-K1.2011 (2011-2015) karşılaştırmasına yapılan katılımla test edilen bu küçük belirsizliğin diğer ulusal metroloji enstitüleri ile karşılaştırılması ve dünyada uzun mastar bloklar için en düşük belirsizlik veren 2. kurum olunması ve daha da aşağıya çekmek için yeni yapılan çalışmalar hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Çalışma, boyutsal ölçümlerde belirsizliklerini düşürmek isteyen laboratuvarlar ve araştırma yapan firma, kurum vs. için yol gösterici olacaktır.

2. UZUN MASTAR BLOKLAR ve KALİBRASYONU

Belirli standartlara uygun olarak üretilmiş, birbirine paralel iki düz ölçme yüzeyi arasında SI uzunluk birimi "metre" yi taşıyan (125-1000) mm nominal boydaki transfer ölçme elemanlarına uzun mastar blok denir (**Şekil 1).** Uzun mastar bloklar için yaygın kullanılan standart, kısa mastar bloklarda olduğu gibi EN ISO 3650:98 "Geometrical Product Specifications – Length Standards- Gauge Blocks " uluslararası standardıdır [1]. Bunun dışında ASME B89.1.9-2002 "Gauge Blocks" Amerikan standardı mastar bloklar için kullanılan diğer bir standarttır [2].

(a) (b)

Şekil 1. Uzun mastar blokları ve kullanımı; (a) 200 mm uzun mastar bloğu (b) Uzun mastar bloklar kullanarak ölçme cihazı kalibrasyonu - SI uzunluk birimi "metre"ye izlenebilirliğin sağlanması.

Yukarıda belirtilen standartlarda hem uzun hem de kısa mastar blok özellikleri anlatılmaktadır. Burada en önemli kısım uzun mastar blok tanımlamasının 100 mm den daha uzun boylardaki mastar bloklar için verilen belirleyici özellik olmasının yanında, kalibrasyon ve kullanım durumlarının da farklı olmasıdır. Uzun mastar blokları genel kullanım koşullarında olduğu gibi yatay konumda kalibre edilirler. Eğer dikey konumda kalibre edilirlerse, standartlarda belirtildiği gibi boy değerleri yatay konumdaki kullanımlarına göre düzeltilmelidir. Bu düzeltmenin gerekliliği kalibrasyon belirsizliği ve kullanıcının hassasiyet talebine göre değişebilir. Bazen bu düzeltme değeri adı geçen taleplere göre çok küçük kaldığından herhangi bir işlem uygulanmayabilir [3].

Uzun mastar blok kalibrasyonlarının yapılmasında, interferometrik ve mekanik karşılaştırma yöntemi olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmaktadır:

1- İnterferometrik Yöntem
2- Mekanik karşılaştırma yöntemi

İnterferometrik yöntem; ışığın dalgaboyu referans alınarak, uzunluk birimi “metre” nin mastar bloğuna aktarıldığı, birinci seviye bir ölçümdür. Bunun için kullanılan cihazlar mastar blok interfrometreleridir. İnterferometrik yöntem birincil seviye mutlak bir ölçüm yöntemidir ve genelde düşük bir belirsizlik ile sonuç bulunur.

Mekanik karşılaştırma yönteminde ise test mastar bloğun boyu, referans olarak kullanılan diğer bir uzun mastar bloğun boyuna bağlı olarak bulunur. Ölçülmek istenilen test mastar bloğun boyu; prob ile referansın boyu ve testin boyu arasındaki ölçülen fark, gereken düzeltmeler yapıldıktan sonra, sonuca eklenerek bulunur.

Her iki yöntemi uygulayan uzun ve kısa mastar blok kalibrasyon cihazları vardır. Bu cihazların kontrolü, kalibrasyonları, karşılaştırılması ve doğrulanması hangi gruba ait ise (kısa mastar blok grubunda ise kısa mastar bloklar, uzun mastar blok grubunda ise uzun mastar bloklar kullanılarak) o mastar grubu ile yapılmalıdır. Örneğin uzun mastar blok (125-1000) mm ölçümü için yapılmış bir interferometrenin, mekanik komparatörün veya kullanılacak üniversal ölçüm cihazının doğrulanmasının, kontrolünün veya karşılaştırmaya katılımının kısa mastar blokları (0.5-100 mm) ile yapılması doğru değildir. Bunun için cihazın ölçüm aralığını kapsayacak mastar blokların örn. (150-500-900) mm gibi seçilmesi gerekir. Eğer 1000 mm ölçme kabiliyeti olan bir cihaz, 10 mm gibi kısa mastar blok ile kontrol edilirse, benzetmek gerekirse, binek araç kullanarak ehliyet sınavına girip tır-ağır vasıta ehliyeti almaya benzer. Bunun işlevsel olamayacağı açıkça görülmektedir.

Uzun mastar blokların mekanik yöntem ile kalibrasyonunun en büyük avantajı, mastar bloğun kullanım şekli nasılsa kalibrasyonunun bu şekle uygun olarak yapılmasının sağlanmasıdır. Ayrıca uzun mastar bloklarının çok büyük bir kısmının yüzeyi, interferometrik yöntem ile kalibre edilebilecek yüzey formuna sahip değildir. Ayrıca, interferometrik yönteme göre kalibrasyonun çok daha hızlı ve çabuk yapılması, maliyet açısından da mekanik yöntemi öne çıkartmaktadır.

Tüm bu avantajların yanında, eğer istenilen belirsizlik değerleri de elde edilebilirse, mekanik yöntem ile uzun mastar blok kalibrasyonu son derece avantajlıdır.

2.1. Uzun mastar bloklarının mekanik yöntem ile kalibrasyonu

Endüstride çok farklı boyutsal ölçüm cihazlarının ve standartlarının kalibrasyonunu yapabilen 1 boyutlu ölçme komparatörleri, diğer bir değişle üniversal ölçüm cihazları (SIP, ULM, MAHR vs.) eğer doğru bir şekilde kullanılırsa, bu cihazlar ile uzun mastar blok kalibrasyonu yapıldığında iyi sonuçlar almak mümkündür. Özellikle üretici firmalar tarafından sunulan uzun mastar blok kalibrasyon aparatlarının bu cihazlar ile kullanılması tavsiye edilir.

Burada diğer önemli bir husus ise sıcaklık ölçümü ve kompanzasyonudur ki, genelde bu durum işin görünmeyen kısmıdır. Bu konuda gerekli önlemler alınmadan, sıcaklık okuma değerleri otomatik olarak üretici firma yazılımına girilip kalibrasyon yapılırsa, hatalı sonuçlar almak söz konusu olabilir.

Unutulmamalıdır ki, doğru bir boyut ölçümü için (özellikle uzunluk değeri 125-1000 mm gibi uzun olanlar) ilk olarak doğru bir sıcaklık ölçümü yapmak gerekir. Çünkü boyut ölçümleri 20°C "referans sıcaklık" değerine göre verilir. Tam olarak 20°C ortam sıcaklığında ölçüm yapmak mümkün değildir. Fakat bunun bilincinde olup, sıcaklık ölçümü konusu ve etkileri dikkate alınarak yapılan bir kalibrasyonla en doğru sonuçları, düşük belirsizlikte elde edebiliriz.

Üniversal ölçüm cihazları kullanıldığında, sıcaklık etkileri düşürülerek çok iyi belirsizlik değerlerine ulaşmak mümkündür. Bu konuda 2000'li yılların başında TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarında bir çalışma yapılmıştır ve çalışma yayınlanmıştır [3]. Bu makalede gösterildiği gibi $U=[(150^2)+(0.5L)^2]^{1/2}$ nm L:mm, genişletilmiş belirsizlikle ticari üniversal ölçüm cihazları kullanılarak uzun mastar bloğu kalibrasyonu yapmak mümkündür. Örneğin bu formül ile 500 mm boyunda bir mastar için belirsizlik U=292 nm (yani yaklaşık 0.3 µm) (k=2) ve 1000 mm için belirsizlik U = 522 nm (0.53 µm) (k=2)'dir. ***Eğer bu değerlerin çok altına inilebilecekse, özel cihazları satın almak ya da imalatını yapmak mantıklıdır.*** Çünkü uzun mastar blok kalibrasyonuna ilave olarak, çap, vida vs. diğer birçok boyutsal ölçümleri de yapabilen ve çoğu laboratuvarda mevcut olan üniversal ölçüm cihazlarını aynı zamanda uzun mastar blok kalibrasyonu için de kullanmak en mantıklı yaklaşımdır.

2.2. Mekanik yöntem ile kalibrasyon sırasında belirsizlik parametreleri

Mekanik kalibrasyonda düşük belirsizlik elde edebilmek için ilk olarak, kullanılan referans mastar bloğun düşük belirsizlik ile kalibrasyonunun yapılması gerekir. Bunun yanında mekanik yöntem ile uzun mastar blok kalibrasyonu için dikkate alınması gereken parametreler aşağıda sıralanmıştır.

- Referans mastar bloğu (Belirsizlik değeri, yıllık kayma miktarı-tarihsel veriler)
- Ölçüm cihazı kalibrasyonu ve hataları (lineer pozisyon, probun hareketi sırasında oluşan pitch, yaw gibi açısal rotasyon hataları ve bunların bulunmasındaki belirsizlikler)
- Ölçme probu kuvveti ve test-referans mastar bloklarının elastik değişimi
- Test masterın ölçme yüzeyinin geometrisi
- Ölçüm sırasında alınan sonuçların kayma durumu, önlemler ve tekrarlanabilirliği
- Sıcaklık etkisi
  - Referans, test ve komparatör skalası sıcaklıkla uzama katsayısı
  - Referans, test ve komparatör skalası sıcaklık değerleri, sıcaklık sensörlerinin belirsizliği

Tüm bu parametreler dikkate alınarak kullanıcılar kendi ortam şartlarına, cihazlarına ve referanslarına göre belirsizliklerini hesaplayabilirler. Yukarıda bulunan parametreler içinde, iyileştirmeye açık ve mastar blok boyuna göre önem arz eden sıcaklık etkisi üzerinde aşağıda ayrıca durulmaktadır.

2.3. Mastar blok kalibrasyonu belirsizliği için sıcaklık etkisi

Mastar blok kalibrasyonlarında doğru ölçüm için en önemli etkilerden biri sıcaklık ölçümleri ve sıcaklık ölçümüyle direkt alakası olan sıcaklıkla uzama katsayısı değerleridir. Sıcaklık değişimi sebebiyle oluşabilecek boy değişimi, aşağıda verilen temel denklem ile tespit edilir:

$$\Delta L = \alpha \times \Delta T \times L \tag{1}$$

Burada,

ΔL : Boydaki uzama miktarı (örn. mm)
α : Malzemenin sıcaklıkla uzama katsayısı (1/°C, bazen ppm kullanılır-parts per million-milyonda bir)
ΔT : Sıcaklık değişimi °C
L : Nominal boy değeri (örn. mm)

1 no.lu denklemde L boyu sabittir. ΔT ve α değerleri ise sıcaklık sensörlerinin kabiliyetine, ortam şartlarına, uzama katsayısına ve bilinme durumuna göre değişkenlik gösterebilir. Kısaca bu parametrelerdeki değişimlerden ve bilinmelerindeki hatalardan dolayı gelecek bazı belirsizlikler ortaya

çıkacaktır. Bunu bulmanın en iyi yolu, bu değişkenlere göre 1 no.lu denklemin kısmi türevlerini almaktır. Aşağıda 1 no.lu denklemin kısmi türevi alınıp, belirsizlik hesabı için varyanslar yazılmıştır [4];

$$(u_{\Delta L})^2 = (u_\alpha \times \Delta T \times L)^2 + (u_{\Delta T} \times \alpha \times L)^2 \quad (2)$$

$u_{\Delta L}$: Boydaki uzama miktarının bulunmasındaki belirsizlik (örn. mm).

u_α : Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)' nın bilinmesindeki belirsizlik / test-ref. mastar blok malzemeleri arasındaki sıcaklıkla uzama katsayıları (α) farkı, (1/°C).

$u_{\Delta T}$: Mastar bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. mastar bloklar arasındaki sıcaklık farkı (°C). Her iki mastarın sıcaklık değerlerinin ölçülüp, iki mastar arasındaki sıcaklık farkı bulunur.

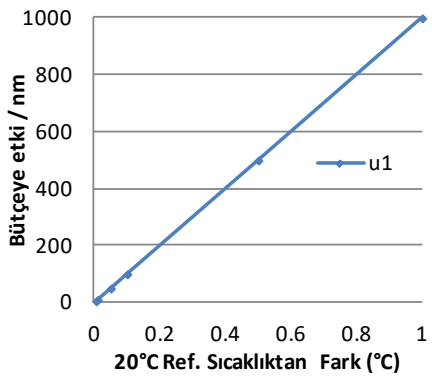
Denklem 2, denklem 1' in *ΔT* ve *α* değerlerine göre kısmi türevlerinin alınmış halidir. Burada *ΔT* ve *α* değerlerinin değişim miktarı, kolay anlaşılması ve belirsizlik ile kolay irtibat kurulması açısından genel gösterimi olan δ_α , $\delta_{\Delta T}$ *yerine* u_α , $u_{\Delta T}$ olarak gösterilmiştir.

2 no.lu denklemde birinci kısım (mavi olan), Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)'nın bilinmesindeki belirsizlik veya test-ref. mastar bloklarının sıcaklıkla uzama katsayıları arasındaki fark neticesinde, iki mastarın 20°C referans. sıcaklıktan farklı bir sıcaklıkta bulundukları zaman aralarında oluşabilecek boy farkının nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

Kırmızı olan ikinci kısım ise, Mastar bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. mastar bloklar arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek boy değişiminin nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

Şekil 2' de denklem 2'nin birinci kısmı kullanılarak, 1000 mm mastar boyu için; α: 11.5 ×10^{-6} sıcaklıkla uzama katsayısının ±1×10^{-6} (1 ppm) belirsizlikte bilinmesi durumunda, 20°C Ref. Sıcaklıktan farklı ortam sıcaklıklarında, mastar blok boyunun değişim değeri dikkate alınarak düzeltme yapıldığında oluşabilecek belirsizlik değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, mastar blokların ölçümünün yapıldığı ortam sıcaklığı, 20°C referans sıcaklıktan uzaklaştıkça, düzeltme yapılsa dahi, yapılan düzeltmenin değerinin bilinmesindeki belirsizlik artmaktadır. Kısaca Şekil 2'deki grafikte gösterilen hata değerinin uzun mastar bloğun ölçüm sonucu değerine etkisi olacaktır. Bu sebeple bu değer ölçüm belirsizliği değerine, ortam şartlarının sıcaklık değeri dikkate alınarak eklenir.

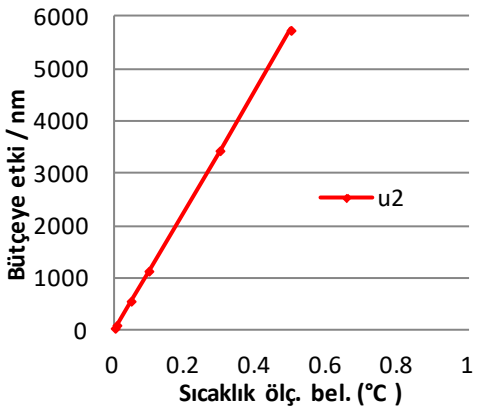
Ortam Sıcaklığı	20°C Ref. Sıcaklıktan Fark, ΔT (°C)	Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)'nın bilinmesindeki belirsizlik veya test-ref. mastar bloklar arasındaki (α) farkı, u_α (1 ppm)	L Nominal Boy (m)	Belirsizlik bütçesine etkisi $u_\alpha \times \Delta T \times L$ (nm)
20 ± 1°C	1	1.00E-06	1000	1000
20 ± 0.5°C	0.5	1.00E-06	1000	500
20 ± 0.1°C	0.1	1.00E-06	1000	100
20 ± 0.05°C	0.05	1.00E-06	1000	50
20 ± 0.01°C	0.01	1.00E-06	1000	10
20 ± 0.005°C	0.005	1.00E-06	1000	5



Şekil 2 Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)'nın bilinmesindeki belirsizlik veya test-ref. mastar bloklarının sıcaklıkla uzama katsayıları arasındaki fark neticesinde, iki mastarın 20°C ref. sıcaklıktan farklı bir sıcaklıktaki ortamda bulundukları zaman aralarında oluşabilecek boy farkı değerleri; diğer bir değişle, α: 11.5 ×10^{-6} olarak alındığında yapılacak bir düzeltme sonucu farklı ortam şartlarında hesaplanan ilgili düzeltmeye ait belirsizlik değerleri.

Şekil 3'de denklem 2' nin ikinci kısmı kullanılarak, ortalama sıcaklıkla uzama katsayısı 11.5×10^{-6} olan 1000 mm boyundaki mastar bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. mastar bloklar arasındaki sıcaklık farkından dolayı, mastar boyunun değişim değeri dikkate alınarak düzeltme yapıldığında oluşabilecek belirsizlik değerleri hesaplanmıştır. **Şekil 3'** te görüldüğü gibi, test-ref. mastar bloklar arasındaki sıcaklık farkı ne kadar küçükse ve bu sıcaklık değeri ne kadar düşük bir belirsizlikle tespit edilirse, bulunacak ΔL düzeltme değerinin doğruluğu iyi olacak ve belirsizlik bütçesine katılacak değer düşük olacaktır.

Mastar bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. mastar bloklar arasındaki sıcaklık farkı $u_{\Delta T}$ (°C)	Sıcaklıkla Uzama Katsayısı α (11.5 ppm)	L Nominal Boy (mm)	Belirsizlik bütçesine etkisi $u_{\Delta T}\times\alpha\times L$ (nm)
0.5	1.15E-05	1000	5750
0.3	1.15E-05	1000	3450
0.1	1.15E-05	1000	1150
0.05	1.15E-05	1000	575
0.01	1.15E-05	1000	115
0.005	1.15E-05	1000	58



Şekil 3 Mastar bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. mastar bloklar arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek boy değişimi değerleri farklı sıcaklık ölçüm belirsizliği değerlerine göre hesaplanmıştır. Bu değerler, düzeltme yapıldığında oluşabilecek muhtemel hataları diğer değişle belirsizlik bütçesine katılacak değerleri göstermektedir.

Tüm bu analizler sonucu, düşük belirsizlikle kalibrasyon yapabilmek için, aşağıda belirtilen iki ana konu son derece önemlidir;

- Mastarlar blokların bulunduğu ortam sıcaklığının 20°C referans sıcaklıktan farkı ve kararlılığı
- Mastar blok sıcaklık değerlerinin düşük bir belirsizlikle ölçülmesi

Yukarıda anlatılan analizlerin TÜBİTAK UME'de bulunan 1m Mekanik Mastar Blok Komparatöründe nasıl uygulandığı ve uygulama sonucunda dünyada Almanya Ulusal Metroloji Enstitüsü (PTB)' den sonra ikinci sırada en düşük belirsizliği TÜBİTAK UME'nin nasıl verebildiği 3. bölümde anlatılmıştır.

3. TÜBİTAK UME'de UZUN MASTAR BLOK KALİBRASYONU

TÜBİTAK UME 1990 yıllardan bu yana uzun mastar blok kalibrasyonu için Türk Alman işbirliği projesi kapsamında Almanya ulusal metroloji enstitüsü PTB tarafından hibe olarak verilen 1m Mastar Blok Komparatörünü kullanmaktadır. 1980' li yılların sonunda, PTB tarafından tasarımı yapılan bu cihazdan Almanya'da iki adet yaptırılmıştır ve bir tanesi PTB tarafından hala kullanılmaktadır. PTB bu cihaz ile mekanik karşılaştırma yöntemi ile dünyada en düşük belirsizlik olan

U = Q[30, 0.12L] nm L: mm

değeri ile kalibrasyon hizmeti vermektedir.

İkinci 1m Mastar Blok Komparatörü ise TÜBİTAK UME'ye getirilip kurulmuştur. 1990'lı yıllarda bu cihaz ile TÜBİTAK UME'nin vermiş olduğu belirsizlik değeri,

U = (50 + 0.50 × L) nm, L: mm

iken 2000'li yıllarda 2. bölümde belirtilen analizler yapıldıktan sonra, cihaz ile daha düşük belirsizliklerde kalibrasyon hizmeti verilebileceği tespit edilmiştir. Bunun için TÜBİTAK UME boyutsal laboratuvarında önemli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonu ve belirsizliğe etkisinin azaltılmasıdır.

Bu çalışmalar kademe kademe yürütülmüş, ilk olarak 2004 yılında katılınan EUROMET.L-K2 (2002-2005) karşılaştırması [5] ve daha sonra EURAMET.L-K1.2011 (2012-2014) karşılaştırmasında [6] son olarak aşağıda verilen belirsizlik değeri ile çok iyi sonuçlar alınmıştır.

U = Q[47, 0.16 L] nm L: mm

Verilen belirsizlik formüllerine göre, L: 1000 mm mastar uzun mastar boyuna göre bulunan U belirsizlik değerleri için karşılaştırılması **Tablo 1'** de gösterilmektedir.

Tablo 1. Uzun Mastar Komparatörü kullanarak verilen belirsizlik değerlerinin TÜBİTAK UME'de yıllara göre iyileştirilmesi ve PTB ile karşılaştırılması

Kurum adı ve hizmet yılı	Belirsizlik formülü	1000 mm mastar blok için U belirsizlik değeri (nm)
PTB (1990-2019)	U = Q[30, 0.12L] nm L: mm	124
TÜBİTAK UME 1990-2000	U = (50 + 0.50 × L) nm, L: mm	550
TÜBİTAK UME 2000-2014	U = Q[56, 0.40 L] nm L: mm	404
TÜBİTAK UME 2014-2019	U = Q[47, 0.16 L] nm L: mm	167
TÜBİTAK UME hedef 2020	U = Q[30, 0.10L] nm L: mm	104

3.1. TÜBİTAK UME 1m Mastar Blok Komparatörü

TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarında kullanımda olan uzun mastar blok komparatörü, Almanya'da, PTB ve TÜBİTAK UME için özel tasarım olarak 1980' li yıllarda üretilmesine rağmen, 2019 yılında mekanik karşılaştırma yöntemiyle uzun mastar bloğu kalibrasyonu için hala dünyada en iyi ölçüm belirsizliği ile ölçüm yapılan cihazdır. Bu özel tasarım komparatör, üniversal ölçüm cihazları gibi, bir gövde üzerinde bulunan hareketli 2 punta arasında mastar bloklarını tutan ve bir indüktüf prob yardımı ile karşılaştıran hassas bir cihazdır. **Şekil 4'te** TÜBİTAK UME'nin 1m mastar blok komparatörünün fotoğrafları mevcuttur; (a) cihazının görünümü (b) cihazın ölçüm için sahip olduğu uzaktan kumanda ile gerçekleştirilen hareket mekanizmaları.

Cihazın en önemli özelikleri aşağıda sıralanmıştır:

Ölçümün yapıldığı gövde etrafında 20°C sıcaklığında su dolaşmaktadır. Ayrıca tüm cihazın etrafı strafor/alüminyum sandviç malzemeden yapılmış kabin içerisindedir. Bu çok iyi bir termal izolasyon ortamı sağlamaktadır.

Cihaz, binanın temelinden bağımsız bir temeli olan sismik kütle olarak adlandırılan bir zemin üzerinde yerleştirilmiş olup, çevredeki titreşimlerden etkilenmemektedir.

İstenilen uzun mastar blok boyuna göre puntalar ayarlanıp, uzun mastar bloklar serbest bir şekilde işaretli ölçüm noktalarından yerleştirilebilmektir. Mastarlar yerleştirildikleri yere herhangi bir kuvvet ile bağlanmayıp, tamamen serbest olarak yerleşmektedir. Bu durum, mastar blok boyunda olabilecek boy değişimlerini minimuma indirir ve en ideal koşullarda ölçüm ortamı sağlar.

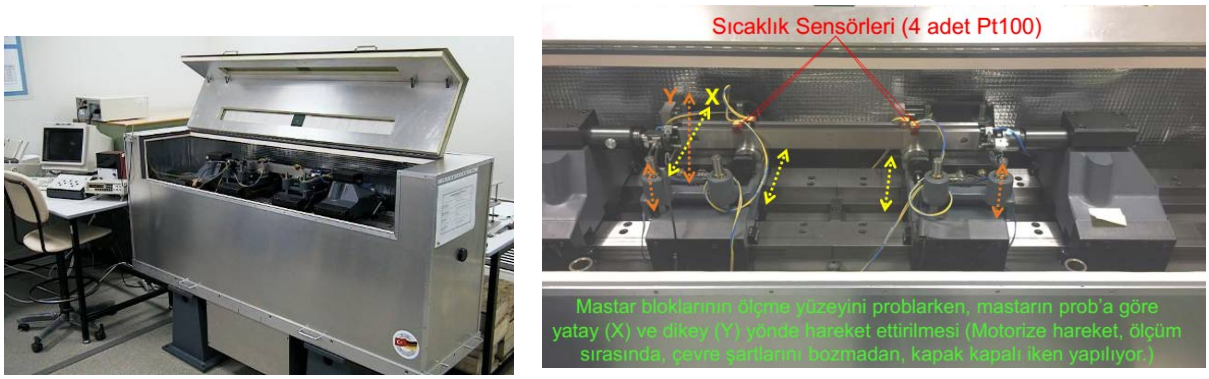
Ölçme işlemi; probun hareketi, referans ve test mastarın tüm hareketleri uzaktan kumanda edilir ve tüm bunlar kabin kapısı kapalı iken yapılır. Böylece operatörün termal dengeyi bozması söz konusu

değildir. Mastarların ölçme noktaları otomatik olarak sensörlerin yardımı ile tespit edilir ve mastarlar, probun ölçme noktalarında, 0,5mm'den daha küçük bir çap içinde ölçüm alabileceği şekilde konumlandırılır. Bu özelikler, her iki mastar yüzeyinde son derece tekrarlanabilir problama yapmaya imkan verir.

Cihazda 4 adet sıcaklık ölçme sensörü (4 adet Pt100) bulunmaktadır. Bunlardan 2 tanesi test mastar, diğer 2 tanesi referans mastar blok üzerine mastarların sağ ve sol bölgelerine yerleştirilir. Bu, ortamın termal dağılımı hakkında önemli bilgi vermesinin yanında, mastarların sıcaklığının düşük bir belirsizlikle ölçülmesini sağlar.

4 adet Pt100 sensörü bir multimetrenin tarayıcı kısmına bağlanır ve sırasıyla tüm sensörlerden veri alınarak sıcaklık değişimleri direnç değişimi olarak tespit edilir. Direnç değerleri, her bir Pt100'e ait kalibrasyon denklemi ile sıcaklık değerlerine çevrilir ve 0,01 °C' nin altında bir belirsizlikle mastarların sıcaklık ölçümleri yapılır.

Mastar bloklarının 0,01°C'nin altında bir belirsizlikle sıcaklık ölçümünün yapılabilmesi için, Pt100 sıcaklık sensörlerinin düşük belirsizlikte kalibrasyonunun yapılması ve daha sonra bunu sağlayıp sağlamadığının kontrolü gerekir. Aşağıdaki bölümde bu işlemin nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.



Şekil 4. TÜBİTAK UME 1m Mastar Blok Komparatörü

3.2 TÜBİTAK UME 1m Mastar Blok Komparatörü sıcaklık sensörleri kalibrasyonu

Pt100 sensörlerin mastar yüzeyine çok iyi konumlandırılabilmesi için, Pt100'ler özel yaylı bir mekanizmaya oturtulmuş olup, kablo bağlantıları açık olarak imal edilmiştir. Bu sebeple kalibrasyonları sırasında sıvı ortamda bekletilmesi söz konusu değildir. Kısaca ortam sıcaklığı değişiminin birkaç miliKelvin (mK) olduğu, kuru bir kabin gerekmektedir.

1 m komparatöre ait Pt100 sensörlerin kalibrasyonu, 1990'lı yıllarda, TÜBİTAK UME sıcaklık laboratuvarında, sıvı banyolar içinde yer alan, cam pipetler içine Pt100 sensörlerini yerleştirilerek yapılmıştır. Bu kalibrasyonlar için 0,1°C - 0,05°C civarlarında verilen belirsizlik değerleri, arzu edilen mastar blok kalibrasyon belirsizliği için yeterli olmamıştır.

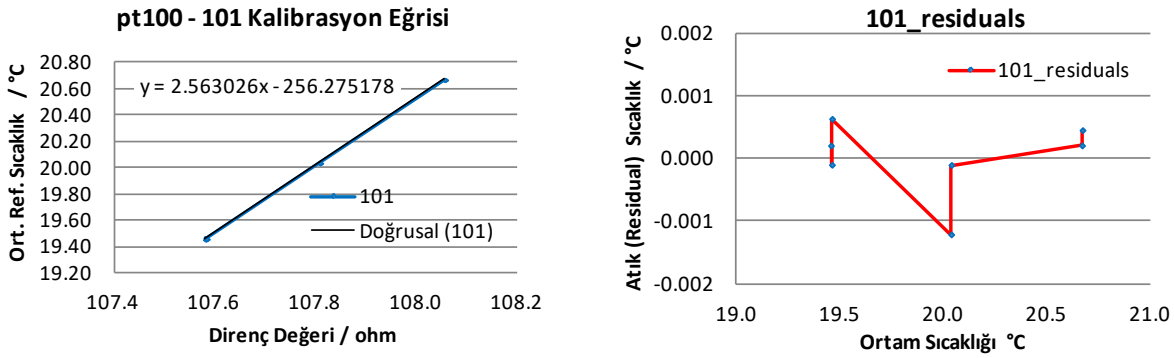
Bölüm 2.2'de anlatılan teorik hesaplamalar dikkate alınarak, Pt100 sensörlerin düşük belirsizlikle kalibrasyonu için, 1998 yılında TÜBİTAK UME boyutsal laboratuvarında bir araştırma çalışması başlatılmıştır. Pt25 referans termometre temin edilmiş, SÜN ve Galyum noktalarında kalibre ettirilerek ve bu değerlere ITS90 denklemi uygulanarak, Pt25 ile 1mK belirsizlikle sıcaklık ölçme kabiliyetine ulaşılmıştır. İlave olarak yapılan çalışmalarla, bir takım özel sistemler geliştirilmiş ve bunların deneme ölçümleri yapılmıştır.

Mastar blokların sıcaklık ölçümü mastar yüzeyinden yapılır. Fakat mastar yüzeyi ile mastarın ortası arasında sıcaklık farkı olabilmektedir. Bu durum dikkate alınarak, boyutsal laboratuvarında bu işlem için özel bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde, mastar blok şekil ve ölçülerinde, mastar blok

malzemesine yakın malzemeden imal edilen çelik blok ortasına uygun çapta delik delinmiştir. Mastar şeklindeki blok ortasına delinen deliğe Pt25 referans termometre yerleştirilmiştir. Bu çelik blok etrafına da kalibrasyonu yapılacak 4 adet Pt100, mastar ölçümünde olduğu gibi yerleştirilmiştir. Ayrıca 4 adet Pt100 yakınına 1 adet ilave Pt25 referans termometre daha yerleştirilmiştir. Amaç, iki Pt25 referans termometre (mastar ortası ve yüzeyinde) arasındaki sıcaklık farkı değerlerini kontrol ederek, ortamın ısıl dengesini kontrol etmektir.

Ortam sıcaklığı değişiminin birkaç miliKelvin (mK) olduğu kuru ortam için 1m Komparatörün kabini kullanılmıştır. Yapılan işlemi özetlersek; 4 adet Pt100 sensör, mastar yüzeyinde sıcaklık ölçerken olduğu gibi, özel çelik blok üzerine orjinal mekanizmasıyla tutturulup, yanlarına 2 nolu Pt25, ve blok ortasına 1 nolu Pt25 referans termometre yerleştirildikten sonra, tüm ünite kalın strafor kutu içerisine, küçük strafor parçaları ile beraber alınır. Tüm ekimpanlar, 1m komparatörün kabinine yerleştirilir ve (19-20-21)°C nominal sıcaklıklarda ölçüm almak amacıyla, 1m Komparatörün kabinini besleyen suyun sıcaklığı (Sıvı banyonun suyu) değiştirilerek ölçümler alınır. Her bir nominal sıcaklıkta ölçüm verisi almak için bir gece beklenir. Kabin içindeki ısıl denge takip edilir. Sıcaklık değişimi 30 dakika boyunca, ±2mK bandında iken veri alınır. (19-20-21)°C nominal sıcaklıklarda alınan Pt100' lere ait direnç değerleriyle, her bir Pt100’ e ait kalibrasyon denklemi hesaplanır.

Şekil 5 (a)' da, referans termometre değerleri ve Pt100 sensör direnç değerlerini kullanarak 1 nolu sensör için bulunan kalibrasyon eğrisi gösterilmektedir. Bu denklem kullanılarak, aynı direnç değerleri için Pt100 sensörünün sıcaklık değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerlerin, referans değerlerden farkı alınarak atık değerler (residuals) hesaplanarak kalibrasyon denkleminin kesinliği bulunur. **Şekil 5 (b)**' de, ilgili kalibrasyon denklemi kullanıldığında teorik olarak olması muhtemel hata değerleri gösterilmektedir. Bu değerler, Pt100 sensörlerin kalibrasyon belirsizliği hesabında kullanılır.

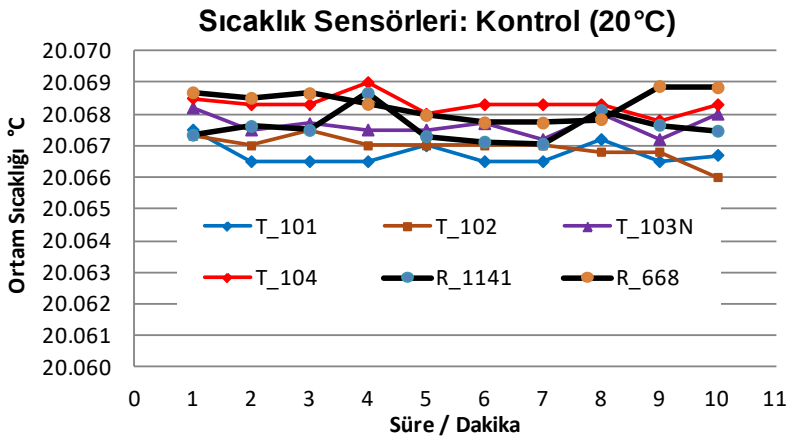


(a) (b)

Şekil 5. Pt100 sıcaklık sensörü kalibrasyonu (a) Direnç-Sıcaklık ilişkisini gösteren kalibrasyon eğrisi ve denklemi (b) kalibrasyon eğrisinin teorik performansı ve olabilecek atık (residuals) değerler.

Tüm Pt100 sensörlerin kalibrasyon denklemleri bulunduktan sonra, bu denklemler 1m Komparatör yazılımına girilir ve direnç yerine sıcaklık değerleri okunarak tüm sensörlerin ve sistemin kontrolü yapılır. **Şekil 6’** da bu kontrol sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, tüm sensörlerin sıcaklık okuma değeri 10 dakika boyunca (± 0.0015 °C) bandında salınmış, tüm sonuçların (4 adet Pt100 ve 2 adet Pt25) standart sapması 0.0007 °C (rms), her bir sensör için ayrı ayrı hesaplandığında standart sapma 0.0005 °C (rms)’ den daha düşük bulunmuştur.

Geliştirilen bu prosedür yardımıyla, TÜBİTAK UME Boyutsal laboratuvarında, 0.007°C (7 mK) belirsizlikle, Pt100 sensör kalibrasyonu 2000-2005 yılları arasında iç hizmet olarak yapılmaya başlanmıştır. 2005’ li yıllardan itibaren, kalite sistem uygulamaları dikkate alınarak, Pt100 sensörlerinin kalibrasyonu TÜBİTAK UME boyutsal lab. ve sıcaklık lab.ın ortak çalışması ile gerçekleştirilmeye başlanmış ve yukarıda anlatılan prosedüre uygun şekilde yapılan kalibrasyonlar ile sıcaklık laboratuvarının verdiği sertifikalar ile belgelendirilmiştir.



Şekil 6. Sıcaklık sensörlerin kalibrasyonu sonrası kullanılacak sıcaklıkta kontrolü: Tüm sensörlerin sıcaklık okuma değeri 10 dakika boyunca (± 0.0015 °C) bandında salınmış, tüm sonuçların (4 adet Pt100 ve 2 adet Pt25) standart sapma 0.0007 °C (rms), her bir sensör için ayrı ayrı hesaplandığında standart sapma 0.0005 °C (rms)' den daha düşük bulunmuştur.

3.3 TÜBİTAK UME 1m Mastar Blok Komparatörü ile uzun mastar blok kalibrasyonu

TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı bünyesindeki Mastar Blokları laboratuvarı 20 ±0.3 °C ortam koşulları için şartlandırılmıştır. Bu ortam şartlarında sismik kütle üzerinde yer alan 1m Mastar Komparatörü ayrıca kendi kabini için de (20 ± 0.1) °C' de şartlandırılmıştır. Ölçümler yapılırken ortamın sıcaklık dengesine gelmesine çok dikkat edilmektedir. Bu amaçla daha önce temizleme vs. işlemleri yapılan test mastar bloğu, 1m komparatörün içine referans mastar blok ile birlikte, mesai saati bitimine doğru yerleştirilir ve ölçüm için denemeler dahil tüm ayarları yapılır. Gece boyunca bekleme süresinden faydalanılıp, ortam şartları dengeye geldikten sonra sabah ölçümler yapılır. Ölçümleri takiben eğer varsa başka test mastarın kalibrasyonu için hazırlıklar yapılır. Hemen ayarları yapılıp, akşam mesai saati bitiminde ikinci mastarın ölçümü tamamlanıp bir sonraki gün yapılacak başka bir test mastar blok için işlemler tamamlanır. Bu zaman uygulaması (1000-500) mm arasındaki uzun mastar bloklar için kullanılır. (125-400) mm arasındaki nominal boylar için, bekleme süreleri daha az olup, öğlende bir mastar daha ölçülebilmektedir.

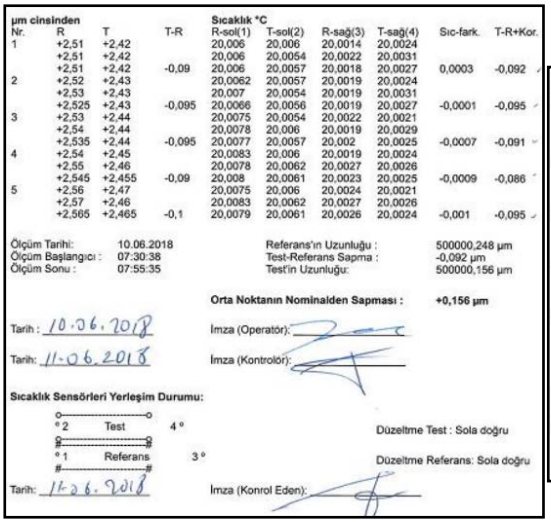
Şekil 7 (a)'da kalibrasyon sonucu alınan ham veriler ve ölçüm sonucu yer almaktadır. **Şekil 7 (b)**' de sıralaması gösterilen kalibrasyon işlemi aşağıdaki adımlarda yapılır:

- Ölçüme başlamadan önce yazılım ile otomatik olarak referans ve test mastar üzerinde (mastarın sağında ve solunda) yer alan toplam 4 adet pt100 sıcaklık sensöründen sıcaklık verileri alınır.
- Daha sonra ilk olarak Referans mastar (R) üzerinden problama yapılır. Bu sırada mastar yatay ve dikey yönde uzaktan kumanda ile kabin içinde hareket ettirilerek dönüm noktaları bulunur. Dönüm noktası bulunduğunda veri probun gösterge değeri "R" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)'** de 1 nolu ölçüm.
- Test mastar uzaktan kumanda ile hareket ettirilerek, iki punta arasına problama için yerleştirilir. Benzer şekilde dönüm noktaları bulunup, probun gösterge değeri "T" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)'** de 2 nolu ölçüm.
- Test mastar blok üzerinde problama tekrar yapılır. Dönüm noktaları bulunup, probun gösterge değeri "T" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)**' de 3 nolu ölçüm.
- Referans mastar uzaktan kumanda ile hareket ettirilerek, iki punta arasına problama için yerleştirilir. Benzer şekilde dönüm noktaları bulunup, probun gösterge değeri "R" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)'** de 4 nolu ölçüm.
- Problama işlemlerinden sonra, bir kez daha sıcaklık ölçümleri alınır ve kayıt edilir. Her iki mastar üzerinden alınan ikişer ölçüm sonucu, birinci set ölçüm tamamlanmış olur.
- Aynı şekilde 4 set daha ölçüm alınarak toplamda 5 set ölçüm ile işlem tamamlanır.

Şekil 7 (b)' de toplanan veriler yazılım ile işlenerek ortalama değerler ve düzeltme değerleri tespit edilir ve gerekli işlemler yapılıp nihai sonuç bulunur. Tüm bu işlemler yaklaşık 20 dakika sürer. **Şekil 7**' de tüm ölçümler sırasında alınan sıcaklık değişiminin 0.002 °C' den daha az olduğu, ortam şartlarının (20.000 - 20.010) °C içinde olduğu görülmektedir. Ayrıca çok iyi bir sıcaklık dengesi ve referans sıcaklık 20 °C'ye olan yakınlık sebebiyle sıcaklık düzeltmelerinin maksimum 0.005 µm (5 nm) olduğu görülmektedir.

Şekil 7' de alınan beş ölçümün arasında maksimum farkın 0.01 µm (10 nm) olduğu, bu değerlerin standart sapmasının alınıp, 0.003 µm (3nm) tekrarlanabilirlik değeri olarak belirsizlik bütçesine katılabileceği gösterilmektedir.

Şekil 7 (a)' da verilen formlarda görülen kalibrasyonu yapan ve kontrol edenin (sensör yerleri ve sonuçlar) imzaları ile kalite sistemindeki gereksinimler de yerine getirilmiş olarak güvenli bir ölçüm yapılmaktadır. 1998' li yıllarının başından itibaren boyutsal laboratuvarında yapılan bu ölçüm yöntemi eğitimler sırasında anlatılarak bir çok ulusal ve uluslararası laboratuvarın sistemini geliştirmesine imkan vermiştir.



µm cinsinden — Sıcaklık °C

Nr.	R	T	T-R	R-sol(1)	T-sol(2)	R-sağ(3)	T-sağ(4)	Sıc-fark.	T-R+Kor.
1	+2,51	+2,42		20,006	20,006	20,0014	20,0024		
	+2,51	+2,42		20,006	20,0054	20,0022	20,0031		
	+2,51	+2,42	-0,09	20,006	20,0057	20,0018	20,0027	0,0003	-0,092
2	+2,52	+2,43		20,0062	20,0057	20,0019	20,0024		
	+2,53	+2,43		20,007	20,0054	20,0019	20,0031		
	+2,525	+2,43	-0,095	20,0066	20,0056	20,0019	20,0027	-0,0001	-0,095
3	+2,53	+2,44		20,0075	20,0054	20,0022	20,0021		
	+2,54	+2,44		20,0078	20,006	20,0019	20,0029		
	+2,535	+2,44	-0,095	20,0077	20,0057	20,002	20,0025	-0,0007	-0,091
4	+2,54	+2,45		20,0083	20,006	20,0019	20,0024		
	+2,55	+2,46		20,0078	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,545	+2,455	-0,09	20,008	20,0061	20,0023	20,0025	-0,0009	-0,086
5	+2,56	+2,47		20,0075	20,006	20,0024	20,0021		
	+2,57	+2,46		20,0083	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,565	+2,465	-0,1	20,0079	20,0061	20,0026	20,0024	-0,001	-0,095

Ölçüm Tarihi: 10.06.2018
Ölçüm Başlangıcı : 07:30:38
Ölçüm Sonu : 07:55:35

Referans'ın Uzunluğu : 500000,248 µm
Test-Referans Sapma : -0,092 µm
Test'in Uzunluğu: 500000,156 µm

Orta Noktanın Nominalden Sapması : +0,156 µm

Tarih : 10.06.2018 İmza (Operatör):
Tarih: 11.06.2018 İmza (Kontrolör):

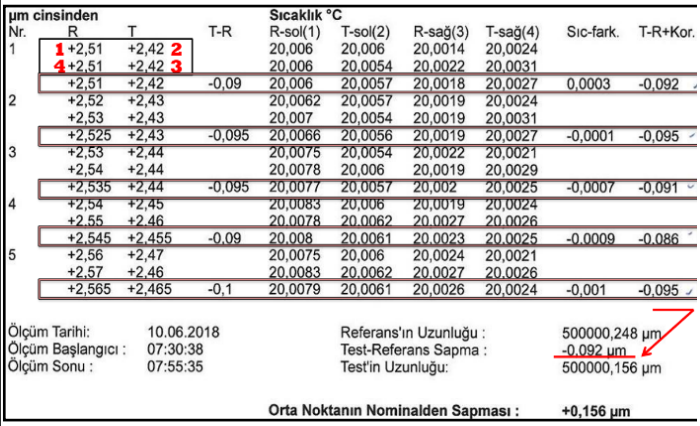
Sıcaklık Sensörleri Yerleşim Durumu:

° 2 Test 4 °
° 1 Referans 3 °

Düzeltme Test : Sola doğru
Düzeltme Referans: Sola doğru

Tarih: 11.06.2018 İmza (Konrol Eden):

(a)



µm cinsinden — Sıcaklık °C

Nr.	R	T	T-R	R-sol(1)	T-sol(2)	R-sağ(3)	T-sağ(4)	Sıc-fark.	T-R+Kor.
1	1 +2,51	+2,42 2		20,006	20,006	20,0014	20,0024		
	4 +2,51	+2,42 3		20,006	20,0054	20,0022	20,0031		
	+2,51	+2,42	-0,09	20,006	20,0057	20,0018	20,0027	0,0003	-0,092
2	+2,52	+2,43		20,0062	20,0057	20,0019	20,0024		
	+2,53	+2,43		20,007	20,0054	20,0019	20,0031		
	+2,525	+2,43	-0,095	20,0066	20,0056	20,0019	20,0027	-0,0001	-0,095
3	+2,53	+2,44		20,0075	20,0054	20,0022	20,0021		
	+2,54	+2,44		20,0078	20,006	20,0019	20,0029		
	+2,535	+2,44	-0,095	20,0077	20,0057	20,002	20,0025	-0,0007	-0,091
4	+2,54	+2,45		20,0083	20,006	20,0019	20,0024		
	+2,55	+2,46		20,0078	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,545	+2,455	-0,09	20,008	20,0061	20,0023	20,0025	-0,0009	-0,086
5	+2,56	+2,47		20,0075	20,006	20,0024	20,0021		
	+2,57	+2,46		20,0083	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,565	+2,465	-0,1	20,0079	20,0061	20,0026	20,0024	-0,001	-0,095

Ölçüm Tarihi: 10.06.2018
Ölçüm Başlangıcı : 07:30:38
Ölçüm Sonu : 07:55:35

Referans'ın Uzunluğu : 500000,248 µm
Test-Referans Sapma : -0,092 µm
Test'in Uzunluğu: 500000,156 µm

Orta Noktanın Nominalden Sapması : +0,156 µm

(b)

Şekil 7. 1m Komparatör yazılımından alınan kalibrasyon sonuçları (a) Sertifika çıkarılmak üzere kullanılan ham veri sayfası (not: Mastar seri noları ve müşteri isimleri üst kısımda yazmaktadır fakat gizliliğin korunması açısından çıkarılmıştır. (b) Veri alma sırası

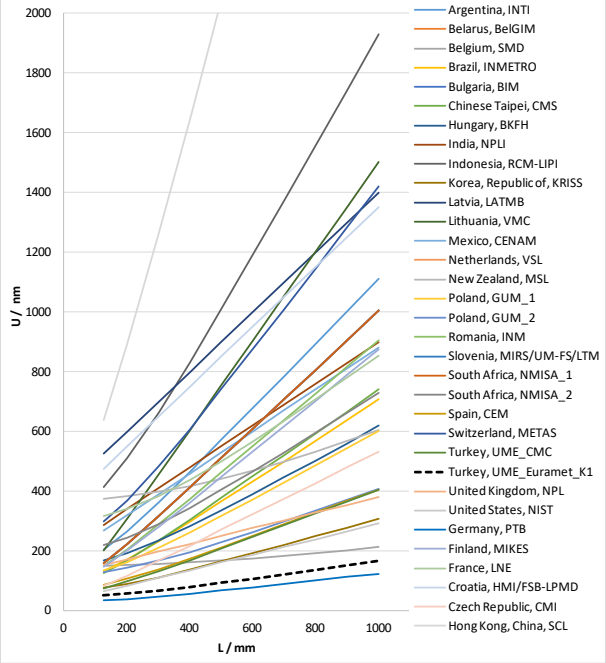
4. DÜNYA'da UZUN MASTAR BLOK KALİBRASYONU ve TÜRKİYE'NİN DÜNYADAKİ YERİ

Uzun mastar blokların kalibrasyonu hemen her ulusal metroloji enstitisü (NMI) tarafından gerçekleştirilmekte olup, çoğu enstitü hem interferometrik hem de mekanik olarak ölçme kabiliyetine sahiptir. Her ülkenin belirsizlik değeri ölçüm cihazlarına ve şartlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Boyut birimi metrenin endüstriye aktarılması asli görevi olan NMI'ların hedefleri, doğal olarak verilebilecek en iyi belirsizlik değerine ulaşmaktır. Uzun mastar blok alanında hemen her ülke endüstrisinde gerek ikinci seviye lab.lar gerekse üretim yapan firmalar uzun mastar blok alanında çalışmaktadır ve izlenebilirlik ihtiyacındadır. Eğer kendi ülkesindeki NMI'dan ihtiyaç duyulan belirsizlikle hizmet alınamadığında diğer ülke NMI'larından da hizmet alabilmektedirler.

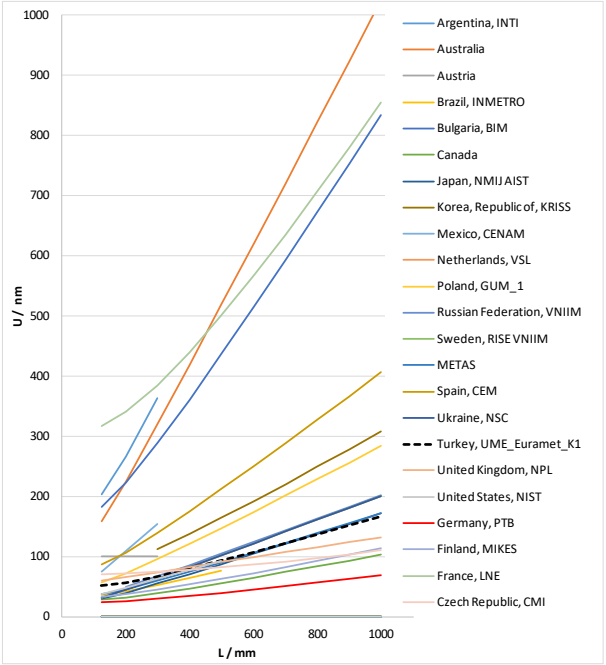
Türkiye'de bundan sorumlu NMI olan TÜBİTAK UME, uzun mastar blokların mekanik karşılaştırma yöntemiyle kalibrasyonu için verdiği düşük belirsizlik değeri ile dünyada bu yöntemle verilen en iyi belirsizliği PTB'den sonra 2. sırada yer alarak verebilmektedir (**Şekil 8**). Ayrıca mekanik karşılaştırma yöntemi kullanılmasına rağmen dünyada interferometrik yöntemle ölçen birçok NMI'ın verdiği belirsizlik değerinden daha iyi bir belirsizlik değerinde bu ölçümleri gerçekleştirebilmektedir (**Şekil 9**).

Mekanik yöntem ile uzun mastar blok kalibrasyonu belirsizlik değerleri, boy değişimine göre, BIPM (Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu) web sayfasında yer alan ülkeler **Şekil 8**' de gösterilmektedir [7]. Bu veriler BIPM web sayfasında 2018 yılında yayımlanan, TÜBİTAK UME olarak tarafımızdan yazılmasında katkı verdiğimiz, DG1 report to CCL, 2018 (Tartışma Grubu 1, Mastar Blokları CCL 2018) raporunda da yer almaktadır [8]. Bu rapora açık kaynak olarak BIPM web sayfası için bağlantısı verilen kaynak [8] den ulaşılabilir.

Şekil 9' da ise Ulusal Metroloji Enstitülerinin uzun mastar blok ölçümlerindeki belirsizlikleri, BIPM web sayfasındaki [7] metroloji enstitüleri kabiliyetlerine göre hazırlanmıştır. **Şekil 9'** daki grafik, interferometrik yöntem ile uzun mastar bloğu kalibrasyonu için boya göre belirsizlik değerleri ile TÜBİTAK UME' nin mekanik yöntem ile verdiği belirsizlik değerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Interferometrik yöntem ile verilen belirsizlikler içinde, TÜBİTAK UME'nin ***mekanik yöntem*** ile verdiği belirsizlik değeri 22 ülke içinde 6. sırada yer almaktadır. Kısaca verilen UME değeri 16 tane ülkenin interferometrik olarak verdiği belirsizlik değerinden daha düşüktür.



Şekil 8. Uzun mastar blokların mekanik karşılaştırma yöntemi ile kalibrasyonu için CMC (Kalibrasyon Ölçüm Belirsizliği) analizi. Uzun mastar mekanik kalibrasyonu için, BIPM CMC listesinde yer alan ulusal metroloji enstitülerinin kabiliyetleri ve UME'nin yeri (kesik çizgili). Kaynak: Discussion Group on Gauge Blocks – DG1, 2018;



Şekil 9. Uzun mastar blokların interferometrik yöntem ile kalibrasyonu için CMC (Kalibrasyon Ölçüm Belirsizliği) analizi. BIPM CMC listesinde yer alan ulusal metroloji enstitülerinin interferometrik ölçüm için kabiliyetleri ve UME'nin mekanik karşılaştırma yöntemi ile ulaştığı değerin karşılaştırılması (kesik çizgili). Kaynak BIPM CMC.

SONUÇ

Uzun mastar blok kalibrasyonlarının yapılmasında iyi bir sıcaklık ölçümü ve iyi ölçüm şartları sağlandığında mekanik karşılaştırma yöntemiyle, birinci seviye olan interferometrik yönteme yakın ya da daha iyi belirsizlikle ölçüm yapmak mümkünüdür. Ayrıca endüstride yaygın kullanımı olan ve uzun mastar blok dışında boyut ölçümleri yapan cihazlar aynı zamanda mastar blok kalibrasyonlarında da kullanılabilir ve iyi bir sıcaklık kontrolü ile özellikle 2. Seviye lab.lar için hem maliyet bakımından hem de ihtiyaç duyulan belirsizlikleri sağlamak bakımından son derece pratik ve kullanışlı bir çözüm sunmaktadır. Eğer çok düşük belirsizlik değerlerine inilemeyecekse pahalı cihazlar alınması ya da bu işleme uygun maliyeti yüksek cihazlar yapılmasındansa, bu ikinci seviye bir boyutlu ölçüm cihazları ile ölçüm yapmak daha uygun gözükmektedir.

TÜBİTAK UME Boyutsal laboratuvarı, uzun mastar blokların mekanik karşılaştırma yöntemiyle verdiği düşük belirsizlik değeri ile Türkiye'nin dünyadaki en düşük belirsizliği veren NMI'lar arasında yer almasını sağlamıştır. Bu sayade ülkemiz endüstrisi daha kaliteli hizmet alıp, yurt dışına bağımlılığı ortadan kalmıştır. TÜBİTAK UME bu hizmetini diğer ülke akredite laboratuvarlarına ve ulusal metreoloji enstitülerine de vermektedir.

KAYNAKLAR

[1] ISO 3650:1998; Geometrical Product Specifications (GPS) -- Length standards -- Gauge blocks
[2] ASME B89 1 9-2002, Gauge Blocks
[3] Yandayan T., "Large Measurement Range Mechanical Comparator for Calibration of Long Gauge Blocks," Proc 17th IMEKO World Congress - Metrology in the 3rd Millennium Dubrovnik, Croatia,1876-1881, June 22-27, 2003.
[4] ISO/IEC 2008 Uncertainty of measurement: part 3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO/IEC Guide 98-3.
[5] EUROMET.L-K2; https://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_search.asp
[6] EURAMET.L-K1.2011 ; https://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_search.asp
[7] BIPM web sitesi ülkelerin kapsamı (CMC verileri); https://kcdb.bipm.org/appendixC/default.asp
[8] Discussion Group on Gauge Blocks – DG1, 2018; https://www.bipm.org/cc/CCL/Allowed/17/CCL-18-13.1-DG1-report-to-CCL-2018.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, 'CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü' konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, Mart 1997'de mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME'de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürüten Tanfer Yandayan, dönem dönem UME Mekanik Grup Koordinatörlüğü yapmıştır. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarını hazırlamış ve yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK'ın kuruluşu sırasındaki çalışmalarda yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuar akreditasyonu denetimlerine katılmış ve TÜRKAK sektör komitesinde uzun süre görev yapmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2008-2012 ve 2012-2016 yılları arasında Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini açıklayan Avrupa Komisyonu için rapor hazırlamış ve uyumlaştırma çalışmalarında bulunarak AB çerçeve programları kapsamında 2 adet proje tamamlamıştır. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME'ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği bu projenin koordinatörlüğünü yapıp tamamlamıştır. Çok sayıda uluslararası konferanslara ve kurumlara davetli konuşmacı olarak katılan Tanfer Yandayan, yabancı akreditasyon organizyonlarının daveti üzerine eğitimler, danışmanlıklar vermekte ve laboratuvar akreditasyon denetimlerine katılmaktadır. Aynı zamanda akademik çalışmalarına devam eden Tanfer Yandayan, Gebze Teknik Üniversitesinde "Mekanik Ölçüm Prensipleri", Sabancı Üniversitesinde "İmalat Metrolojisi" yüksek lisans derslerini vermektedir. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan Tanfer Yandayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, mastar blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır

Aslı AKGÖZ

Sibel Aslı AKGÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur.
1997 yılında TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak işe başlamıştır. Uzmanlık alanları Açı metrolojisi ve Mastar Bloklar konularındadır. UME'de interferometrik yöntemle mastar blokların birinci seviyede ölçümlerine başlanması, rutin hale getirilmesinde aktif olarak görev almış, bu alanda çalışmalara başlanmasını ve hizmet verilmesini sağlamıştır. Açı metrolojisi ile ilgili laboratuvarın kurulması ve geliştirilmesinde aktif olarak çalışmalarıyla görev almıştır. Tam bölünemeyen indeks tablaların kalibrasyonu için yeni yöntem geliştirmiştir. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği ve yürütücülüğünü TÜBİTAK UME'nin yaptığı SIB 58 Angles açı metrolojisi projesinde çalışmıştır. Uluslararası izlenebilirliği sağlamak için düzenlenen çok sayıda uluslararası anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır, pilot lab. olarak da karşılaştırma yürütmüştür. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, ayrıca iki adet ulusal karşılaştırmanın yürütücülüğünü pilot laboratuvar olarak gerçekleştirmiştir.

PÜRÜZLÜLÜK VE FORM ÖLÇÜM CİHAZI PROPLARI İÇİN YENİ İZLENEBİLİRLİK YOLLARI

Okhan GANİOĞLU
Tanfer YANDAYAN
Murat AKSULU

ÖZET

İmalat ve üretim süreçlerinden elde edilen ürünlerin yüzey yapıları ve form parametreleri, mühendislik ve bilimsel çalışmalar için, incelenmesi gereken önemli özelliklerdir. Günümüzde, yuvarlaklık, düzlemsellik, paralellik, yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey parametrelerini karakterize etmek için, pürüzlülük ölçümlerinde iğne uçlu ve temaslı proplara sahip, form ölçümlerinde ise küresel ve temaslı proplara sahip cihazlar kullanılmaktadır. Bu ölçümlerin güvenirliğini sağlamak için "özel referans standartlar" kullanılarak bu cihazlar kalibre edilir. Özel referans standartların kalibrasyonunun yapılabilmesi için Ulusal Metroloji Enstitüleri, önemli bilimsel çalışmalar yapmaktadır. Toplam 10 proje ortağı ülkenin katıldığı, koordinatörlüğünü TÜBİTAK UME'nin yaptığı, yüzey pürüzlülüğü ve form cihazı standartlarının kalibrasyonu konusunda araştırmalar yapacak, 18RPT01 ProbeTrace kısa isimli proje Eylül 2019 itibariye ile başlamıştır. Bu makalede form ve yüzey pürüzlülüğü cihazlarının kalibrasyonu için mevcut durum ve sorunlar gösterildikten sonra, 18RPT01 ProbeTrace projesinde yapılacak çalışmalar ile bu sorunların nasıl giderileceği anlatılacaktır. Ülkemizdeki ikinci seviye laboratuvaların ve hassas parça imalatında bulunan firmaların konu ile ilgili bilgilendirilmesi ve önümüzdeki yıllarda proje çıktılarından nasıl faydalanabilecekleri kısaca aktarılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey Yapısı, Form Ölçümleri, İzlenebilirlik, Kalibrasyon Yöntemleri, Prop**,** Pürüzlülük.

ABSTRACT

Surface finish and form parameters of products from manufacturing processes are important features to be examined for engineering and scientific purposes. Currently, form and surface measurement devices with contact probes and stylus are used to characterize engineering surface parameters such as roundness, straightness, parallelism, roughness etc. These devices are calibrated using "special reference standards" to ensure the reliability of these measurements. National Metrology Institutes (NMIs) conduct research for better calibration of these reference standards. The project 18RPT01 ProbeTrace, with a total of 10 project partner countries started in September 2019 and is being coordinated by TUBITAK UME. Research will be carried out under this project for calibration of form and surface roughness standards studying novel methods providing direct traceability SI unit metre. In this paper, the planned research work under 18RPT01 ProbeTrace project will be shared in order to facilitate dissemination activities to reach much better impact after review of the current state of the art and problems. It will also be described that how the project will address these problems and provide solutions.

Key Words: Surface Texture, Form Measurements, Traceability, Calibration Methods, Probe, Roughness

1. GİRİŞ

İmalat ve üretim süreçlerinden elde edilen ürünlerin yüzey yapıları ve form parametreleri, mühendislik ve bilimsel çalışmalar için, incelenmesi gereken önemli özelliklerdir. İmalat endüstrisinde, parça yüzeyleri; belirli pürüzlülük ve form toleransları içerisinde üretilmektedir. Bu nedenle, yüzey pürüzlülüğü ve form parametrelerinin doğru bir şekilde ölçülmesi gerekir. Günümüzde, yuvarlaklık, düzlemsellik, paralellik, yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey parametrelerini karakterize etmek için; pürüzlülük ölçümlerinde iğne uçlu ve temaslı proplara sahip, form ölçümlerinde ise küresel ve temaslı proplara sahip cihazlar kullanılmaktadır.

Prop uç çapları, form ölçüm cihazlarında birkaç milimetre civarında olmasına rağmen, pürüzlülük ölçüm cihazlarında uç yuvarlaklık yarıçapı mikrometre mertebelerine kadar inmektedir. Her iki cihazda, işlenmiş yüzey üzerinde, dinamik olarak, yani uç veya yüzey hareket halindeyken, birkaç yüz mikrometre (Maks.:1000 µm) ölçüm aralığında ölçümler alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu ölçümlerin güvenirliğini sağlamak için "özel referans standartlar" kullanılarak bu cihazlar kalibre edilir.

Ulusal metroloji enstitülerinin görevi bu özel referans standartların kalibrasyonunu yaparak izlenebilirliği sağlamaktır. Bunun için iki yol vardır;

1. Başka bir ulusal metroloji enstitüsü tarafından kalibre edilmiş benzer referans standartları kullanıp özel referansları kalibre etmek
2. Birinci (primer) seviyede cihaz, standart ve ekipmanlar kullanarak kalibrasyonunu yaptıkları referans cihazlar ile özel referansları kalibre edip ülke içinde izlenebilirliği kendi ulusal metre standardı üzerinden sağlamaktır. İkinci yolu gerçekleştiren dünyada sayılı birkaç ülke vardır.

TÜBİTAK UME; mevcut standartlara alternatif olacak, izlenebilirliğin doğrudan metrenin tanımından sağlanabileceği ve cihaz ölçüm aralığının tümünün kesintisiz bir şekilde taranabileceği metotlar üzerine çalışmak amacıyla, Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına, çok uluslu bir ortak proje önerisi sunmuş ve Kasım 2018'de savunmasını başarıyla gerçekleştirerek projenin AB'den desteklenmesini sağlamıştır.

Toplam 10 ülkenin proje ortağı olarak katıldığı, 18RPT01 ProbeTrace " Traceability for contact probe and stylus instrument measurements" [1] isimli projenin koordinatörlüğünü TÜBİTAK UME yapacaktır. Projede TÜBİTAK UME lazer ile kalibrasyonunu yaptığı, nano sensör ve nano mesafe ilerleme cihazlarını kullanarak, probların statik kalibrasyonlarının yanında, dinamik performanslarını da inceleyecektir. Çıktıları arasında EURAMET (Avrupa Metroloji Birliği) rehber dokümanlarının yazılması da olan proje sonunda, gelişmekte olan ulusal metroloji enstitüleri ve ikinci seviye laboratuarların, cihaz ve referans standartlarının kalibrasyonu için izlenebilirliği kendi üzerlerinden sağlaması beklenmektedir.

2. GENEL YÜZEY HATALARI, FORM VE PÜRÜZLÜLÜK HATA FARKLARI

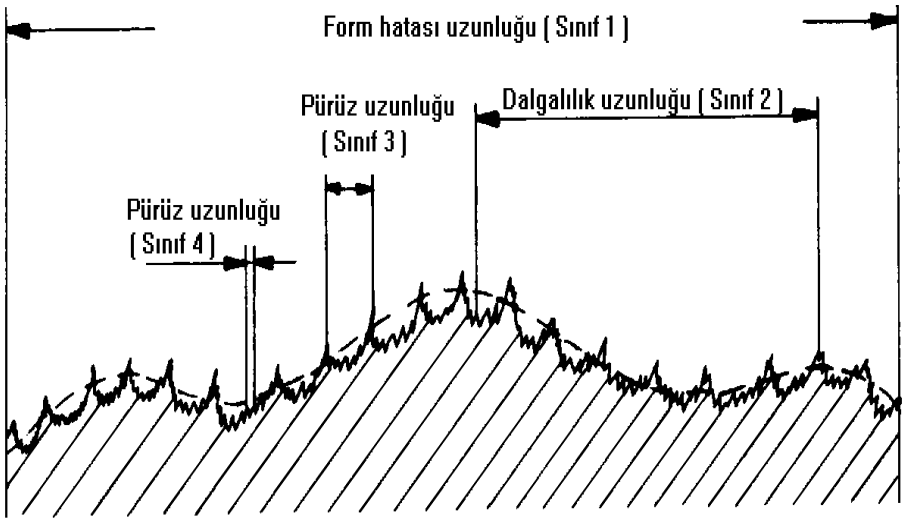
Ölçüm parçaları işleme sırasında genelde 3 tür hataya maruz kalırlar. Bunlar istenilen boyutta, istenilen geometrik şekilde ve istenilen yüzey pürüzlülüğü değerinde parçaların elde edilememesine sebep olur. Bu hataların oluş biçimi, parçanın üretim şekli ve metotlarına göre değişiklik gösterir.

Bu hatalar arasında yer alan ideal geometrik şekilden sapma (form) ve yüzey pürüzlüğü hataları genel olarak yüzey hatalarını (Tablo 1.) oluştururlar. Form hataları ideal geometrik şekilden sapma iken, yüzey pürüzlülük hataları ise yüzeydeki girinti ve çıkıntılardır. Dünyanın şekli buna güzel bir örnektir. Dünyamız uzaydan ideal yuvarlak bir küre olarak görünmektedir. Fakat gerçekte dünyanın şekli tam bir küre değildir. Dünyamız kutuplardan basık iken ekvator bölgesinde ise daha şişkindir. Yani ekvatorun dünya merkezine olan uzaklığı kutup noktalarının dünya merkezine olan uzaklığından daha büyüktür. Ayrıca dünya üzerinde herhangi bir noktanın merkeze olan uzaklığı her yerde aynı değildir. Bunun nedeni yer şekilleridir (dağlar, ovalar, çukurlar). Bu dünyanın ideal küre şekline göre form hatasıdır. Dünyamızın yüzey pürüzlülük hataları ise daha küçük alandaki yer şekilleridir.

Yüksek bir dağdan bir ovaya baktığımızda, ovayı düz olarak görebiliriz. Ancak, dağdan inip alçak bir tepeden ovayı yakından incelersek, yüzeyin tam olarak düz olmayıp “engebeli” olduğunu fark ederiz. Bu engebeler örneğin 15 m yükseklikte ve 300 m uzunlukta olabilir. Yer yüzeyine daha da yakından bakarsak, daha önce fark edemediğimiz başka engebelerle karşılaşırız. Bunlar da örneğin 5 m yükseklikte ve 30 m uzunlukta olabilir. Dikkat edilirse, bu iki tip engebe arasındaki en önemli fark dalga boylarıdır. Büyük dalgaboyuna sahip engebe “dalgalılık”, küçük dalgaboyuna sahip engebe ise “pürüzlülük” olarak isimlendirilir. Bu durumda gerçek yüzey, saf pürüzlülüğün saf dalgalılık üzerine eklenmesinden oluşacaktır. Makine elemanlarının form ve yüzey pürüzlülük hatalarını da aynı mantıkla düşünebiliriz. İş parçası üzerindeki yüzey hatalarını dört grupta toplayabiliriz (Şekil 1.).

Tablo 1. Genel yüzey hataları.

Form hatası (Sınıf 1)	:	Uzunluğu genliğinin (tepe yüksekliğinin) yaklaşık 1000 katı olan hatalardır
Dalgalılık (Sınıf 2)	:	Uzunluğu genliğinin (tepe yüksekliğinin) yaklaşık 100 ile 1000 katı arasında olan hatalardır
Yüzey pürüzlülüğü (Sınıf 3,4)	:	Uzunluğu genliğinin (tepe yüksekliğinin) yaklaşık 5 ile 100 katı arasında olan hatalardır



Şekil 1. Genel yüzey hataları

Aslında yüzey hatalarının ölçümleri aynı olmasına rağmen, ölçümler sırasında pürüzlülük, dalgalılık ve form sapmalarının birbirinden ayrılmasında seçilen “cut-off (sınır) dalga boyu etkilidir. Büyük dalga boylu sapmaları elimine edecek kadar küçük değer seçersek, pürüzlülük ölçümlerine yoğunlaşmış oluruz. Bu durumda seçilen cut-off’tan büyük dalgaboyuna sahip sapmalar dalgalılık kabul edilir ve incelemeye alınmaz. Dalgalılık ve formu incelemek istiyorsak bunun tersi yapılır. Eğer bir yüzeyde dalgalılık yoksa cut-off ne seçilirse seçilsin, pürüzlülük sonucunda hep aynı tepe ve çukurları görürüz. Yüzeyde dalgalılık varsa, seçilen cut-off büyüdükçe daha iri tepe ve çukurları pürüz olarak görürüz. Yani daha küçük bir cut-off için dalgalılık gözüyle baktığımız sapmalara, büyük cut-off seçtiğimizde pürüzlülük gözüyle bakarız [2].

Form ve pürüzlülük hatalarını ayırmak için ayrıca filtreler kullanılır. Filtreler, geometrik sapmaları dalga boylarına göre birbirinden ayırmaya yarar. Bilindiği gibi iş parçaları üzerinde, değişik sınıflarda geometrik sapmalar vardır (Şekil1.). Form hatasının belirlenmesi için birinci ve ikinci sınıf sapmaların göz önünde bulundurulması gerekir, yani form hataları için yüzey pürüzlülük sapmalarını filtre yardımıyla elimine etmek ve böylece, birinci ve ikinci düzeydeki form hatalarına ulaşmak gerekir.

3. FORM ve PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN CİHAZLAR

3.1. FORM ÖLÇÜM CİHAZLARI

Form ölçüm cihazlarında ana ölçme fonksiyonu dairesel ölçümlerdir (yuvarlaklık, salgı vb.). Dairesel ölçümlerde temel prensip yuvarlak parçaların merkeze göre yarıçap değişikliğinin bulunmasıdır. Ölçümlerde döner bir milin dönme ekseni referans olarak alınıp, iş parçası üzerinden, kısa mesafe ölçümü yapan bir prob ile, iş parçası üzerindeki yarıçap değişimleri ölçülür. Temel olarak iki farklı prensiple çalışan cihazlar mevcuttur; Döner Prob tipli form ölçüm cihazı, döner tabla tipli form ölçüm cihazı (Şekil 2.). Döner Prob tipli form ölçüm cihazında parça sabit, prob dönmekte iken diğerinde prob sabittir ve parça dönmektedir. Döner Prob tipli form ölçüm cihazının tercih edilme sebebi daha büyük ve ağır parçaların problemsiz olarak ölçülmeleridir.

a) Döner prob tipi form ölçüm cihazları b) Döner tabla tipi form ölçüm cihazları

Şekil 2. Form Ölçüm Cihazları

Döner kısımlarda, yataklamadan gelecek hataların daha sonra izole edilmesi zor olduğu için, hassas yataklama için özel rulmanlı yataklar kullanılmaktadır (örneğin ball bush bearing). Fakat hava yatakları da tercih edilebilmektedir. Bu sistemde basınçlı hava sayesinde sürtünen yüzeyler birbirinden ayrılır. Böylece sürtünme kuvvetleri ortadan kalkar. Ancak basınçlı hava sağlayan devrede basınç dalgalanması varsa ölçümler etkilenebilmektedir.

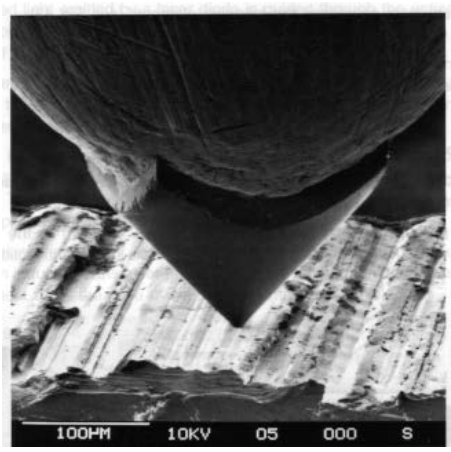
Cihazlarda ölçüm kısmında indüktüf problar kullanılmaktadır. Zaman zaman bu problar doğrusal değişen fark dönüştürücüler (Linear Variable Differential Transformer-LVDT) olarak da adlandırılmaktadır. Yüzeye temas ederek ve yüzeyden ayrılmadan ölçüm alan bu probların uç çapları birkaç mm civarında olmaktadır. Bu problar ile yapılan işlemde (kısa mesafe ölçümleri), yarıçap değişimleri küçük olduğundan, probun ölçme aralığının yaklaşık ± 20 µm olması yeterli gelmektedir. Ayrıca probların dinamik olarak performansının, prob devresi ve filtreleme özelikleri ile kontrol edilmesi gerekir. Aksi taktirde, hareket halindeki parça yüzeyinde, zamana göre alınan mesafe değişim değerlerinin ne kadar sağlıklı olduğundan emin olunamayacaktır.

3.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZLARI

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm metotları temelde, karşılaştırma ve direkt ölçüm olarak ikiye ayrılır. Bazı kaynaklarda ölçüm cihazları, temaslı ölçüm ve temassız ölçüm olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu durumda, iğne uçlu cihazlar ve yüzeye değen objektiflere sahip optik cihazlar temaslı, yüzeye değmeyen optik cihazlar ise temassız ölçüm sınıfına girmektedir. Temasız ölçüm yapan cihazlara örnek olarak interferometrik prensiple ölçüm yapan 3d cihazlar verilebilir.

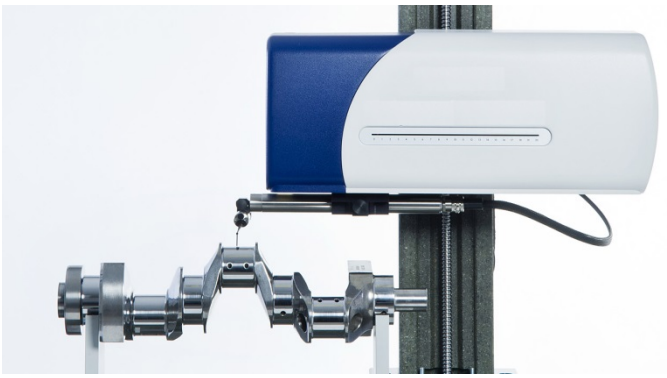
İndüktif proba sahip olmaları sebebiyle bizim esas konumuz İğne uçlu ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazların indüktif problarının ucunda, yüzeye temas eden ve ölçümleri üniteye aktaran iğne (stylus) kısmı bulunmaktadır (Şekil 3.). Günümüzde iğneler için 2 μm uç yuvarlatma yarıçapı yaygın olarak kullanılmaktadır. İğneler koni ve piramit olmak üzere iki tipte imal edilmekte olup tepe açıları 60º veya 90º'dir. Pürüzlülük cihazlarında ölçüm sırasında yüzey sabit, iğne hareket etmektedir. İğneyi yüzey üzerinde hareket ettiren kısma pikap veya prob denilmektedir ve pikaplar, pabuçlu ve pabuçsuz olmak üzere iki çeşittir. Günümüzde sabit cihazlarda genellikle pabuçsuz ölçüm alınmaktadır, çünkü pabuçsuz pikaplar ideal bir referans düzlemde hareket edebilirler. Pürüzlülük, dalgalılık ve form sapmalarının tümü tespit edilebilir ve yüzey profili değişikliğe uğramadan elde edilir.

Pabuçlu pikaplar ise portatif sistemlerde daha hızlı ölçüm yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Papuç "mekanik filtre" vazifesi görüp form sapmalarını eleyebilir. Pabuçlu problar, pabuçsuz problardan daha az titreşimden etkilenir. .



Şekil 3. İğne ucu

Ölçüm sırasında iğnenin yüzeye sürekli temas etmesi için, belli bir kuvvet (statik ölçme kuvveti) uygulanmaktadır. Cihazda, iğnenin hareketi indüktif olarak elektrik sinyallerine dönüştürülmektedir. Probun yüzeydeki hareketi elektrik motoru ve dişli kutusuyla sağlanmaktadır. Elektrik sinyali yükseltilmekte, dijitale çevrilmekte ve filtre edilmektedir. Sistemdeki filtrenin vazifesi, pürüzlülüğü ve dalgalılığı birbirinden ayırmaktır.



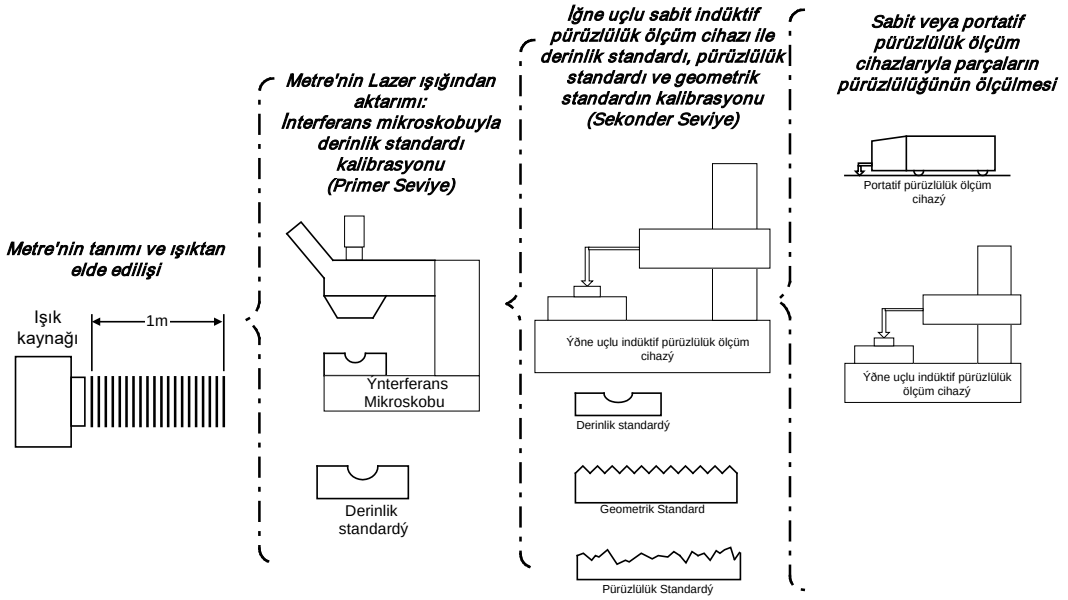
Şekil 4. Pürüzlülük ölçüm cihazı

4. CİHAZ KALİBRASYONLARI

Form ve pürüzlülük cihazlarının doğru çalıştığından emin olmak için, belirli zaman aralıkları ile kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca cihazlar dinamik ölçüm yapan sistemler olduklarından, hem statik hem de dinamik kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir.

4.1. PÜRÜZLÜLÜK CİHAZI KALİBRASYONU

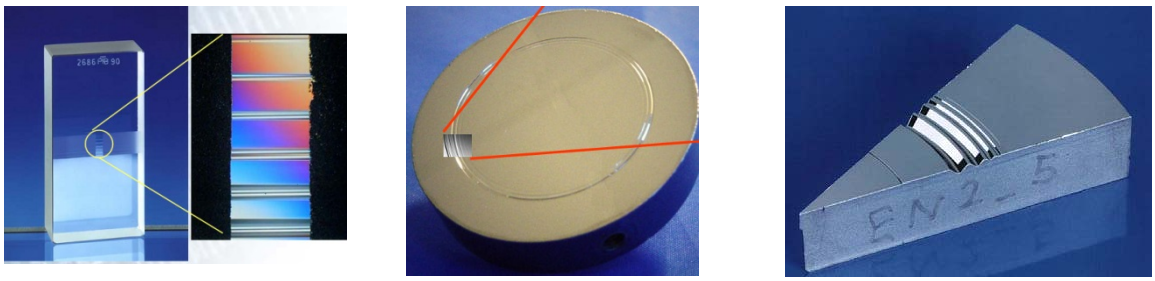
Cihazın kalibrasyonu 3 farklı referans standart ile yapılmaktadır. Derinlik mastarı, Geometrik Standart ve Pürüzlülük Standardı.



Şekil 5. Pürüzlülük Ölçümlerinde İzlenebilirlik Zinciri

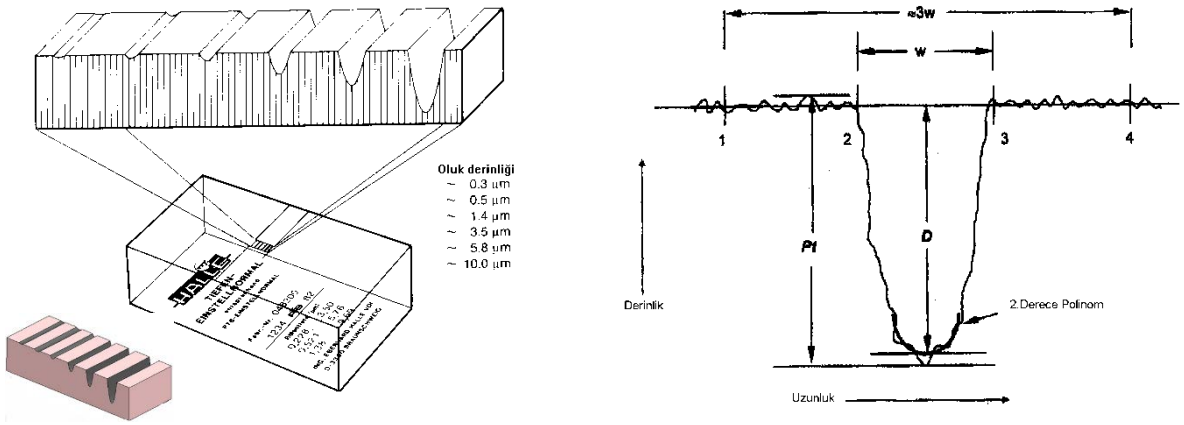
4.1.1 Derinlik Standardı (oluk derinliği standardı)

Cihazlarda bulunan probların kalibrasyonları derinlik standardı (Şekil 6-7) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Derinlik standardı olarak tanımlanan standartlar, üzerinde farklı sabit derinliklerde oluklara sahip referanslardır. Yapılan kalibrasyon işlemi sırasında sadece referans oluk derinliği mertebesinde probun kalibrasyonu yapılmış olmaktadır. Bu işlem probun tüm çalışma aralığını kapsamamaktadır. Ara değerlerdeki sapmalar ölçümü yapılan değerlere göre lineer olduğu varsayılarak hesaplanmaktadır (Şekil 8). Fakat gerçek böyle olmayabilir.



(0,02 – 10) µm (0.24 – 75) µm (1 – 1000) µm

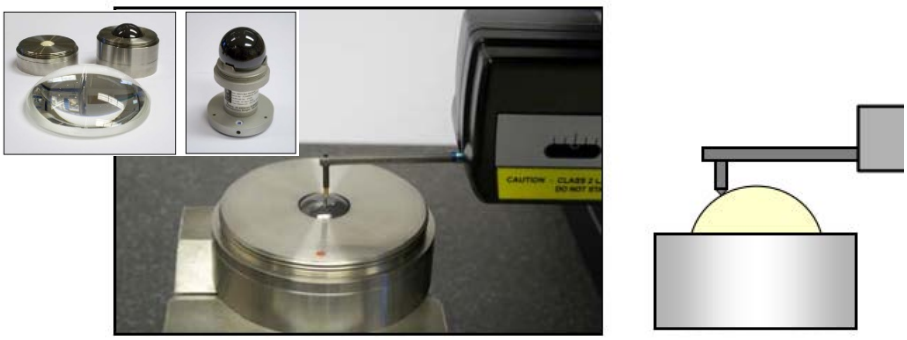
Şekil 6. Derinlik standartları



Şekil 7. 6 farklı oluğa sahip derinlik standardı ve oluk profil görüntüsü

Buradaki diğer önemli nokta referans üzerindeki oluk derinliklerinin düşük belirsizlik ile metreye izlenebilir olarak belirlenebilmesidir. Bu işlem dünya üzerinde sayılı metroloji entitüsü tarafından, kullanımı zahmetli ve bilgi gerektiren interferans mikroskopları ile yapılabilmektedir. Fakat interferans mikroskoplarının ölçüm yapabileceği maksimum derinlik 10 µm ile sınırlıdır. Günümüzde pürüzlülük cihazlarının prob çalışma aralığı 10 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Yeni nesil derinlik mastarlarında 1mm derinliğe sahip oluklar bulunabilmektedir. Bu ölçüm aralığı birinci ve ikinci seviye ölçüm laboratuvarları için izlenebilirlik problemi oluşturmaktadır.

Kalibrasyon sırasında pürüzlülük cihazı ile oluk derinleri ölçülür ve gerçek değer ile arasındaki farka göre belirlenen düzeltme (kazanç ayarı) faktörü hesaplanır ve cihaza girilir. Birkaç deneme ile gerçek derinlik değerine en yakın sonucu veren düzeltme faktörü belirlenebilir ve cihaz yazılımına kaydedilir. Ayrıca bu işlemin her kalibrasyon öncesinde yapılması tavsiye edilmektedir. Bu işleme günlük kalibrasyon da denilmektedir. Günlük kalibrasyonda referans derinlik standardının, ölçüme uygun bir oluğu seçilir ve ölçülür. Referans standardın sertifika derinliği, ölçümde bulduğumuz sonuca bölünerek günlük düzeltme faktörü (K) elde edilir ve daha sonra iş parçasında ölçülen tüm genlik parametreleri bu faktörle çarpılır.

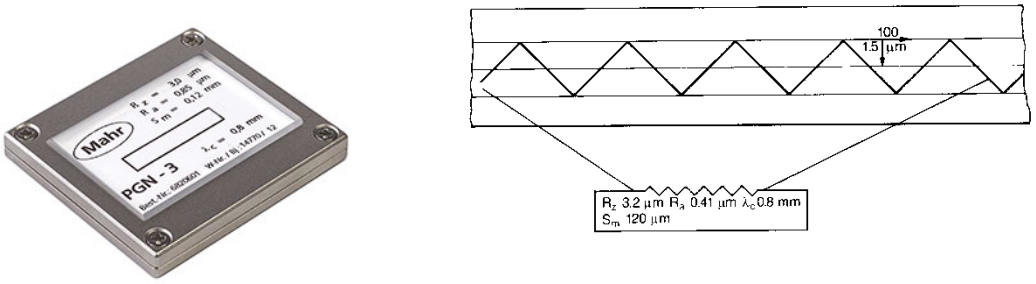


Şekil 8. Küre Standart

Bazı üreticiler ise prob kalibrasyonu için oluk derinliği standardı yerine küre standartlar (Şekil 8.) kullanmaktadırlar. Probun küre üzerindeki hareketinde hassas olarak hesaplanan "düşey yer değişimi", oluk derinliği yerine referans olarak kullanılmaktadır. Fakat bu işlem yaygın bir kullanıma sahip değildir. Çünki hesaplama işlemleri bu cihazlara özel yazılımlar sayesinde yapıla bilmektedir. Bu yüzden her pürüzlülük cihazında uygulanamamaktadır.

4.1.2 Pürüzlülük Standartları

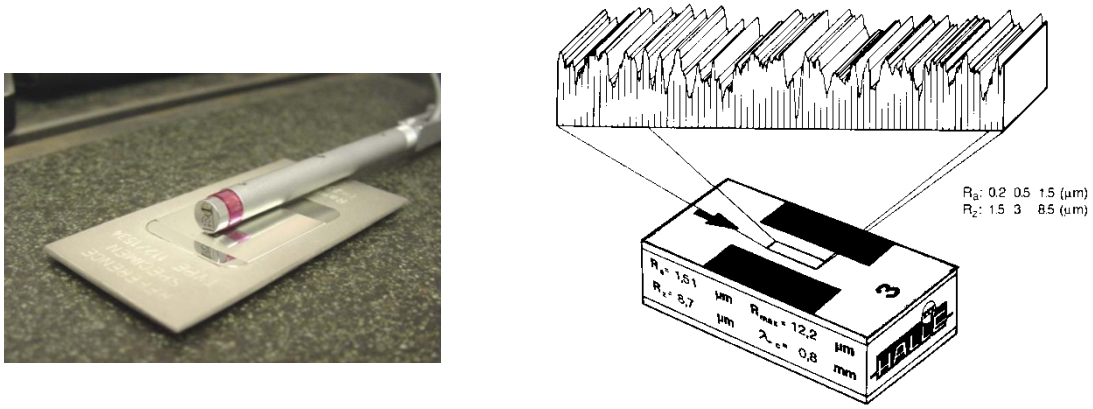
Kalibrasyon faktörü K (derinlik standardı veya küre ile) belirlendikten sonra cihazı kontrol etmek için "Geometrik Standart (Şekil 9.) veya "Rastgele Yüzeyli Pürüzlülük Standardı" (Şekil 10.) kullanılır. Standart üzerinde, işaretli ölçüm bölgesi içinde ölçümler alınıp, pürüzlülük parametrelerinin ortalaması hesaplanır. Eğer ölçülen parametreler beklenilen belirsizlik seviyesinde doğru değilse "Oluk derinliği standardı" ile cihaz tekrar kalibre edilmelidir. Pikap veya iğne ucu değiştirildikten sonra da "Oluk derinliği standardı" ile kontrol yapılması faydalı olabilir.



Şekil 9. Geometrik standart

Geometrik standartlar, sinüzoidal üçgensel veya trapezoid gibi düzgün profile sahip standartlardır (Şekil 9.).

Rastgele yüzeyli pürüzlülük standartları, düzensiz yüzey profiline sahip mastarlardır (Şekil 10). Bu standartlar ile Prob büyütme oranı, iğne uç yarıçapı, parametrelerin sayısal hesabı (implementasyonu), sayısal filtre kontrol edilmiş olur. Pürüzlülük standartları, dalgalılık ve pürüzlülük bileşenlerini içeren, değişik dalga boyu, genlik ve fazlarda yüzey yapılarına sahiptir. Rastgele pürüzlülük standartları gerçek yüzeylere yakın olduğundan, geometrik standartlardan daha iyi bir kontrol sağlarlar.



Şekil 10. Pürüzlülük standardı

Ölçüm sistemindeki mekanik ve elektriksel gürültünün bulunabilmesi için ideal düzlükte bir yüzeyin (optik cam) üstünde ölçüm yapılır. Bu işlem hem pikap sabitken hem de hareketli iken yapılır. R_z ve W_t parametreleri ölçülür.

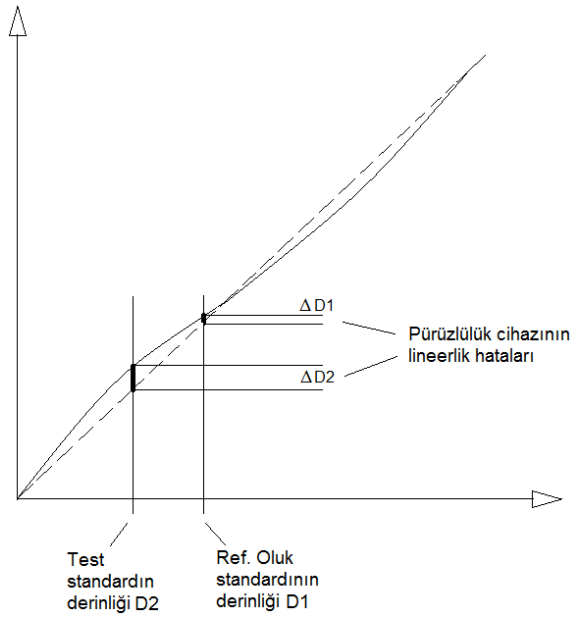
4.1.3 ProbTrace Projesinin, Problar için Düşey Yerdeğişimi Belirlenmesindeki, Katkısı

Şekil 11'de verilen pürüzlülük ölçüm cihazının lineerlik grafiğinden görüldüğü gibi test pürüzlülük mastarı veya test oluk derinliği mastarına (Değeri D2) en yakın derinlikteki referans oluk (Değeri D1) seçilerek K faktörünü hesapladığımızda;

ΔD_1, D1 mertebesinde lineerlikten sapma hatası (non-lineerlik),
ΔD_2, cihazın D2 mertebesinde lineerlikten sapma hatasıdır.

Sayısal bir örnek verirsek: Test oluk derinliği D2 = 8,00 µm olan oluk ölçümü için çok oluklu referans mastardan seçilebilecek en yakın oluk D1 = 9,00 µm olabilir. Örneğin, D1 ve D2 mertebelerindeki cihaz lineerlik hataları, yüksek kalitede sabit bir pürüzlülük cihazında ΔD_1 = 30 nm iken, ΔD_2 = 10 nm olabilir. Bu durumda gerçekte kullanılması gereken düzeltme faktörü K_1 = 0,9963 iken, K_2 = 0,9989 kullanılacaktır. Bu da kalibrasyon sonucunun sertifikada örneğin 8,00 µm verilmesi yerine 8,02 µm verilmesine yol açacaktır.

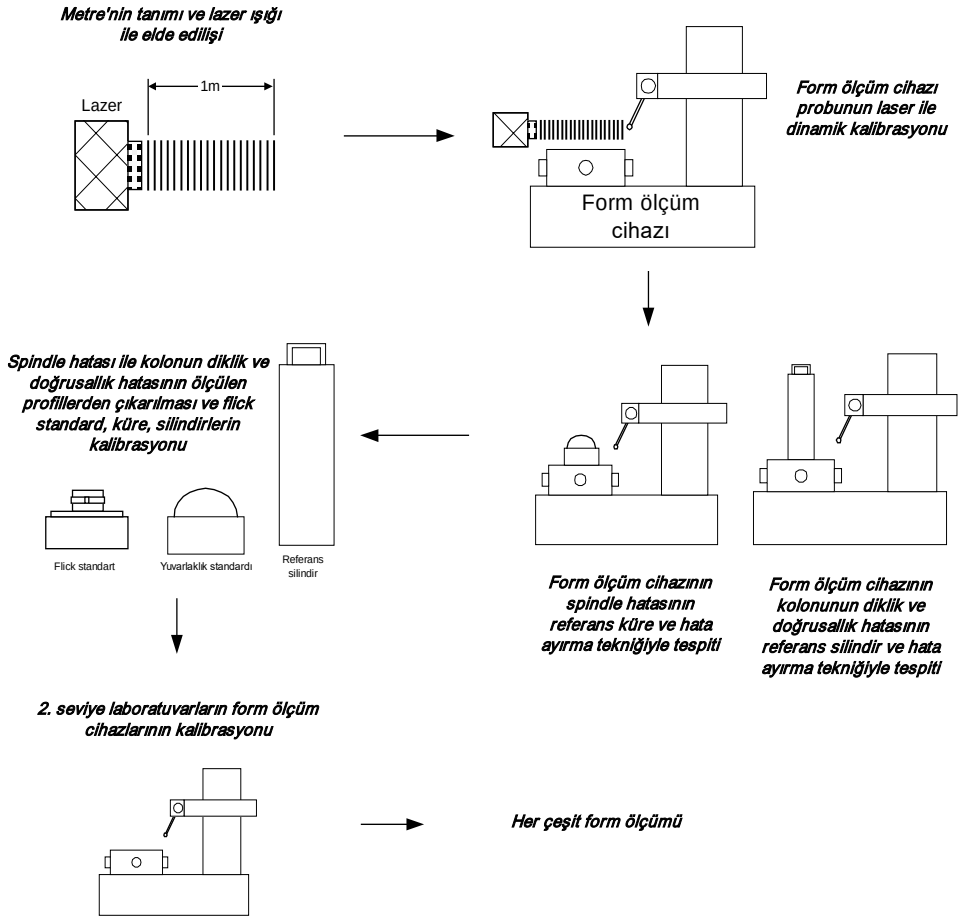
ProbTrace projesinde planlandığı şekilde Piezo nano konumlandırıcılar kullanılması durumunda ölçüm aralığında tam olarak istenen değerde "referans düşey yer değişimi" elde edilecek ve bunlar çok sınırlı sayıdaki referans oluk derinliği yerine kullanılabilecektir. Böylece cihaz lineerlik hatasından kaynaklanan ve yukarıda anlatılan belirsizlik kaynağı hemen hemen sıfıra indirilmiş olacaktır.



Şekil 11. Pürüzlülük cihazı Non-lineerlik hatası

4.2. FORM CİHAZI KALİBRASYONU

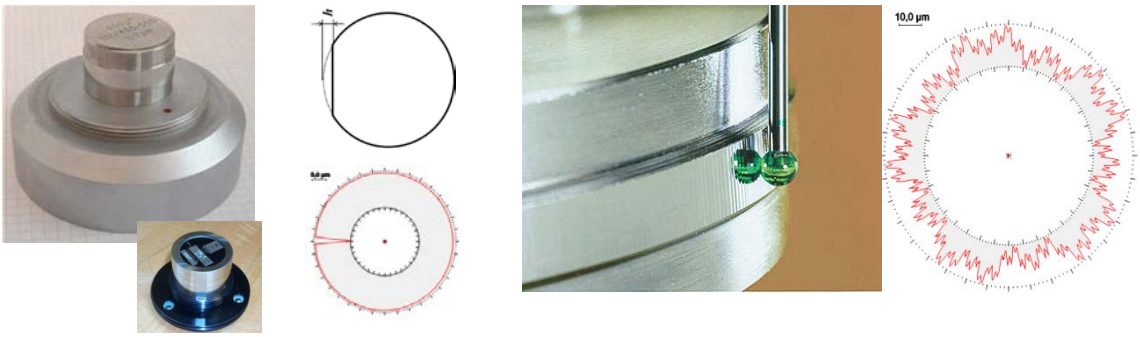
Form cihazının kalibrasyonu sırasında, referans döner tablanın ne kadar düzgün/salgısız döndüğünün "Yarıküre" ile tespiti haricinde; yarıçap değişimini algılayan probun doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü de gerekir. Bu işlem iki şekilde yapılır: statik ve dinamik kalibrasyon. Statik kalibrasyonda, probun statik şartlar altında büyütme oranı tayin edilirken; dinamik kalibrasyonda, probun, sabit açısal hızla dönen iş parçasına temas ederken, yani sürtünme kuvveti etkisinde, dinamik olarak ne kadar doğru veri aldığı tespit edilir.



Şekil 12. Form ölçümlerinde izlenebilirlik zinciri

Statik Prob kalibrasyonunda yaygın kullanılan yöntem optik cam üzerine, yan yana üç farklı mastar yapıştırılarak elde edilen adımların statik olarak ölçülmesidir (genel olarak oluşturulan farklar 0,1 mm ve 0,9 mm'dir). Yükseklik farkının ölçülmesi ile probun büyütme oranı kalibre edilmiş olur. Küçük olan fark, yükseklik farkı hassas ölçüm aralığını, büyük olan fark ise kaba ölçüm aralığını kalibre etmek için kullanılır. Bu işlem probun statik kalibrasyonu olarak da adlandırılır.

Cihazın dinamik kalibrasyonunda kesik bir silindirden oluşan Flick standart veya çoklu dalgaboyu standartları kullanılmaktadır. Flick standart, yüzeyinin bir kısmı traşlanmış/düzleştirilmiş bir silindirdir. Çoklu dalgaboyu standardı ise yüzeyi farklı dalga boyunda sinüs dalgası şeklinde işlenmiş silindirik yüzeylerdir (Şekil 13.). Flick standart veya Çoklu dalgaboyu standart üzerinde yuvarlaklık ölçümü yapılarak yüzeydeki radyal farklılık, bir yuvarlaklık sapması olarak tespit edilir. Bu yuvarlaklık sapması sertifikalandırılmıştır. Referans standart ile, probun dönüş sırasında veri alırken performansı incelenmektedir. Ayrıca cihazın filtresi de kontrol edilmiş olmaktadır. Flick standart veya çoklu dalgaboyu standardı, form cihazı tarafından çeşitli filtre ve değerlendirme metotlarında ölçülür. Bulunan değerler Flick standart veya Çoklu dalgaboylu standard sertifika değerleri ile karşılaştırılır. Fakat buradaki temel problem yine referans standardın kendi kalibrasyonundan kaynaklanmaktadır. Bu işlemi yapabilen metroloji enstitüsü azdır ve bu metroloji enstitüleri özel olarak bütün hataları tespit edilmiş ve hataları elimine edilmiş referans form ölçüm cihazları kullanmaktadırlar. Ayrıca her iki durumda da (statik ve dinamik kalibrasyon) temel problem yine probun kalibrasyonunun prob ölçüm aralığında sadece bir veya iki farklı değer için yapılmış olması ve bu kalibrasyonun probun çalışma aralığının tamamını kapsamamasıdır.



Flik (10 – 300) µm Çoklu Dalgaboyu 10 µm

Şekil 13. Flick ve Çoklu Dalgaboyu Standartları

Cihazın spindle radyal kalibrasyonu yuvarlaklık değerleri 0,02 µm - 0,03 µm aralığında olan yarıküre standardı (yarıküre) ile yapılır.

Cihazın kolon kalibrasyonu için ise referans silindir kullanılmaktadır. Silindir üzerinden doğrusallık, paralellik ve yuvarlaklık hataları ölçülür. Silindir ekseni doğrultusunda genellikle 0°, 90°, 180° ve 270° konumlarında doğrusallık ölçümleri alınır. Bu doğrusallık ölçümlerinden, silindirin karşılıklı yüzeylerinin paralelliği (0°/180° ve 90°/270°) hesaplanır.

Optik cam ile döner tabla ya da döner kafalı probun dönme hareketinde oluşturduğu düzlemsellik ölçülür böylece spindle ekseni düşey kalibrasyonu yapılmış olur [3-4].

Referans Silindir Yarı Küre

Şekil 14. Form ölçüm cihazı kalibrasyonu için kullanılan standartlar

6. YENİ YÖNTEM ÇALIŞMALARI (18RPT01 ProbeTrace)

Yeni teknoloji ve düşük toleranslar ile parça imalatı sebebiyle, günümüzde form ve pürüzlülük standartlarının (10-100) nm belirsizlik ile izlenebilir kalibrasyonlarının yapılma ihtiyacı doğmuştur.

Bu ihtiyacı karşılayabilmek için Metroloji Enstitüleri cihazlar üzerinde (mevcut cihazların geliştirilmesi veya yeni cihaz üretilmesi), yöntem geliştirme (mevcut yöntemlerin geliştirilmesi veya yeni yöntemlerin oluşturulması) ve ölçüm kabiliyetlerini artırma yönünde çalışmalar yapma ihtiyacı oluşmuştur.

Cihazlarda kullanılan problar (indüktif prob sistemleri) benzerdir. Her iki sistemde de prob yüzeyden ayrılmadan, parça dönerken veya prob ünitesi hareket ederken dinamik olarak ölçüm alınmaktadır. Bu yüzden cihazların kalibrasyonlarının sadece statik değil dinamik olarak da yapılması gerekmektedir.

Üreticiler kalibrasyonda kullanılmak üzere bazı basit çözümler ve standartlar üretmişlerdir. Örneğin form ölçüm probları statik olarak mastar blokları ile oluşturulan bir adım mastarı ile kalibre edilirken,

dinamik ölçümler için tasarlanmış olan flick standart kullanılmaktadır. Flick standart ve Çoklu dalgaboylu standartlar bu iş için geliştirilmiş ideal ekipman olsa da asıl problem bu standartların izlenebilir olarak kalibrasyonlarının yapılabilmesidir. Çünkü bu işlem için bütün hataları tam olarak belirlenebilmiş olan ve hatta metre'ye izlenebilir referans form ölçme cihazlarına ihtiyaç vardır. Ancak bu işlemi yapabilecek Metroloji Enstitüsü sayısı çok azdır. Bu enstitüler önce kendi form cihazının hatalarını araştırmalı ve bunları tespit edecek yöntemler geliştirmelidirler. Daha sonra ekipmanlarının kalibrasyonunu yapmalı ve bunun ardından diğer (müşterilerin) Metroloji Enstitülerinin kendi form cihazlarının kalibrasyonlarında kullanacakları flick standartların kalibrasyonlarını yapmalıdırlar.

Fakat geliştirilen yöntemlerin teyidi ve doğrulaması için yapılan ve gelişmiş Metroloji Enstitülerinin dahil oldukları bu karşılaştırmada (EURAMET Project 649) [5] elde edilen sonuçlar bu çalışmaların yeterli olmadığını ve farklı enstitülerde geliştirilen yöntemlerin birbiriyle uyumlu olmadığını göstermiştir.

Bunun yanında pürüzlülük ölçüm cihazlarının prob kalibrasyonu için tasarlanmış olan derinlik mastarlarına ait nominal derinlik değerlerinin belirlenmesi öncelikle interferans mikroskop ile veya hataları hassas bir şekilde belirlenmiş ve ayıklanmış pürüzlülük ölçüm cihazları ile yapılmaktadır. Başka bir deyişle, izlenebilirlik, yüzey pürüzlülüğü cihazları tarafından kalibre edilmiş sabit mastarlar vasıtasıyla elde edilmektedir. Diğer enstitüler referans cihazlarını, tıpkı ikincil seviye laboratuvarlarla aynı şekilde, gelişmiş metroloji enstitüleri tarafından kalibre edilmiş mastarlar kullanarak kalibre etmektedirler.

Bu mastarların birinci seviye kalibrasyonu ise (derinlik verilerinin belirlenmesi) gelişmiş metrolji enstitülerinde bulunan interferans mikroskobu ile karmaşık interferometrik yöntemler kullanılarak kalibre edilmesiyle yapılmaktadır. Yalnızca birkaç gelişmiş NMI, gerekli hassasiyet seviyesi için, örneğin 1-10 nm belirsizlik ile 1 mm derinliğe kadar ölçüm yapabilmektedir. Ayrıca bu cihazları kullanmak tecrübe ve bilgi birikimi gerektirmektedir. Fakat endüstrinin gelişmesi ve taleplerin karşılanabilmesi için üretilen yeni cihazların çalışma aralıkları ise 10000 µm veya daha fazla yüksekliklere kadar çıkmaktadır. Bu ise kendi içerisinde izlenebilir ölçüm yapılabilme problemini ortaya çıkartmaktadır.

Bu nedenle, daha az gelişmiş veya gelişmekte olan enstitüler için referans cihazlarının SI birimi metreye izlenebilir ölçüm yapabilme ihtiyaçları vardır. Ayrıca bu güne kadar, alternatif yollar veya derinlik mastarları kullanılması dışında pürüzlülük ölçüm cihazlarının kalibrasyonu için ayrıntılı araştırmalar (özellikle metroloji enstitülerinde referanslar) için herhangi bir yardımcı dokümantasyon mevcut değildir.

Bazı üreticiler referans pürüzlülük cihazları kalibrasyonu için küre mastarlar da kullanırlar. Fakat bu yöntem standartlaştırılamamış bir yöntemdir, bu yüzden sınırlı kullanıma açıktır ve özel yazılımlara ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, bu yöntemin validasyonu henüz tam anlamıyla yapılmamıştır. Ayrıca bu kalibrasyon yöntemini detaylı anlatan dokümanlar mevcut değildir.

Derinlik mastarına ve küre mastarlara alternatif olarak lazer interferometre ile kalibrasyonu yapılmış piezzo nano konumlandırıcılar kullanılmaktadır. Fakat bu çalışma henüz netlik kazanamamış ve kendisini ispatlayamamıştır. Çünkü çalışmanın bilinmeyenleri, abbe hatası, kullanılan piezzo konumlandırıcının uç yüzey düzlemsellik değerinin kullanım sırasında değişmesi vb. gibi etkenlerin araştırılması gerekmektedir.

2000'li yıllarda lazer interferometre ile beraber geliştirilmiş nano mesafe ilerleme cihazlarının çalışma aralıkları 20 µm -50 µm ile sınırlandırılmıştı. Ayrıca geliştirilen cihazların büyüklükleri sebebiyle pürüzlülük ölçüm cihazları ile kullanılmaları mümkün olmamıştır.

Piezo teknolojisinin hızlı gelişimi sayesinde, kapasitif sensörler, lineer enkoderler ile, özel mekanik kılavuzlama sistemlerine sahip kompakt boyutlu yer değiştirme transdüserleri, nm hassasiyetle birkaç milimetre ölçme aralığında çalışabilmektedir.

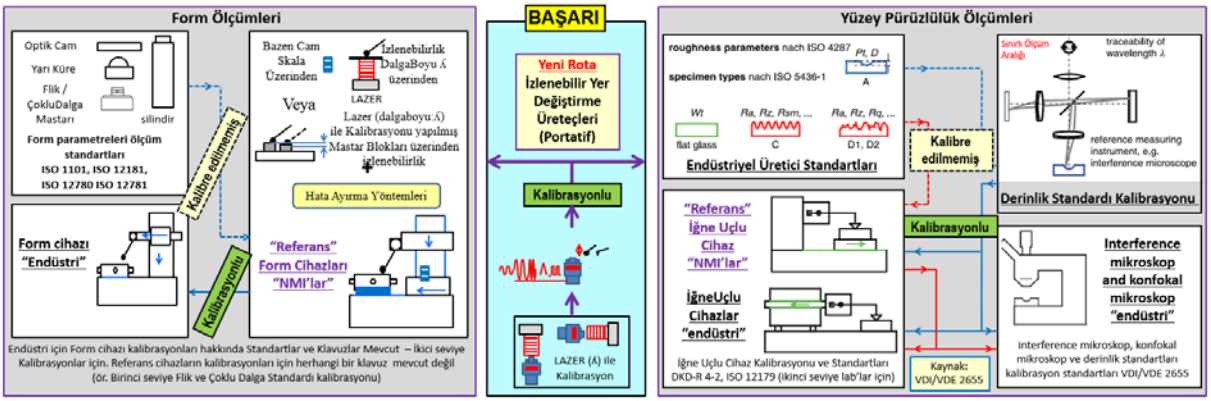
Bu sistemlerdeki kritik hata kaynaklarından biri, interferometrelerin (örneğin 300 nm) çözünürlüğünün, daha düşük çözünürlük (ticari lazer interferometreler için yaklaşık 5 nm) elde etmek üzere bölündüğü zaman meydana gelen enterpolasyon hatalarıdır. Ayrıca yer değiştirme transdüserlerinin uzun dönem

kararlılıkları ile sürüklenme hataları henüz tam olarak çalışılmamıştır. Bu yüzden bu teknoloji henüz prob kalibrasyonlarında denenmemiştir.

Şu anda, birkaç gelişmiş metroloji enstitüsünde, flick standartlarının kalibrasyonu için kullanılacak form ölçüm cihazlarının problarını kalibre etmek amacıyla bir interferometre ile birleştirilmiş eski tip yer değiştirme transdüserlerini kullanmaktadır.

Yukarıda saydığımız sebep ve nedenlerden ötürü gelişmiş ve gelişmekte olan ve daha geniş ölçüm kabiliyetine sahip olan metroloji enstitüleri için, kendisini ispatlamış, fazla maliyet gerektirmeyen yeni kalibrasyon yöntemlerinin ve kalibrasyonda kullanılabilecek standartların geliştirilmesi gerekmektedir.

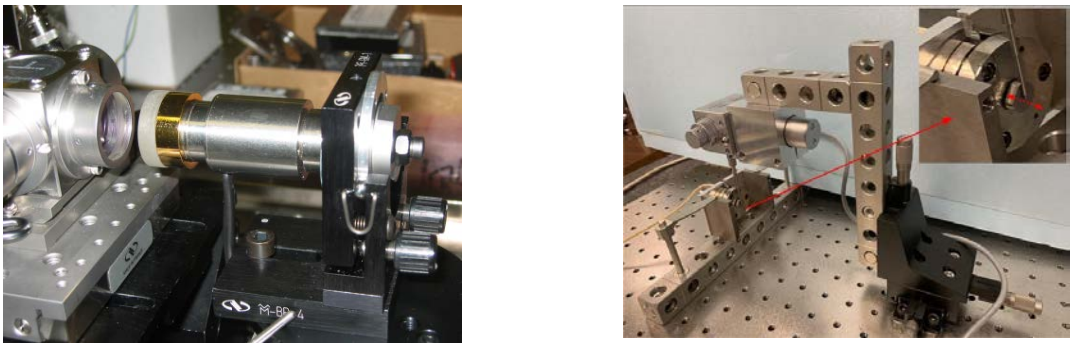
Bu yüzden TÜBİTAK UME mevcut standartlara alternatif olacak, izlenebilirliği doğrudan metrenin tanımından kolayca alabilecek, cihaz ölçüm aralığının tümünü kesintisiz bir şekilde tarayabilecek metodlar üzerine çalışmak üzere Avrupa Birliği (AB) Metroloji Araştırma ve İnovasyon Programına çok uluslu ortak bir proje önerisi sunmuş ve Kasım 2018 de savunmasını başarıyla gerçekleştirerek projenin AB'den desteklenmesini sağlamıştır. Toplam 10 proje ortağı ülkenin katıldığı, 18RPT01 ProbeTrace kısa isimli projenin koordinatörlüğünü yapacak TÜBİTAK UME, lazer ile kalibrasyonunu yaptığı nano sensör ve nano mesafe ilerleme cihazları kullanarak, probların statik kalibrasyonlarının yanında, dinamik performanslarını da inceleyecektir. Çıktılar arasında EURAMET (Avrupa Metroloji Birliği) rehber dokümanlarının yazılması olan proje sonunda, gelişmekte olan ulusal metroloji enstitüleri ve ikinci seviye laboratuvarların bu özel standartlarının kalibrasyonu için izlenebilirliği kendi üzerlerinden sağlaması beklenmektedir.



Şekil 15. Form ve Pürüzlülük ölçüm cihazları mevcut kalibrasyon teknikleri ve hedeflenen yöntemler

Proje, SI birimine doğrudan izlenebilirlik sağlayacak yeni yollar ve yeni metotlar bulmaya çalışacak, sabit nominal değerlere sahip mastar blok kullanmak yerine, 10 nm'den daha iyi bir belirsizlikle izlenebilirliği sağlanabilen, ölçüm aralığı boyunca kesintisiz ölçüm yapabilen, taşınabilir yer değiştirme jeneratörlerini kullanarak referans cihazları kalibrasyonlarının yapılmasına olanak sağlayacaktır. Böylece derinlik mastarlarındaki gibi probun çalışma aralığında sadece birkaç aralık için ölçüm alınması yerine, çalışma aralığının tamamı taranarak aynı zamanda kesintisiz ölçüm alınması ve daha geniş, +/- 1000 µm gibi, bir aralık için çalışma imkanı olacaktır. Böylece kalibrasyonu yapılan cihazın hata tespiti daha iyi yapılmış ve daha çok bilgi edinilmiş olacaktır.

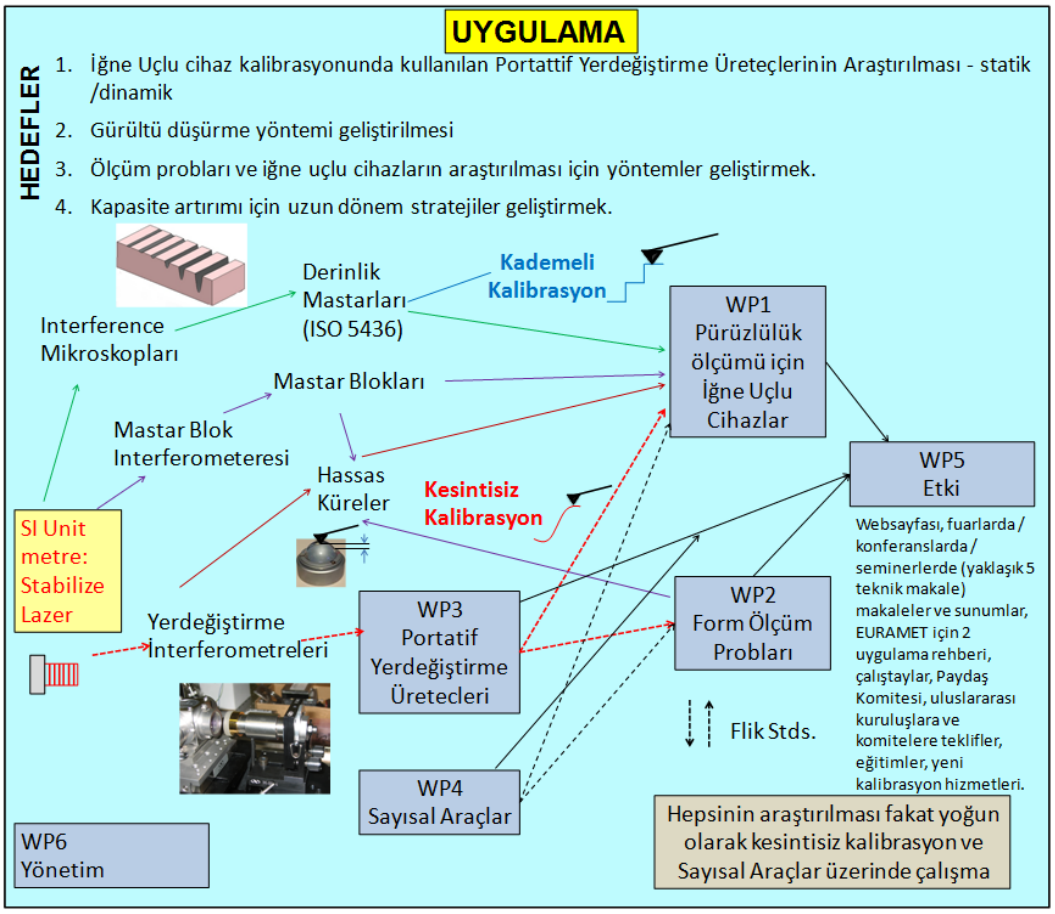
Ayrıca bazı pürüzlülük cihazlarında kullanılan küre standartları için ise her cihazda kullanılabilecek ve kullanıma açık bir yazılım ve yöntem geliştirilmeye çalışılacaktır. Böylece standart bir alternatif uygulama elde edilmiş olacaktır.



Şekil 16. Taşınabilir yerdeğiştirme jeneratörleri.

Yapılan çalışma sonucunda alternatif kalibrasyon yöntemleri geliştirilmiş olacaktır. Ayrıca yapılan çalışmada lazer interferometre içermeyen fakat lazer interferometre ile kalibrasyonu yapılan yer değiştirme transdüserlerinin kullanılmasına imkan sağlanmış olacaktır. Böylece pürüzlülük cihazları kalibrasyonda derinlik mastarları yerine kullanılabilecek alternatif cihazlar geliştirilmiş olacak.

Mevcut ölçüm sistemlerinde, yüzey pürüzlülüğü ve form ölçümlerine gürültü azaltma yazılımları uygulanmamaktadır, bunun yerine, ISO 3274'e [6] göre uygun bir filtreleme işlemi uygulanmaktadır. Ölçüm profilleri üzerinde rastgele oluşan gürültüyü azaltma programları üzerindeki çalışmalar Han Haitjema [7] tarafından uygulanmıştır. Fakat yüzey ve form ölçümleri için henüz bir çalışma yapılmamıştır.



Şekil 17. Proje 18RPT01ProbeTrace Uygulama planı.

Projede geliştirilecek olan yazılım ile ölçümlere etki eden rastgele gürültünün azaltılması için sayısal yöntemlerin geliştirilmesi ile belirsizliğe etki eden parametreler azaltılmış olacak ve bu şekilde belirsizlik bütçesindeki en büyük parametresi düşürülmüş ve genel belirsizlik değeri azaltılmış olacaktır.

7. SONUÇ

Yüzey pürüzlülüğü ve form ölçüm cihazlarında yapılan ölçümlerin güvenilirliği için kullanılan kalibrasyon referans standartları ve bunların kalibrasyonu için mevcut durum analizi yapıldıktan sonra problemler hakkında kısa bilgilendirme yapılmıştır. Eylül 2019 da başlayan, TÜBİTAK UME tarafından yürütülen 10 ülkeden proje ortağının katıldığı 18RPT01 ProbeTrace projesinde yapılacak çalışmalar ile bu sorunların nasıl giderileceği anlatılmıştır. Verilen bilgiler sayesinde, proje web sayfasını takip edilerek, katılımcıların araştırma sonuçlarına nasıl ulaşacağı aktarılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] 18RPT01 ProbeTrace projesi" Traceability for contact probe and stylus instrument measurements", https://www.euramet.org/research-innovation/research-empir/empir-calls-and-projects/
[2] Aksulu M., Ganioğlu O. ve Yandayan T., "Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri ve Yüzey Pürüzlülük Parametreleri," IV. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 165-172, Eskişehir, Makine Müh. Odası, 25-26 Ekim 2001.
[3] Delibaş B. ve Yandayan T. "Form hataları ve önemi", Üretimde Kalite Dergisi, Aralık 2000.
[4] Delibaş B. ve Yandayan T. "Yeni form ölçüm parametreleri ve standartları," IV. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 184-195, Eskişehir, Makine Müh. Odası, 25-26 Ekim 2001.
[5] Jusko O, Bosse H, Flack D, Hemming B, Pisani M and Thalmann R 2012 A comparison of sensitivity standards in form metrology: Final results of the EURAMET project *649.* Meas. Sci. Technol. 23 054006.
[6] ISO 3274:1998 Geometric product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Nominal characteristics of contact (stylus) instruments. Published 15/05/1997
[7] H. Haitjema, M.A.A. Morel "Noise bias removal in profile measurements", Measurement 38 (2005) 21-29

ÖZGEÇMİŞ

Okhan GANİOĞLU

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1996 yılında Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1996-1997 yılları arasında özel bir firmada Arazi Ölçüm Cihazları konusunda teknik servis personeli olarak çalışmıştır. 1997 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. 1999-2012 Yılları arasında Laboratuvar sorumlu vekili olarak görev yapmıştır. 2012 - 2016 yılları arasında Boyutsal Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmıştır. 2005 yılında uzman araştırıcı, 2012 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. 2009 - 2011 yılları arasında TURKAK Ölçme Tekniği ve Kalibrasyon Sektör Komitesi'nde görev almıştır. 2012 - 2016 yılları arasında EURAMET Uzunluk Teknik Komitesinde (TC-L) ve Uzunluk Danışmanlar Komitesi (CCL) Boyutsal Çalışma Gruplarında (WGDM) ülkemizi temsil etmiştir. 2000 yılından beri aktif olarak TURKAK akreditasyon denetimlerinde görev almaktadır. Eylül 2019 tarihi itibarı ile TUBİTAK-UME'den emekli olarak ayrılmıştır. Şuan serbest danışman ve eğitmen olarak çalışmaya devam etmektedir.

Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, ‘CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü’ konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, Mart 1997'de mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME’de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürüten Tanfer Yandayan, dönem dönem UME Mekanik Grup Koordinatörlüğü yapmıştır. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarını hazırlamış ve yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK’ın oluşumu sırasındaki çalışmalarda yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuar akreditasyonu denetimlerine katılmış ve TÜRKAK sektör komitesinde uzun süre görev yapmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2008-2012 ve 2012-2016 yılları arasında Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini Avrupa Komisyonu raporunu hazırlamış ve uyumlaştırma çalışmalarında bulunarak AB çerçeve programları kapsamında 2 adet proje tamamlamıştır. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME’ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği bu projenin koordinatörlüğünü yapıp tamamlamıştır. Çok sayıda uluslararası konferanslara ve kurumlara davetli konuşmacı olarak katılan Tanfer Yandayan, yabancı akreditasyon organizyonlarının daveti üzerine eğitimler, danışmanlıklar vermekte ve laboratuvar akreditasyon denetimlerine katılmaktadır. Aynı zamanda akademik çalışmalarına devam eden Tanfer Yandayan, Gebze Teknik Üniversitesinde "Mekanik Ölçüm Prensipleri", Sabancı Üniversitesinde "İmalat Metrolojisi" yüksek lisans derslerini vermektedir. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan Tanfer Yandayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, mastar blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır

Murat AKSULU

1990 yılında İTÜ Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Lisans derecesi, 2008 yılında Doktora derecesi almıştır. 1996 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 yılında uzman araştırıcı, 2013 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. Ana çalışma konusu Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve Form ölçümleridir. Boyutsal metroloji alanında çeşitli Avrupa birliği projelerinde, Tübitak 1001 projesinde ve Tübitak iç projelerinde çalışmıştır. Halen boyutsal laboratuarında başuzman araştırıcı olarak çalışmaktadır

FORM ÖLÇÜM CİHAZI PROBLARININ PRİMER ÖLÇÜMLERDE KULLANILMASI İÇİN ELEKTRONİK ÜNİTELERİN İNCELENMESİ VE KALİBRASYONLARI

Halit DEMİRBAĞ
Cihangir KAYADELEN
Tanfer YANDAYAN
Okhan GANİOĞLU
Murat AKSULU
Hüseyin Metin ERTUNÇ
Nihat AKKUŞ

ÖZET

Bu makalede, form ölçümü amacı ile kullanılan indüktüf probların performansının iyileştirilmesi ve primer seviye ihtiyaçları karşılaması için yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Zamana göre parça yüzeyinden veri toplayan ve bu verileri inceleyen form ölçüm cihazlarında veya tarama özelliği olan CMM cihazlarında kullanılan indüktüf probların form ölçüm performansını incelemek önemlidir. Özellikle Endüstri 4.0 uygulamalarında parça yüzeyinden hızlı ve kısa zamanda yeterli sayıda veri toplamak daha da önemli hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, iki farklı tip indüktüf probun, farklı elektronik üniteler ile kullanılarak performans incelemeleri yapılmıştır. Elektronik ünitelerden alınan probların DC gerilim çıkışları, hızlı Anolog-Dijital (A-D) dönüştürücü ile bilgisayara LabView tabanında yazılmış bir program ile aktarılarak veriler işlenmiştir. Nano sensörlü izlenebilir Piezo aktüatör yardımı ile prob kalibrasyonları 5 nm'den daha iyi belirsizliklerle yapılmış; kalibrasyon eğrileri ve bu eğrilerin değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Üretici firma tarafından verilen elektronik çözünürlükler, 10-100 kat arasında iyileştirilmiş (10 nm'den 1 nm ve 0,1 nm'ye kadar), mevcut çözünürlükle tespit edilemeyen prob hataları tespit edilmiş ve incelenmiştir. Çalışmada, indüktüf probların ±5 µm ölçüm aralığında, ±1 nm içinde doğrusal olarak çalışabileceği gösterilmiştir. Çalışma TÜBİTAK UME tarafından primer seviyede form ölçümü yapan form cihazları projesinin (EURAMET EMPIR Project 18RPT01ProbeTrace) bir parçası olup, indüktüf probların çalışma prensibi, statik ve dinamik kalibrasyonu ve performansı hakkında önemli ve özgün bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İndüktüf prob, Form ölçümü, Prob kalibrasyonu, boyutsal ölçümler.

ABSTRACT

In this study, the experimental work carried out for improvement of inductive probes used in form measuring machines in order to answer the primary form measurement demands is described. Two different inductive probes integrated with different electronic units were investigated. DC probe signals taken from the electronic units are processed in the PC through fast AD converters with help of LabView based software. The probes were calibrated using a traceable piezo actuator fitted with nanosensors in the uncertainties better than 5nm. The probe calibration curves and their evaluation was carried out. The resolution values were improved 10-100 times better than the original manufacturer values. In this way, probing errors that was previously impossible to detect was investigated. The work is one part of the research work in TUBITAK UME regarding to primary form measurement devices and present valuable and orginal information for inductive probes, their static and dynamic performance with help of experimental results.

Key Words: Inductive probes, form measurements, probe calibration, dimensional measurements

1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen iş parçalarının yüzey yapıları ve form parametreleri, imalat, mühendislik ve Ar-Ge araştırmaları için incelenmektedir [1, 2]. İmalat sürecinde, üretim tezgâhlarındaki hatalar, parça yüzeylerinde parçaların istenilen formda üretilmesini engeller. Örneğin tornalanmış bir yüzey, ideal bir daire şeklinde üretilemez. Bu tip üretim hatalarının yüksek olması parçaların çalışma fonksiyonunu etkiler. Bu sebeple form hataları, talep edilen tolerans değerleri altında tutulur. Tolerans değerlerini kontrol etmek amacıyla, dairesellik, doğrusallık, paralellik vb. gibi form parametrelerinin ölçümünün yapıldığı form ölçme cihazları kullanılır. Bu cihazlar üretim hattında kullanıldığı gibi, bazen referansların ölçümü için laboratuvarlarda da kullanılmaktadır.

Form cihazlarında belli çalışma tolerans değerleri vardır. Cihazların bu değerleri sağlayıp sağlamadığı kalibrasyonları yapılarak kontrol edilir. Bu amaçla form ölçüm cihazı kalibrasyon standartları kullanılır. Bu standartların kalibrasyonu, birincil (primer) seviyede, TÜBİTAK UME gibi ulusal metroloji enstitüleri tarafından gerçekleştirilir.

Ulusal metroloji enstitülerinin görevi bu özel referans standartların kalibrasyonunu yaparak izlenebilirliği sağlamaktır [3]. Bunun için iki yol vardır; (1) başka bir ulusal metroloji enstitüsü tarafından kalibre edilmiş benzer referans standartları kullanıp özel referansları kalibre etmek veya (2) birincil (primer) seviyede ekipmanlar kullanarak kalibrasyonunu yaptıkları referans cihazları ile özel referansları kalibre edip ülke içinde izlenebilirliği kendi ulusal metre standardı üzerinden sağlamaktır.

TÜBİTAK UME primer seviyede bu işlemleri yapabilmek için, toplam 10 ülkeden oluşan bir Avrupa birliği projesini koordine etmek üzere almıştır. 18RPT01 ProbeTrace kısa isimli projede lazer interferometre ile kalibrasyonunu yapılan nano sensör ve nano mesafe ilerleme cihazları kullanarak, probların statik kalibrasyonlarının yanında, dinamik performanslarını da inceleyecektir [4].

Zamana göre parça yüzeyinden veri toplayan ve bu verileri inceleyen form ölçüm cihazlarında veya tarama (ölçüm süresince yüzey üzerinden prob teması kesilmeden yapılan ölçüm) özelliği olan CMM cihazlarında kullanılan indüktüf probların performansı form ölçümleri için önemli olup, Endüstri 4.0 uygulamalarında parça yüzeyinden hızlı ve kısa zamanda yeterli sayıda veri toplamak için de önem arz etmektedir.

Çalışmamızda bu primer form ölçüm cihazı problarının arzu edilen seviyede kullanılması için farklı elektronik üniteler, farklı problar ile kullanılarak incelendi. Bazı ilave devre imalatı ve eklemeleri yapıldı. Elektronik ünite üzerinden gelen prob verilerin bilgisayar ortamına farklı hızlarda aktarılması ve değerlendirilmesi gerçekleştirildi. Buradaki amaç, mevcut form ölçüm cihazımızda kullanılan, Mahr TW6 form cihazı probunu istenilen bir elektronik ünite ile eşleştirerek, hedef olarak verilen 5 nm altında hassasiyetle çalışmasını sağlamaktır.

İlk olarak problardan gelen mekanik verileri, elektronik sinyallere çevirmek için elektronik üniteler araştırıldı ve tespit edildi. Farklı elektronik üniteleri farklı problar ile uyumlaştırılarak, probların çalışması sağlandı. Probların ilerlemesi sonucu oluşan gerilim değişim değerleri, National Instruments'ın hızlı A/D dönüştürücüsü (NI USB-4431) ile bilgisayara LabView yazılımı kullanılarak aktarıldı ve yazılım ile işlenerek mesafe verilerine çevrildi. Doğru çevirmenin yapılabilmesi için prob ve elektronik ünite çiftlerinin referans piezo-actuator transdüserler (PZT) kullanarak kalibrasyonları yapılarak kalibrasyon eğrileri bulundu.

Yapılan çalışma ile Mahr TW6 probu için arzulanan sonuçlar alınamaz iken, TESA GT22 probu için hedeflenen sonuçlara erişilmiştir. 10 nm çözünürlüklü GT22 probu; prob çözünürlüğü 0,1 nm'ye indirilmiştir. Ayrıca gerek statik gerekse dinamik ölçümlerde, 5 nm altında doğruluk değerlerine ulaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamında alınan test sonuçları, elde edilen gürültü değerleri, bunların prob performansı üzerindeki etkileri ve prob ile yapılacak statik ve dinamik ölçümler için doğruluğunun çıkarılması makalede anlatılmaktadır.

2. FORM ÖLÇÜM CİHAZLARI

Yuvarlaklık ölçümü yapan form ölçme cihazlarında, döner bir milin dönme ekseni referans olarak alınıp, iş parçası üzerinden, kısa mesafe ölçümü yapan bir prob ile iş parçası üzerindeki yarı çap değişimleri ölçülür. Bu işlemi yapan form veya yuvarlaklık ölçme cihazları iki temel prensiple çalışır. Döner mil üzerine yerleştirilen iş parçası döner mil merkezine göre ayarlandıktan (eşmerkezlik ve tilt ayarları ile döner tabla ekseni ile parça ekseni çakıştırılır) sonra döndürülür ve sabit bir prob ile parça yüzeyinden, parça yüzeyinden probun teması kesilmeden, yarıçap değişimi verileri alınır. Diğer bir yöntemde ise parça sabit tutularak, prob ünitesi döner mil ile döndürülerek aynı işlem yapılır. Genelde indüktüf problar kullanılarak yapılan bu işlemde (kısa mesafe ölçümleri), yuvarlak parçaları yarıçap değişimleri küçük olduğundan, probun ölçme aralığının +/-20 µm olması yeterlidir. Bu tip form ölçme cihazları için örnek modeller, **Şekil 1**'de gösterilmektedir.

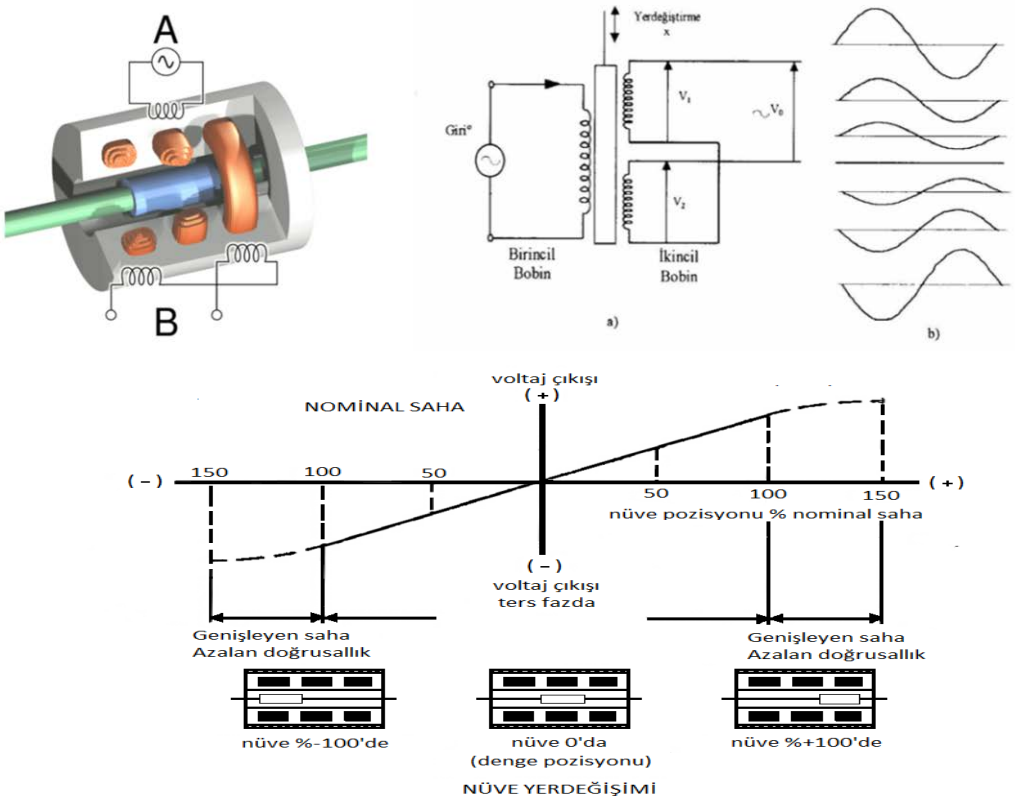
(a) Prob sabit, parça döner (b) Parça sabit, prob döner

Şekil 1. Form ölçüm cihazı tipleri

Form ölçüm cihazlarının doğru çalıştığından emin olmak için, kalibrasyonlarının yapılması gerekir. Kalibrasyon sırasında, referans döner tablanın ne kadar yuvarlak döndüğünün tespiti haricinde, yarıçap değişimlerini algılayan probun da bu işlem sırasında doğu çalışıp çalışmadığının kontrolü gerekir. Bu işlem iki şekilde yapılır: statik ve dinamik kalibrasyon. Statik kalibrasyonda, probun mesafe değişimleri doğru tespit edip etmediğini kontrol edilirken, dinamik kalibrasyonlarda, döner durumda hıza bağlı olarak ne kadar doğru veri aldığı (yarıçap değişimlerini tespit ettiği) dinamik olarak ölçülür. Prob olarak en çok indüktüf prensibe göre çalışan problar tercih edilmektedir.

2.1 İndüktüf problar (LVDT) ve çalışma prensipleri

Doğrusal değişen fark dönüştürücüler (Linear Variable Differential Transformer-LVDT) ortak indüktans prensibine göre çalışan sensörlerdir [5] (**Şekil 2**). Yapısı itibarıyla, birincil ve ikincil iki bobinden (sargılardan) oluşur ve bu bobinlerin ortasında nüve olarak, ferromagnetik bir malzemeden rod şeklinde yapılmış, demir çubuk kullanılır (**Şekil 2 (a)**). Bu nüve, bobinler arasında manyetik akı yolu sağladığı için, nüvenin pozisyonu ortak indüktans vasıtasıyla, çıkış gerilimlerini kontrol etme imkânı vermektedir. Birincil bobine bir AC gerilim uygulandığı zaman, ikincil bobinde bir gerilim indüklenir. Bu gerilimin genliği ve yönü, nüvenin konumuna göre değişmektedir (**Şekil 2 (b)**). Eğer nüve ortadaysa her iki ikincil bobinde ihmal edilebilecek kadar çok küçük bir atık (residual) gerilim dışında, herhangi bir çıkış alınamaz. Nüve hareket ettirilerek ikincil bobinden birine yaklaştırılıp diğerinden uzaklaştırılırsa, nüvenin yaklaştığı bobinde çıkış gerilimi artarken diğerinde aynı oranda azalmaktadır. **Şekil 2. (c)**'de görüldüğü gibi, denge pozisyonunun her iki tarafında düzgün bir doğrusal çıkış elde edilmektedir. İndüktif probların doğrusallığını arttırmak için sinyal işleme devreleri (signal conditioning circuits) ile uyumlu olması gerekmektedir.



Şekil 2. İndüktüf prob çalışma prensibi [5]

2.2 LVDT Sinyal İyileştirme Devresi (Signal Conditioning Circuit)

Sinyal iyileştirme devreleri, indüktüf probların birincil bobinleri için analog AC besleme gerilimi üretir ve ikincil bobinlerden çıkış AC sinyalini alarak; yükseltme (amplifiying) ve filtreleme yaparak çıkış sinyalini DC gerilime çevirir. Diğer bir ifadeyle, indüktif probun merkezindeki demir nüvenin yer değiştirmesine göre doğrusal DC çıkış gerilimi üretir **(Şekil 2. (c)).** Bu sayede çıkış sinyalini doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini arttırır. LVDT sensörü ile sinyal iyileştirme devresi ne kadar uyumlu çalışırsa probun hassasiyeti aynı oranda artar.

3. KULLANILAN İNDÜKTÜF PROBLAR VE ELEKTRONİK ÜNİTELER

Farklı iki prob ile iki 2 farklı elektronik ünite kullanılarak performanslar incelenmiştir. Bu çalışmada amaç, form ölçüm probu için orjinaline yakın, hatta gürültüsü daha iyi fakat çok hızlı veri alınabilecek elektronik ünitenin tespit edilmesidir.

3.1 Prob/Elektronik Ünite çiftleri

Farklı problar ile farklı sinyal işleme devreleri (amplifier) birlikte kullanılarak, devreler ile probların uyumu ve mesafe ölçüm performansları bu çalışmada incelenmiştir. İncelenen prob ve sinyal işleme devre çiftleri aşağıda sıralandığı gibidir.

1. Prob:Mahr MMQ 40, TW6 prob ve elektronik ünite: LVM-110 devresi
2. Prob:Mahr MMQ 40, TW6 prob ve elektronik ünite: TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404)
3. Prob:TESA GT-22 Prob ve elektronik ünite: TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404)

Probları farklı devrelerle kullanabilmek için probları orjinal elektronik üniteleri ile çalıştırıp sinyal alışverişini gözlemleyerek (veri akışını ölçerek), operasyon parametreleri tespit edilmiştir. Parametreler ve ilgili prob / elektronik ünite çiftleri **Şekil 3'**te verilmiştir.

Mahr TW6 prob

LVM-110 + El yapımı amplifier

±13.5 Volt (DC) → ±100µm

TESAMODUL Unit 372

±0.4 Volt (DC) → ±100µm

(a) Mahr TW6 prob ve Elektronik Üniteler

TESA GT22 prob

TESAMODUL Unit 372

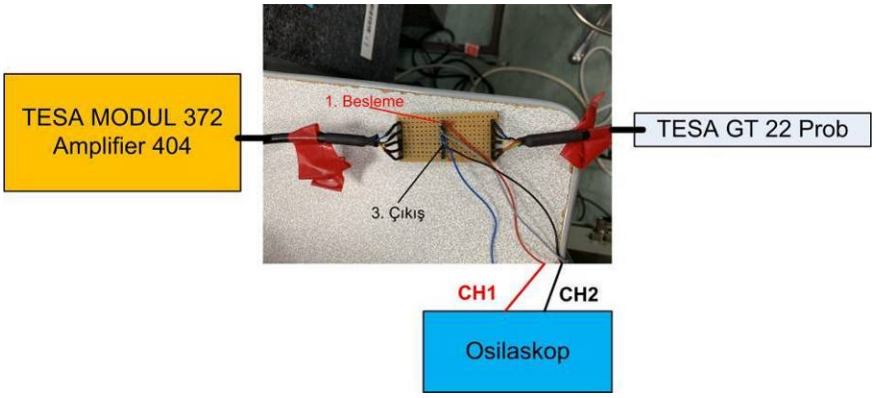
±1 Volt (DC) → ± 20µm

b) TESA GT22 prob ve Elektronik Üniteler

Şekil 3. İncelenen İndüktüf prob ve Elektronik ünite çiftleri

3.2 Prob/Elektronik Ünite çiftlerinin çalışma parametrelerinin tespiti

Farklı probları farklı elektronik üniteler ile kullanabilmek için, elektronik ünitelerin bağlantı ve çalışma parametrelerinin tespit edilmesi gerekmekteydi. Ancak bu konuda üretici firmalar, ticari kaygılardan ötürü, bilgi vermeyi tercih etmemektedirler. Fakat çalışma sırasında bağlantı aralarına girerek ve sinyaller dinlenerek bağlantı için gerekli parametreler tespit edilmiştir. MMQ40 TW6 probunun besleme ve çıkış sinyal parametreleri bağlantı aralarına girilerek ölçülmüştür. Aynı yol izlenerek benzer çalışma bağlantı devresini Tesa GT 22 Probu için yapılmıştır **(Şekil 4).** Ölçüm sonuçları **Şekil 5'de** görüldüğü gibi osiloskop yardımıyla gözlemlenmiştir. **Şekil 5. (a)**'daki osiloskop ekranında besleme (üstteki) ve çıkış (alttaki) sinyalleri gözlemlenmektedir. **Şekil 5. (b)** ise indüktif pronun ortasındaki nüvenin merkeze yaklaştığındaki anda çıkış sinyalinin nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 4. TESA GT22 probunun orjinal Elektronik ünitesi ile bağlantısının izlenerek, giriş ve çıkış parametrelerinin tespiti

(a) (b)

Şekil 5. TESA GT-22 Prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404) ile kullanımı sırasında giriş besleme- CH1 ve çıkış değerleri-CH2 (a) Prob maksimum ilerlemede (nüve uzakta) (b) Prob sıfır konumuna yakın (nüve merkezde)

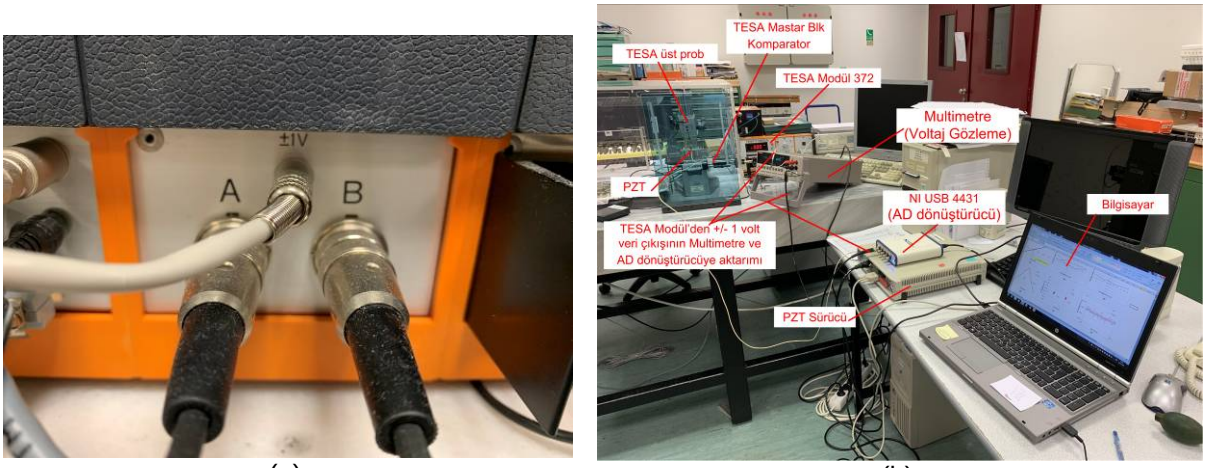
Tablo 1. Problar için elektronik üniteler ve besleme parametreleri

Sinyal İşleme Devresi	Mahr MMQ40 form Cihazı (Orijinal Elektronik Unite)	LVM-110	TESA MODUL 372 Amplifier 404
Besleme Frekansı	20 kHz	10 kHz	10 kHz
Besleme sinyali voltajı (AC) Tepeden Tepeye (PV)	7,60 volt	10 volt	9 volt

3.3 Prob/Elektronik ünitelerinden alınan DC voltaj çıkışların hızlı bir şekilde bilgisayara aktarımı

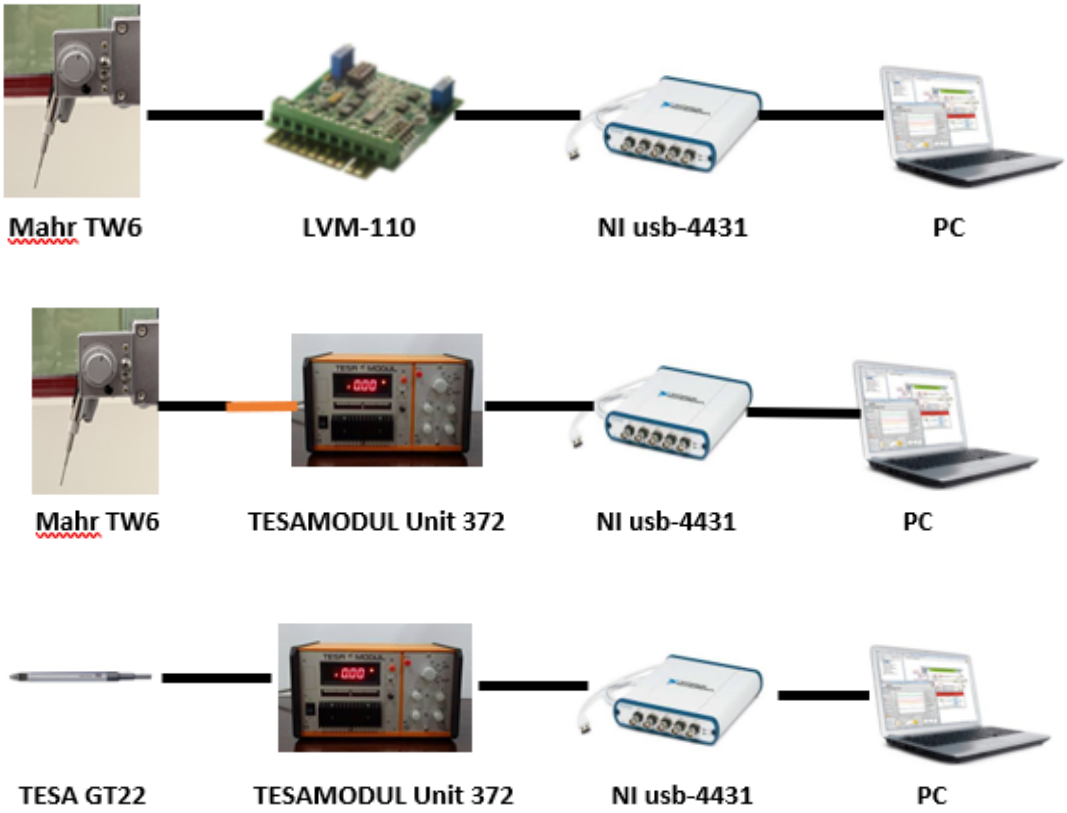
Form ölçüm cihazlarında kullanılan problar, ölçümün hızlı olması sebebiyle, hızlı veri almak durumundadır. Çünkü bu cihazlar dönen bir parça üzerinden sürekli veri toplar ve bu verileri analiz eder. Bu sebeple elektronik ünitelerden alınan DC sinyalleri Analog/Dijital (AD) dönüştürücü kullanarak, bilgisayar ortamına alınır. İş parçasının dönme hızına ve form ölçüm standartlarındaki verilere dayanarak 1 turda (12 saniyede) 3600 veri alınabilmesi için en az 300 Hz örnekleme hızına ihtiyaç vardır. Fakat bu çalışmada alınan ölçüm örneklerinin fazla sayıda alınıp hesaplamalarda ortalama değerin kullanılabilmesi için daha hızlı veri alınmıştır. Bu amaçla örnekleme frekansı maksimum 112 kHz olan bir National Instruments'ın AD dönüştürücüsü (NI USB 4431) kullanılmıştır. **Şekil 6** ve **7** de prob sinyalinin bilgisayara aktarımını gösteren şemalar bulunmaktadır.

TESAMODUL Unit 372 aslında, endüstride yaygın olarak kullanılan referans mastar blok kalibrasyonun için üretilmiş mastar blok komparatöründe kullanılmakta olup, en iyi 0,01 µm çözünürlük ile prob sinyalini işlemektedir. İşlenen sinyaller, mastar blok kalibrasyonu için bilgisayara RS232 ile aktarılır. Bu çalışmada TESAMODUL Unit 372 arkasında bulunan, ±20 µm değere karşılık gelen ±1 Volt (DC) analog çıkış sinyali, işlenerek 0,1nm çözünürlüğe ulaşılmıştır. **Şekil 6.** da TESAMODUL Unit 372 analog çıkışı ve kalibrasyon kurulumu gösterilmektedir.



(a) (b)

Şekil 6. Elektronik Unite prob bağlantı fotoğrafları (a) TESAMODUL Unit 372 arkasında bulunan, ±20 µm değere karşılık gelen ±1 Volt (DC) analog çıkış (b) ±1 Volt (DC) analog çıkış sinyalin işlenmesi için düzenek.



Şekil 7. Farklı elektronik ünitelerden alınan prob sinyallerinin bilgisayara şematik aktarımı

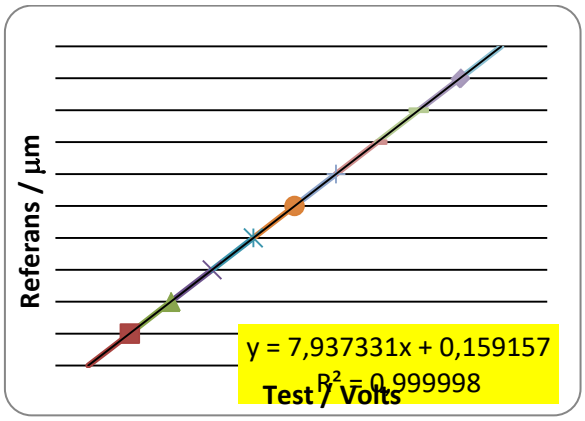
4. PROB KALİBRASYONU

İndüktüf problar çoğu zaman mastar bloklar ile kalibre edilirler. Bu işlemde mastar blokların tam olarak konumlandırılamaması ve sıcaklık etkileri sebebiyle (mastar değiştirme sırasında) kalibrasyon belirsizliği artmaktadır. Alternatif olarak nanosensörlü piezo aktuatör transdüsörler kullanılabilmektedir.

Probtan alınan voltaj değerleri, bu değerlere karşılık gelen referans mesafe değerleri ile ilişkilendirilme işlemine probun kalibrasyonu adı verilir. **Şekil 8**'de prob sinyali gerilim değerlerinin, mesafe değerleri cinsinden nasıl elde edildiği gösterilmektedir. Elde edilen denklemde "*x*" yerine prob devresinden okunan gerilim değeri konulduğunda, probun ilerleme değeri uzunluk birimi mikrometre cinsinden "*y*" değeri hesaplanarak bulunur.

PZT (mikron)	Probe Volts	Probe Mikron
-5.0000	-0.6498	-4.9985
-4.0000	-0.5230	-3.9919
-3.0000	-0.3985	-3.0042
-1.9999	-0.2722	-2.0012
-1.0000	-0.1463	-1.0025
0.0001	-0.0207	-0.0053
1.0001	0.1059	0.9998
2.0001	0.2315	1.9967
3.0001	0.3580	3.0007
4.0001	0.4846	4.0057
5.0001	0.6100	5.0012

(a)

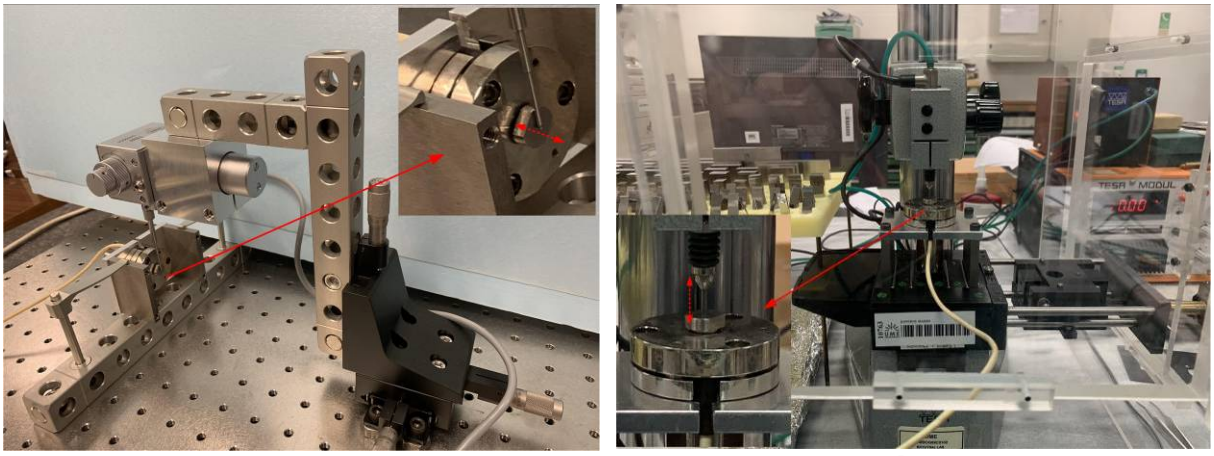


(b)

Şekil 8. Prob kalibrasyon eğrisi ve denkleminin çıkarılması (a) Voltaj – mesafe kalibrasyon tablosu (b) Voltaj – mesafe kalibrasyon eğrisi ve denklemi

4.1 Prob kalibrasyonu; prob/elektronik ünite çiftlerinin incelenmesi için düzenekler

Probların kalibrasyonu için daha önce lazer interferomotre kullanılarak kalibrasyonu yapılmış, Digital Piezo Aktuatör/Transdusör (PZT), (Quensgate NPS serisi) [6] kullanılmıştır. PZT ile ±5 µm lik ölçüm aralığında 0,1nm çözünürlük, 5 nm belirsizlikle istenilen adımlarda izlenebilir mesafe üretilebilmektedir. **Şekil 9**'da probların PZT ile kalibrasyonu gösteren düzenekler bulunmaktadır.



(a) (b)

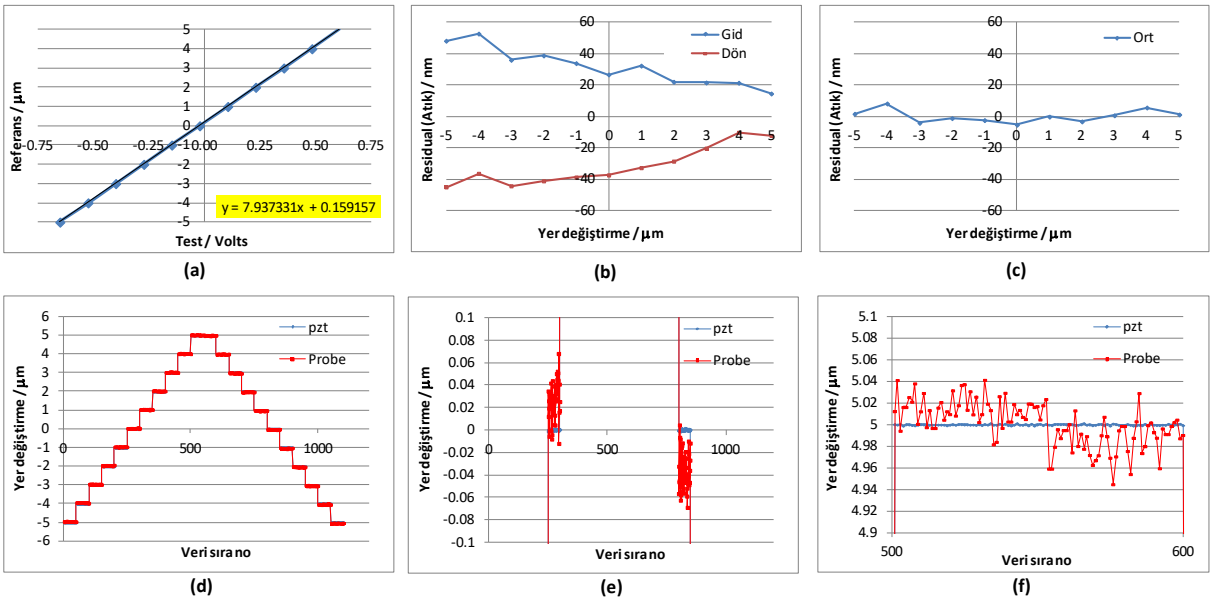
Şekil 9. Prob Kalibrasyon düzenekleri (a) Mahr TW6 probu kalibrasyonu, (b) TESA GT22 prob (TESA UPC Mastar Komparatörü üzerindeki üst prob) kalibrasyonu

4.2 Prob kalibrasyonu; prob/elektronik ünite çiftlerinin incelenmesi, statik kalibrasyon sonuçları

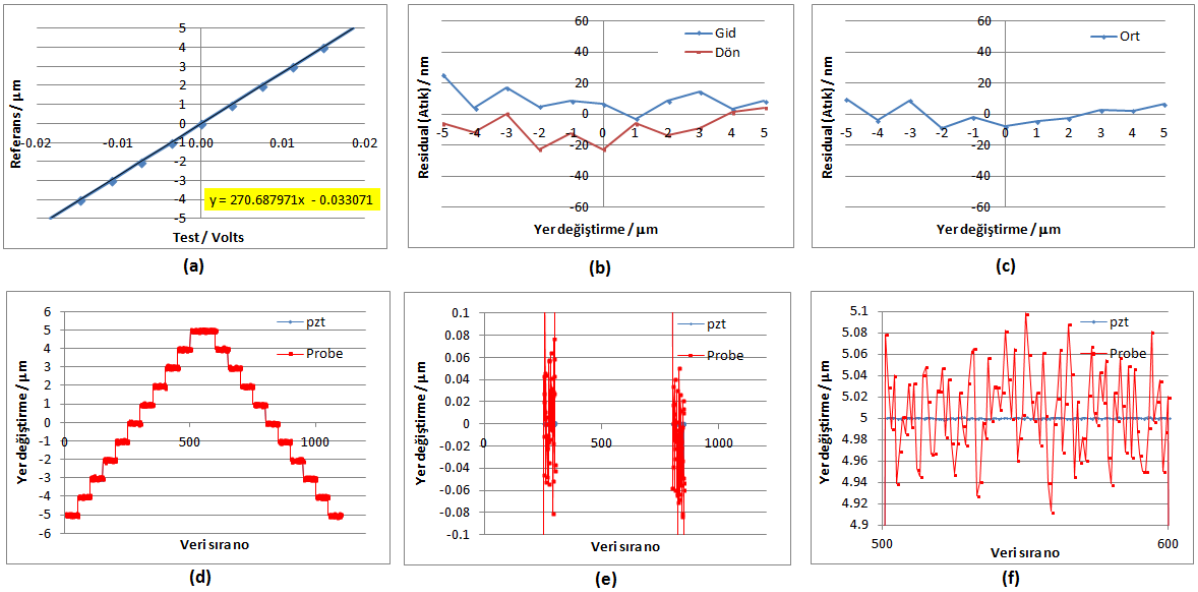
Çalışmada aşağıda listelenen prob-elektronik ünite çiftleri kalibrasyonu yapılmıştır.

1. Mahr MMQ 40, TW6 prob / LVM-110 devresi + İlave el yapımı Amplifier
2. Mahr MMQ 40, TW6 prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404)
3. TESA GT-22 Prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404)

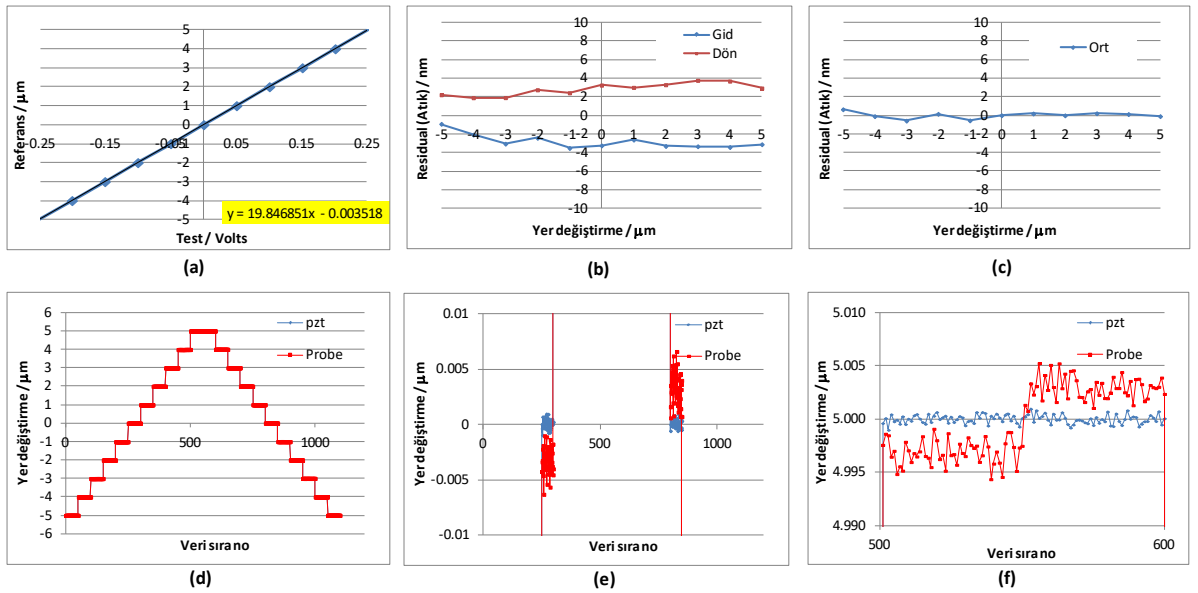
Şekil 10-13'te bu prob/elektronik ünite çiftleri ile alınan kalibrasyon ölçüm sonuçları bulunmaktadır. Her birinde benzer şekilde (a-f) şıkları arasında sonuçlar verilmiştir. Probtan okunan voltaj değerleri (test) ile PZT'den okunan referans mesafe değerleri (mikrometre) ilişkilendirilmiş ve kalibrasyon eğrisine, lineer bir denklem uydurularak, gerilim değerlerine karşılık gelecek mesafe değerleri mikrometre olarak hesaplanmıştır. Bu durum şekillerin (a) kısmında verilmiştir. Bu denklemin ne kadar doğru çalıştığı tespit etmek için, denklem kullanılarak aynı gerilim değerleri ile prob için mesafe değerleri bulunmuş ve referans değer olan PZT değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aralarındaki fark nm cinsinden (b)'de probun Gidiş ve Dönüş değerleri için, (c)'de ise bunların ortalaması olarak gösterilmiştir. Aynı denklem kullanılarak alınan prob ham gerilim değerleri (her bir istasyonda 50 adet), mesafe değerinde çevrilmiş ve alınan prob kalibrasyon sonuçları (Gidiş daha sonra son noktayı geçerek Dönüş: merdiven şeklinde) (d) şıklarında verilmiştir. (d) şıkkında verilen sonuçlara yakından detaylı bakıp analiz etmek için ölçeklendirme yapılmış, probun sıfır noktası civarında gidiş ve dönüş arasındaki farklar (e) şıkkında gözlemlenmiştir. Probun sıfır nokrasında veri alımı sırasında zaman farklı olduğundan, oluşabilecek farkın, probun mekanik aksanındaki geri dönüş boşluğu mu (backlash) yoksa, ortam sıcaklığındaki değişimden meydana gelen kayma mı olduğunun tespiti için, (f) şıkkında çok kısa zaman diliminde oluşan (+5 µm istasyonunda) prob gidiş-dönüş arasındaki farklar incelenmiştir.



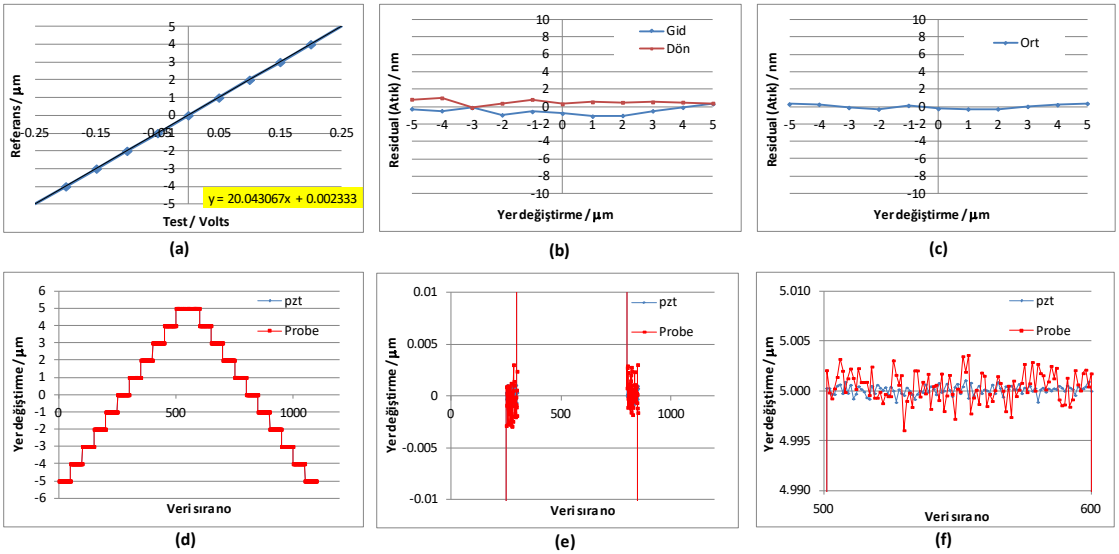
Şekil 10. Mahr MMQ 40, TW6 prob / LVM-110 devresi + Amf (a) Kalibrasyon eğrisi ve denklemi (b) Kalibrasyon eğrisinin Gidiş-Dönüş verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (c) Kalibrasyon eğrisinin ortalama verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (d) Kalibrasyon işleminin pozisyon noktaları (e) 0 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış, (f) 5 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış: Gidiş ve Dönüş noklarında prob backlash boşluk değeri tespiti.



Şekil 11. Mahr MMQ 40, TW6 prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404) (a) Kalibrasyon eğrisi ve denklemi (b) Kalibrasyon eğrisinin Gidiş-Dönüş verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (c) Kalibrasyon eğrisinin ortalama verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (d) Kalibrasyon işleminin pozisyon noktaları (e) 0 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış, (f) 5 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış: Gidiş ve Dönüş noklarında prob backlash boşluk değeri tespiti.



Şekil 12. TESA GT-22 Prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404) (Prob kullanım dışı) (a) Kalibrasyon eğrisi ve denklemi (b) Kalibrasyon eğrisinin Gidiş-Dönüş verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (c) Kalibrasyon eğrisinin ortalama verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (d) Kalibrasyon işleminin pozisyon noktaları (e) 0 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış, (f) 5 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış: Gidiş ve Dönüş noklarında prob backlash boşluk değeri tespiti.



Şekil 13. TESA GT-22 Prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404) (Prob kullanım içi) (a) Kalibrasyon eğrisi ve denklemi (b) Kalibrasyon eğrisinin Gidiş-Dönüş verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (c) Kalibrasyon eğrisinin ortalama verileri için residual (atık) verileri "nm" olarak (d) Kalibrasyon işleminin pozisyon noktaları (e) 0 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış, (f) 5 µm civarındaki pozisyon noktalarına yakından bakış: Gidiş ve Dönüş noklarında prob backlash boşluk değeri tespiti.

İlgili prob çifleri sonuçları incelendiğinde, form ölçüm cihazlarında istenilen seviyede kullanıma uygun halde TESA GT22 prob / TESA Modül çifti uygun bulunmuştur. TW6 probu için kullanılan her iki elektronik unite'de istenilen sonuçlara henüz ulaşılamamıştır. Sonuçlar analiz edildiğinde bunun en önemli sebepleri aşağıda sıralandığı gibidir:

Çalışmada TW6 için kullanılan her iki elektronik ünite besleme AC sinyali 10 kHz iken,TW6 orjinal besleme sinyali 20 kHz değerindedir. Bu durumda çıkış sinyalinde genlik düşüşüne sebep olmakta ve sonuç olarak birim ilerleme miktarı için daha düşük gerilim değeri alınmaktadır. Bu değerler gürültü seviyesine yakın olunca, arzu edilen hassas sonuçlar (5 nm altı) elde edilememiştir. Bu problem, ilave el yapımı amplifier ile çözülmek istense de, gürültü seviyesi yükseltildiği için istenilen seviyeye ulaşılamamıştır.

Çalışmadaki hedeflerden birisi, TW6 probu ile **Şekil 13**'de TESA probe ve kendi elektronik ünitesine yapılan iyileştirmeyle elde edilen sonuçlara ulaşmaktır. Bu hedefe ulaşabilmek için TW6 probu ile kullanılmak üzere 20 kHz besleme sinyali ile çalışacak bir amplifier imalatı yapılması gerekmektedir.

Şekil 12 ve **Şekil 13**'te iki aynı tip TESA GT22 prob incelenmiştir. **Şekil 12 (f)** ve **Şekil 13 (f)** incelendiğinde, kullanım dışı olan probun mekanik aksanlarında bir tutukluk olduğu ve bunun 5 nm civarında bir backlash'a sebep olduğu görülmüştür. Doğal olarak 10 nm çözünürlüğe sahip orjinal TESA Modül de bu ayrımı görmek söz konusu değildir.

4.3 Prob kalibrasyonu; prob/elektronik ünite çiftlerinin incelenmesi dinamik kalibrasyon için gürültü sonuçları

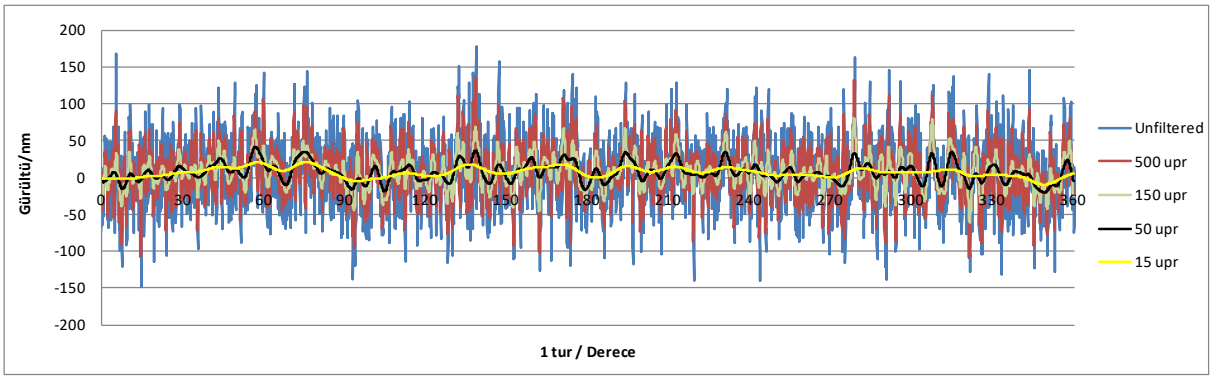
Form ölçüm probları, dönen bir parça üzerinden zamana karşı veri aldıkları için, dinamik performansı son derece önemlidir. Form ölçüm probları dinamik kalibrasyon çalışmaları TÜBİTAK UME'de devam etmektedir. Bu makalede, dinamik performans için ilk etapta prob/elektronik çiftlerinin gürültü değerleri farklı filtrelere göre incelenmiştir. Bu çalışma sırasında prob bir yüzeye temas halinde iken, form ölçümü sırasında 1 tura denk gelecek zaman diliminde (12 saniye) sürekli veri alınmıştır (3600 adet toplam çevrede veri olacak şekilde). Veri alınırken prob dakikada 0,001°C'den daha kararlı ortam şartlarında (olabilecek sıcaklık kaymasını önlemek için) sabit tutulmuş ve hareket ettirilmemiştir. Bu sebeple sadece gürültü verileri incelenebilmiştir.

Form ölçümlerinde filtre, iş parçası üzerinde oluşan imalat hatalarının sebeplerini tespit etmek için kullanılır. Filtre tipleri ve şartları ISO 16610-21 standardında anlatılmaktadır. Çalışmada elde edilen gürültü verileri incelenirken, veriler filtresiz ve farklı filtreler kullanılarak değerlendirilmiştir.

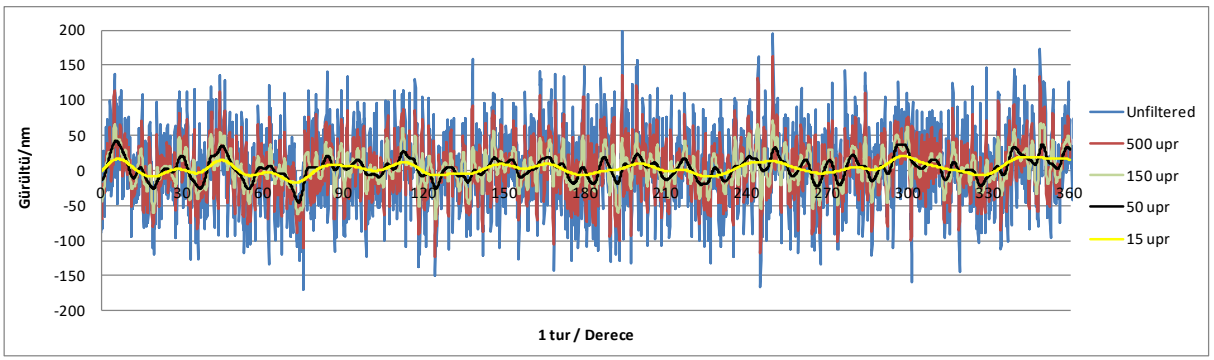
Tablo 2'de ölçüm sonuçları sırasıyla filtre uygulanmadan, 500, 150, 50, 15 UPR (Undulation Per Revolution / 1 turdaki salınım/dalga sayısı) alınmıştır. Ayrıca tabloda verilen değerlerin grafiksel gösterimi **Şekil 14, 15 ve 16**'da farklı prob/elektronik ünite çiftleri için gösterilmiştir.

Tablo 2. Prob/Elektronik ünite çiftleri için alınan sinyaldeki elektronik gürültü sonuçları (nm olarak)

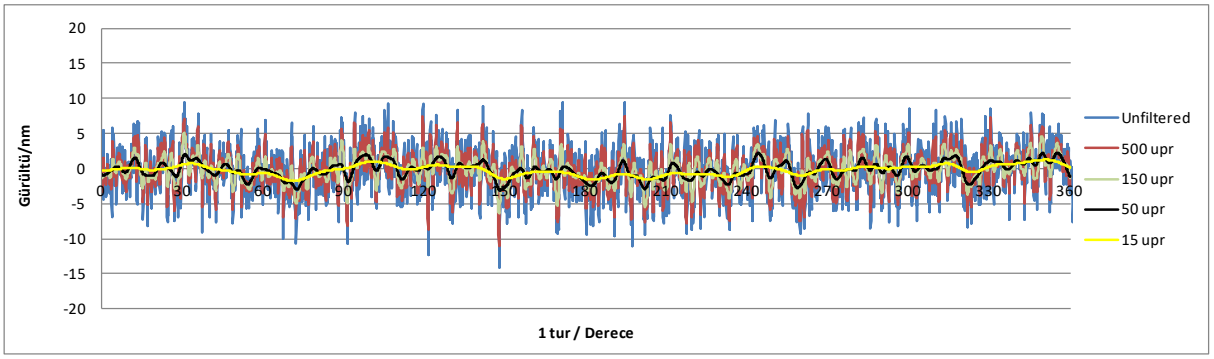
	rms-gürültü/nm		
Probe / Devre (amplifier)	Probe TW6 /LVM110	Probe TW6 /TESA 372	Probe TESA GT22 / TESA 372
Filtre yok / Unfiltered	47.6	52.6	3.3
500 UPR	35.7	40.2	2.7
150 UPR	21.4	24.7	1.9
50 UPR	12.0	14.5	1.1
15 UPR	6.3	7.9	0.7



Şekil 14. Mahr MMQ 40, TW6 prob / LVM-110 devresi gürültü sonuçları (farklı filtrelere göre)



Şekil 15. Mahr MMQ 40, TW6 prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404 gürültü sonuçları (farklı filtrelere göre)



Şekil 16. TESA GT-22 Prob / TESAMODUL unit 372 (TESA MODUL Amplifier 404) (Prob kullanım içi) gürültü sonuçları (farklı filtrelere göre)

SONUÇ

Bu çalışmada; zaman uzayında parça yüzeyinden veri toplayan ve bu verileri inceleyen form ölçüm cihazlarında veya tarama özelliği olan CMM cihazlarında kullanılan indüktüf probların, form parametrelerini ölçme kabiliyetlerini tespit etmek ve primer form cihazlarında kullanımı için gerekli özellikleri taşıyıp taşımadığını tespit etmek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

İki farklı tip indüktüf probun, farklı elektronik üniteler ile kullanılarak, performans incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Prob ve elektronik ünitelerin uyumluluğu araştırılmış ve prob ve elektronik ünitelerin birlikte kullanımında oluşan gürültü durumu incelenmiştir. 12 saniye boyunca alınan 3600 ham verinin standart sapması orjinal devresinden çıkış geriliminin işlenmesiyle 3,3 nm olarak bulunmuştur. Form ölçümlerinde genellikle uygulanan 500-15 UPR filtrelerinde, bu değerin (2,7-0,7) nm olarak değiştiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 10 nm altında bir belirsizlikte primer seviye form ölçüm yapmak mümkün olabilecektir.

Firma tarafından kullanılan Analog-Dijital dönüştürücüler ile elde edilen prob çözünürlük değerleri 10-100 kat daha iyileştirilerek, üretici firma tarafından verilen 10 nm'den daha küçük olan 1 nm ve 0,1 nm anlamlı çözünürlükler elde edilmiştir. Yapılan çalışmada problar ±5 µm ölçüm aralığında, 1 µm adımlarda kalibre edilmiş ve kalibrasyon eğrileri çıkarılmıştır. Her bir istasyonda alınan 50 verinin standart sapması en iyi şartlarda 1,5 nm ve en iyi elde edilen lineer kalibrasyon eğrisinin residual (atık) değerleri ±1 nm içinde bulunmuştur. Diğer bir değişle, ±5 µm ölçüm aralığında bir indüktüf prob kalibre edilerek, ±1 nm içinde lineerlikten sapma ile kullanımı gösterilmiştir. Böylece elde edilen bu değerler ile mastar blok kalibrasyonunda da kullanılan indüktüf probların kapasitesinin sınırları tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmayla, probların gidiş, dönüş hareketleri arasındaki farkların 5 nm mertebelerinde olabileceği, fakat bunun 10 nm olan üretici firma elektronik göstergelerinde tespit edilemediği gösterilmiştir.

Farklı problara farklı elektronik üniteler uygulanarak, hedeflenen sonuçlara ulaşılamadığından dolayı diğer tip problar için TÜBİTAK UME'de bu çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışma, TÜBİTAK UME tarafından primer seviyede form ölçümü yapan form cihazları projesinin bir parçası olup, indüktüf probların çalışma prensibi, statik ve dinamik kalibrasyonu ve performansı hakkında önemli ve özgün bilgiler sunmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Delibaş B. ve Yandayan T. “Form hataları ve önemi”, Üretimde Kalite Dergisi, Aralık 2000.
[2] Delibaş B. ve Yandayan T. “Yeni form ölçüm parametreleri ve standartları,” IV. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 184-195, Eskişehir, Makine Müh. Odası, 25-26 Ekim 2001.
[3] Thalmann R. and Spiller J., Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 5879:140-149, August 2005. DOI: 10.1117/12.618219

[4] 18RPT01 ProbeTrace projesi, https://www.euramet.org/research-innovation/research-empir/empir-calls-and-projects/
[5] KAYADELEN C. "LVDT Sensörü ile Dönen Cisimlerin Geometrik Ölçümü ve Otomasyon Sisteminin Tasarımı", Bitirme Projesi, Teknoloji Fak. Mekatronik Böl. Marmara Uni. 2016
[6] Queensgate NPS serisi, https://www.prior.com/product-category/nanopositioning

ÖZGEÇMİŞ

Halit DEMİRBAĞ

Halit DEMİRBAĞ, 04.7.1996 tarihinde Tekirdağ'da doğdu. İlk ve ortaokulu Atatürk İlköğretim okulunda okudu. Liseyi Pakize Narin Anadolu lisesinde okudu. 2014 yılında başlayan lisans eğitimi ise Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir.

Cihangir KAYADELEN

1992'de İstanbul'da doğdu. Lise eğitimini Haydarpaşa Anadolu Teknik ve Meslek Lisesi, Elektrik-Elektronik bölümünde tamamladı. 2016 yılında Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılı lisans eğitimi süresi boyunca TÜBİTAK UME’de LVDT Sensörü ile Dönen Cisimlerin Geometrik Ölçümü ve Otomasyon Sisteminin Tasarımı projesinin geliştirilmesinde görev aldı. 2017 yılında Korkmaz Mutfak Eşyalarında ARGE departmanında Mekatronik Tasarımcı olarak ürün geliştirme ve tasarlama üzerine çalışmaya başladı. Aynı zamanda Diksiyon, JCI Liderlik ve Türk Mutfağı gibi kurslara gitmiştir. DESIGN WEEK TURKEY gibi birçok fuarlara ve seminerlere katılarak kendini tasarım alanında geliştirmektedir.

Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, ‘CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü’ konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, Mart 1997'de mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME’de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürüten Tanfer Yandayan, dönem dönem UME Mekanik Grup Koordinatörlüğü yapmıştır. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarını hazırlamış ve yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK’ın kuruluşu sırasındaki çalışmalarda yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuar akreditasyonu denetimlerine katılmış ve TÜRKAK sektör komitesinde uzun süre görev yapmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2008-2012 ve 2012-2016 yılları arasında Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini açıklayan Avrupa Komisyonu için rapor hazırlamış ve uyumlaştırma çalışmalarında bulunarak AB çerçeve programları kapsamında 2 adet proje tamamlamıştır. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME’ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği bu projenin koordinatörlüğünü yapıp tamamlamıştır.

Çok sayıda uluslararası konferanslara ve kurumlara davetli konuşmacı olarak katılan Tanfer Yandayan, yabancı akreditasyon organizyonlarının daveti üzerine eğitimler, danışmanlıklar vermekte ve laboratuvar akreditasyon denetimlerine katılmaktadır. Aynı zamanda akademik çalışmalarına devam eden Tanfer Yandayan, Gebze Teknik Üniversitesinde "Mekanik Ölçüm Prensipleri", Sabancı Üniversitesinde "İmalat Metrolojisi" yüksek lisans derslerini vermektedir. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan Tanfer Yandayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, mastar blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır.

Okhan GANİOĞLU

1969 yılı İstanbul doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1996 yılında Yüksek Lisans derecesi almıştır. 1996-1997 yılları arasında özel bir firmada Arazi Ölçüm Cihazları konusunda teknik servis personeli olarak çalışmıştır. 1997 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. 1999-2012 Yılları arasında Laboratuvar sorumlu vekili olarak görev yapmıştır. 2012 - 2016 yılları arasında Boyutsal Laboratuvarı sorumlusu olarak görev yapmıştır. 2005 yılında uzman araştırıcı, 2012 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. 2009 - 2011 yılları arasında TURKAK Ölçme Tekniği ve Kalibrasyon Sektör Komitesi'nde görev almıştır. 2012 - 2016 yılları arasında EURAMET Uzunluk Teknik Komitesinde (TC-L) ve Uzunluk Danışmanlar Komitesi (CCL) Boyutsal Çalışma Gruplarında (WGDM) ülkemizi temsil etmiştir. Halen boyutsal laboratuarında başuzman olarak çalışmakta olup, 2000 yılından beri aktif olarak TURKAK akreditasyon denetimlerinde görev almaktadır.

Murat AKSULU

1990 yılında İTÜ Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Lisans derecesi, 2008 yılında Doktora derecesi almıştır. 1996 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 yılında uzman araştırıcı, 2013 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. Ana çalışma konusu Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve Form ölçümleridir. Boyutsal metroloji alanında çeşitli Avrupa birliği projelerinde, TÜBİTAK 1001 projesinde ve TÜBİTAK iç projelerinde çalışmıştır. Halen boyutsal laboratuarında başuzman araştırıcı olarak çalışmaktadır

Hüseyin Metin ERTUNÇ

H. Metin Ertunç 1969 yılında Denizli'de doğmuştur. Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1991 yılında mezun olduktan sonra, 2 yıl Devlet Demiryolları'nda elektronik mühendisi olarak çalışmıştır. Kazandığı YÖK bursuyla 1994 yılında Amerika Birleşik Devletlerine otomatik kontrol konusunda yüksek lisans ve doktora eğitimi yapmak üzere gitmiştir. 1995 yılında yüksek lisans derecesini, 1999 yılında doktora derecesini aldıktan sonra yurda dönüp Kocaeli Üniversitesinde öğretim üyesi olarak göreve başlamıştır. Mekatronik Mühendisliği bölümünün kuruluşunda görev almış ve halen aynı bölümde akademisyen olarak çalışmaktadır. 30 adet SCI yayını bulunmaktadır. 2 Tübitak ve 1 SANTEZ projesinin yürütücülüğünü yapmış ve tamamlamıştır. Otomatik kontrol, sinyal işleme ve yapay zeka tabanlı sistemler konusunda çalışmaları bulunmaktadır.

Nihat AKKUŞ

Nihat Akkuş, Balıkesir Merkez Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü mezunu olup, Lisans ve Yüksek Lisans eğitimini Marmara Üniversitesinde Fiziksel Metalürji (1983) ve Makine Eğitimi (1986) alanlarında tamamlamış ve takiben doktorasını 1992-1996 Yılları Arasında Tokyo Şehir Üniversitesinden "Titanyum alaşımlarının Yüksek Sıcaklık altında Süperplastik Şekillendirilmesi" üzerine yapmıştır.

Marmara Üniversitesinde Araştırma Görevlisi, Tokyo Üniversitesinde Öğretim Üyesi, Fransa Bourgony Üniversitesinde doktora sonrası araştırmacı ve doçent kadrolarında çalışmıştır. 2002 yılından itibaren tekrar katıldığı Marmara Üniversitesi Mekatronik Bölümünde 6 yıl Kurucu Bölüm Başkanlığı yapmış, Tezli ve Tezsiz Yüksek lisans Programlarını başlatmıştır. Kurucu Üniversite rektörlüğü, IIW, TR-ANB-Uluslararası Kaynak Enstitüsü, Türkiye Kurucu Başkanlığı gibi yöneticilik çalışmaları ile birlikte 20 civarında ulusal ve uluslararası projelerde yer almış, 120 civarında uluslararası yayını, makine - mekatronik teknolojileri ve temel ölçme alanlarında yayınlanmış 7 kitabı bulunmaktadır.

ORTAM SICAKLIĞI VE NEMİN InGaAs DEDEKTÖRLERİN TAYFSAL DUYARLILIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Semih YURTSEVEN
Mevlüt KARABULUT
Seda OĞUZ AYTEKİN
Hümbet NASİBLİ

ÖZET

Temassız ve tahribatsız sıcaklık ve nem ölçüm yöntemleri, temel araştırmalardan endüstriyel uygulamalara kadar uzanan tüm alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, günümüzde, InGaAs dedektör temelli radyasyon sıcaklık termometreleri 150 °C ile 1100 °C sıcaklık aralığında 10 mK (k=2) belirsizlik ile termodinamik sıcaklığın ölçülmesi seviyesine ulaşmış durumdadır. InGaAs dedektör temelli rutubet ve nem ölçerler de ölçüm doğruluğu ve hızı açısından muadilleri ile yarışabilecek seviyeye ulaşmıştır. Bunların yanı sıra su moleküllerinin ikinci harmoniklerinin InGaAs dedektörlerin çalışma aralığına (yakın kızıl ötesi aralığı) isabet etmesi, bu dedektörlerin yansıma bazlı spektroskopi, hiperspektral görüntüleme vb. yöntemlerde başta gıda sektörü olmak üzere tıpta da yaygın olarak kullanılmasına imkan tanımıştır. Bu dedektör temelli cihazların çıkış sinyalleri dedektörlerin mutlak duyarlılığının yanı sıra tayfsal duyarlılığına da bağlıdır. Özellikle ortam koşullarının tayfsal duyarlılığı etkilediği, çalışmalarımızda görülmekte ve literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada, InGaAs fotodedektörün normalize tayfsal duyarlılığının ortam sıcaklığına ve bağıl neme bağlı olarak değişimi araştırılmıştır. Normalize edilmiş tayfsal duyarlılıklar, 10 °C ila 45 °C arasında değişen farklı sıcaklıklarda ve 30 %rh ile 80 %rh arasında değişen farklı bağıl nem değerlerindeki ortam koşullarında ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Ayrıca, ortam sıcaklığı etkisini ortadan kaldırmak için geliştirdiğimiz devre tasarımı ve bu devre ile elde edilen olumlu sonuçlara da çalışma kapsamında yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: InGaAs fotodedektörler, Optik bant genişliği, Radyometrik ölçümler, Spektral duyarlılık.

ABSTRACT

Nowadays, noninvasive and nondestructive temperature and humidity measurement methods are penetrating in many fields ranged from fundamental researches to industrial applications. For example, the accuracy of InGaAs detector-based radiation temperature thermometers has reached a level of measuring the thermodynamic temperature with an uncertainty of 10 mK (k=2) in the temperature range from 150 ° C to 1100 ° C. Humidity and moisture meters based on the same detector have reached a level that can compete with their counterparts in terms of measurement accuracy and speed. In addition, the second harmonics of water molecules coincide with the operating range of InGaAs detectors, these detectors are widely used in reflection-based spectroscopy, hyperspectral imaging, etc. methods, in medicine and especially in the food sector. The output signals of these detector-based devices depend on the relative responsivity of the detectors as well as the spectral responsivity. Ambient conditions affect the spectral responsivity which is seen from our studies and also from the literatüre. In this work, the normalized spectral responsivity of the InGaAs photodetector was investigated depending on the ambient temperature and relative humidity. The normalized spectral responsivities were recorded at different ambient temperatures ranged from 10 °C to 45 °C and at various environmental relative humidity values ranged from 30 %rh to 80 %rh.

In addition, the circuit design that we developed to eliminate the ambient temperature effect and the positive results obtained with this circuit will be included in the scope of the study.

KeyWords: InGaAs photodetectors, Optical bandwidth, Radiometric measurements, Spectral responsivity.

1. GİRİŞ

Elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi (NIR) bölgesi, tipik olarak 780 nm ila 2500 nm aralığını kapsayan, birçok yaşam bilimleri alanında önemli rol oynar. Bu bölgede ışığa en duyarlı fotodiyotlar, InGaAs malzeme tabanlı fotodiyotlardır. Bu nedenle, yüksek hassasiyetli, kısa ve uzun süre kararlı InGaAs fotodiyotlarının imalatındaki son kazanımlar, spektrumun yakın kızılötesi bölgesindeki çeşitli ölçüm yöntemlerindeki (tekli InGaAs dedektörü ve iki boyutlu InGaAs dizisi) gelişmeleri hızlandırmıştır. Algılama, tepki süresi ve invaziv olmayan doğası nedeniyle, NIR spektroskopisi temelli klinik tanı yöntemlerinde, tıp alanında çeşitli faydalar sunar ve sonuç olarak hastaneler, klinik merkezler ve tıbbi araştırmalardaki [1] birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Örneğin, fotodinamik tedavide (1270 nm'de yakın kızılötesi aralıktaki lüminesansı ile doğrudan tekli-oksijen tespiti) [2] kızılötesi iletim spektroskopisi ve yakın kızılötesi iletim spektroskopisi ile invaziv olmayan kan glukozu algılama gibi klinik uygulamalar [3] 1.3 μm dalga boyunda yüksek hızlı spectral domain optik koherens tomografi [4] hızlı gelişen alanlar arasındadır.

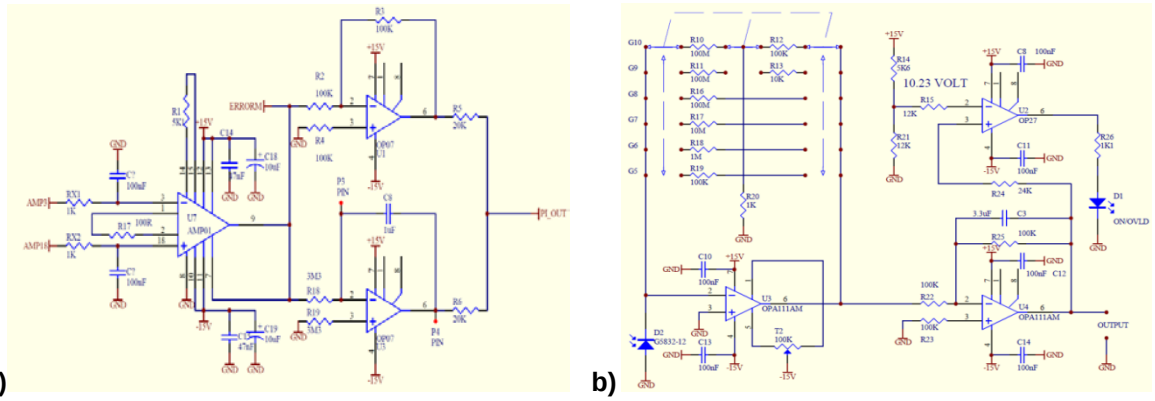
Ayrıca, Raman spektroskopisinin klinik enstrümantasyonu ve uygulamaları, klinik çalışmalardaki NIR spektroskopi uygulamaları bağlamında özel bir yer kazanmıştır. Her ne kadar InGaAs tabanlı dedektörlerin kuantum verimliliği, 785 nm'de uyarılma için yaklaşık 967-1118 nm yüksek dalgaboyu bölgesinde Raman spektrumlarının elde edilmesinde kullanım[5] için iyileştirmeler gerektirse de, Nd-YAG lazer kaynaklarından (1064 nm) yararlanan cihaz konfigürasyonları, kısa süre önce Raman spektroskopisinin, akciğerler ve mide dokusu gibi dokularda 1064 nm'de yüzlerce saniye seviyesinde kazanım süreleri ile uyarılmasının mümkün olduğunu bildirmiştir [6-7].

Ayrıca, günümüzde invaziv olmayan, tahribatsız sıcaklık ve nem ölçüm sensörleri, temel araştırmalardan endüstriyel uygulamalara ve hatta günlük yaşam süreçlerine (özellikle gıda sektöründe) kadar birçok alana nüfuz etmektedir. Şu anda, TÜBİTAK UME'de iki farklı yüksek hassasiyetli InGaAs dedektör tabanlı ölçüm sistemi geliştiriyoruz: birinci cihaz ile çift dalga boyu oranına dayanan temassız termal ışınım algılayarak sıcaklık ölçümü [8] ve ikinci cihaz ile de son derece yüksek hassasiyetle nem ve rutubet algılama [9] hedeflenmektedir. Her iki sistemin de geliştirilmesi, kullanılan InGaAs dedektörlerinin temel parametrelerinin doğru bir karakterizasyonunu gerektirir. Bu çalışmada, InGaAs fotodiyotunun kontrollü çevresel koşullar altında normalize edilmiş spektral duyarlılığının ölçüm sonuçlarını açıkladık. Özellikle, normalize edilmiş tayfsal duyarlılıklar, çeşitli çevresel nem değerlerinde 10 °C ile 40 °C arasında değişen farklı ortam sıcaklıklarında ölçülmüş ve analiz edilmiştir[10].

2. FOTODEDEKTÖR SİSTEMİ

Çalışmada kullanılan InGaAs dedektör, Hamamatsu tarafından üretilen ve 5 mm çapında aktif alana sahip camlı G5832-15 tipidir. Dedektör termo-elektriksel olarak -10 °C'ye soğutuldu. Şekil 1. a), bu çalışmada kullanılan termo-elektriksel soğutma kontrollü elektronik devre şemasını göstermektedir.
Dedektörün çıkış sinyali, transempedans yükseltece bağlıdır. Bu amplifikatör, dedektör fotoakımını gerçek sinyal-gürültü oranını önemli ölçüde düşürmeden, yükseltilmiş gerilime dönüştürmek için kullanılmıştır. Amplifikatör, $x10^5$ V/A ile $x10^{10}$ V/A arasında değişen altı farklı kazanç ayarına sahiptir ve ölçümlerde $x10^7$ V/A konumunda kullanılmıştır. Elektronik devre şeması Şekil 1. b)'de verilen amplifikatör devresi teflon karta kurulmuştur. Her iki elektronik devre (sıcaklık kontrolü ve transpemdans yükselticisi) aslında [11-12]'de tasarlandı. Transempedans yükselticilerin ve bu çalışmada kullanılan kalibrasyon yöntemlerinin ayrıntıları [13-14] 'de açıklanmaktadır.

a) b)

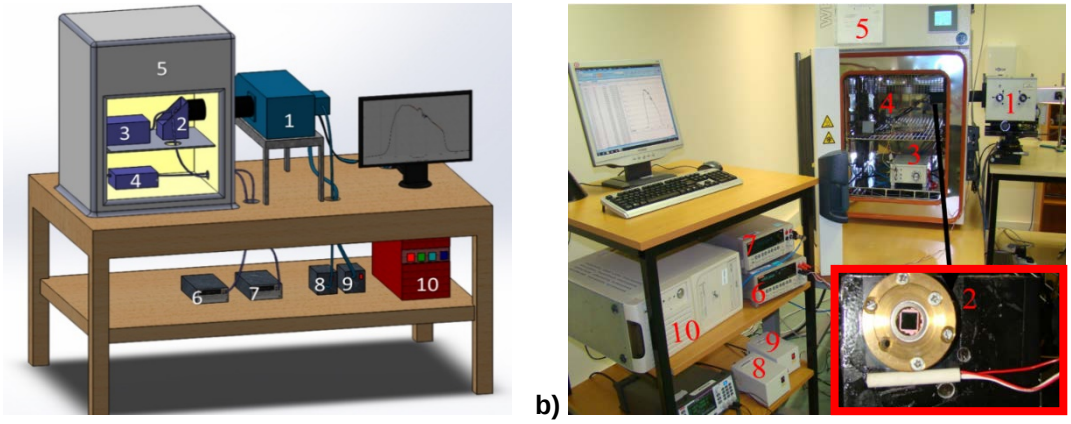


Şekil 1. Hamamatsu InGaAs fotodiyotunun: **a)** sıcaklık kontrol devresi çizimi, **b)** amplifikatör devresi.

3. ÖLÇÜM DÜZENEĞİ

Ortam şartlarının InGaAs dedektörler üzerindeki etkisinin incelenmesi için oluşturulan deney düzeneğinin blok diyagramı Şekil 2. a)'da gösterilmiştir. İstenilen ortam koşullarını oluşturmak için iklimlendirme kabini (Weiss WKL100) kullanılmıştır. Kabin içi boyutları 500 mm x 500 mm x 400 mm (Y x G x D)'dir. Kabinin yan duvarında bulunan dairesel bir açıklık ile test ve referans cihazlarını birbirinden ayırmak mümkün olmuştur. Böylece test altındaki dedektör iklimlendirme kabinine yerleştirilmiştir; referans ışıma kaynağı, yani monokromatör bazlı spektral ışınım kaynağı ve tüm veri toplama birimleri sabit oda sıcaklığı altında kabin dışına yerleştirilmiştir.

a) b)



Şekil 2. a) Ölçüm düzeneğinin blok şeması ve b) görüntüsü.

(1) Monokromatör; (2) Dedektör Ünitesi (Kırmızı kare içindeki küçük resim InGaAs dedektörünü ve Pt-100 termometresini göstermektedir.); (3) Dedektörün yükselteci ve sıcaklık kontrolcüsü; (4, 8, 9) Güç kaynakları; (5) İklimlendirme kabini; (6, 7) Multimetreler; (10) Operatör bilgisayarı.

Dedektör sistemi etrafındaki sıcaklık (kabin içindeki ortam sıcaklığı), dedektör metal yüzeyini saracak şekilde sabitlenmiş bir pirinç bloğun üzerinde bulunan Platin direnç termometre (Pt-100) (RS Components) ile ölçüldü, Şekil 2. b). Ortam sıcaklığının InGaAs dedektör bazlı sensörün spektral duyarlılık ölçümleri üzerindeki etkisini belirlemek için, nem ve sıcaklık sensörü iklimlendirme kabinine yerleştirildi. Monokromatör sistemi iklimlendirme kabini dışına yerleştirildi. Monokromatörde kullanılan kırınım ızgarasının (Grating) oluk yoğunluğu (groove density) 600 grooves/mm'dir. Tüm tayfsal duyarlılık ölçümleri, fazla-doldurulmuş (overfilled) aydınlatma koşullarında yapıldı.

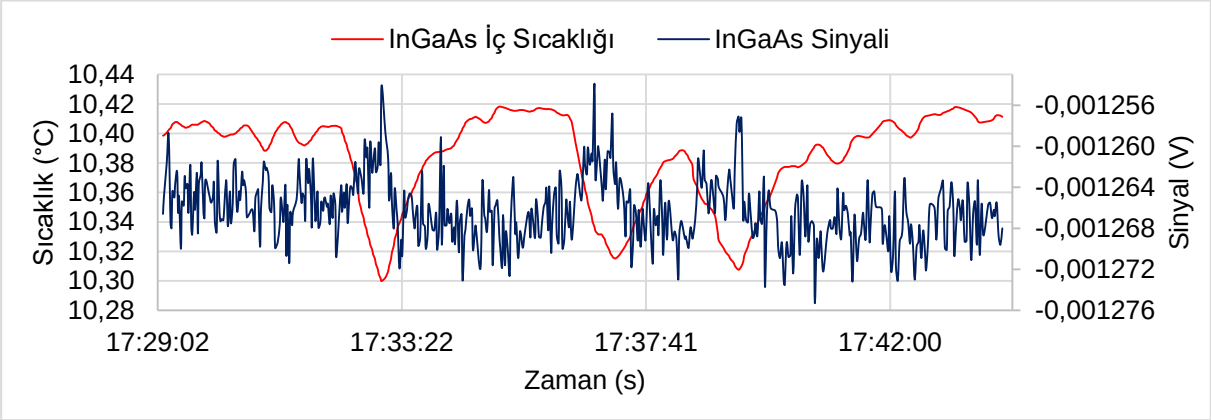
Bu ölçümler sırasında iki multimetre kullanılmıştır. Bunlardan biri InGaAs dedektörünün çıkış sinyalini (transempedans yükselteçten elde edilen gerilim), diğeri ise termometreden okunan ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

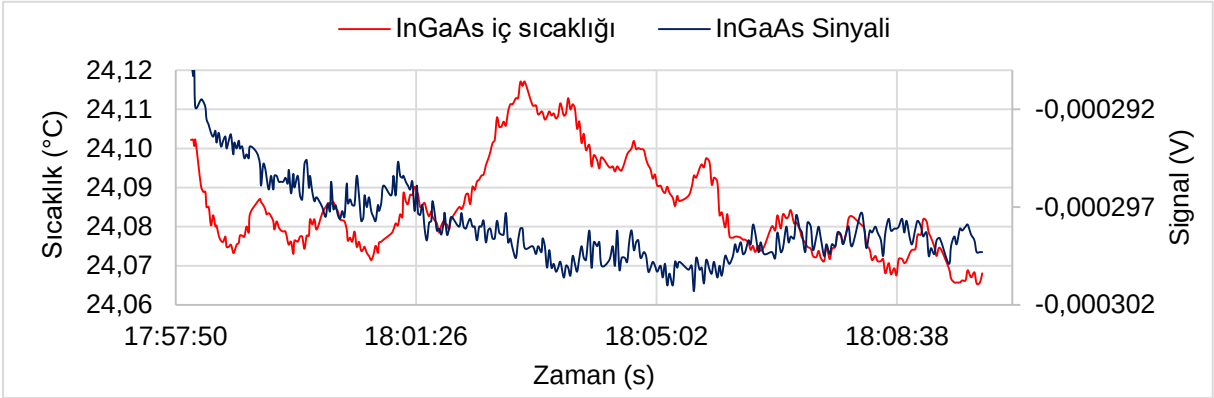
Normalize tayfsal duyarlılık ölçümleri, 600 nm ila 2000 nm aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan yarım metre boyunda Czerny-Turner tipi tasarımı monokromatör (Acton Research Corporation marka), ışık kaynağı bir akkor lamba (DC gücü 30 Watt, tungsten-halojen) ve bir küresel aynadan oluşmaktadır. Test edilen dedektörler, monokromatörün çıkışına hizalanarak iki ölçüm gerçekleştirildi. 1,6 μm blaze dalga boyunda, 600 grooves/mm oluk yoğunluklu kırınım ızgarası (grating) kullanılarak yapılan ölçümlerde, kırınım ızgarasındaki optimum çalışma dalga boyu 1 μm ila 2,1 μm aralığını kapsamaktadır. Ölçümler, monokromatör çıkışı ile dedektörler arasında 300 mm mesafe bırakılarak ve bu aralık boru şeklinde siyah yalıtım malzemesi ile dışarıdan ışık almayacak şekilde kapatılarak yapıldı.

Deneyler, iklimlendirme kabininde UME yapımı Hamamatsu dedektör sistemi ve hazır alınan Teledyne dedektör sistemi ile 10 °C ve 40 °C arasında değişik sıcaklık değerlerinde gerçekleştirildi. İlk olarak, dedektör sistemlerinin karanlık sinyal (dark signal) davranışı analiz edildi.

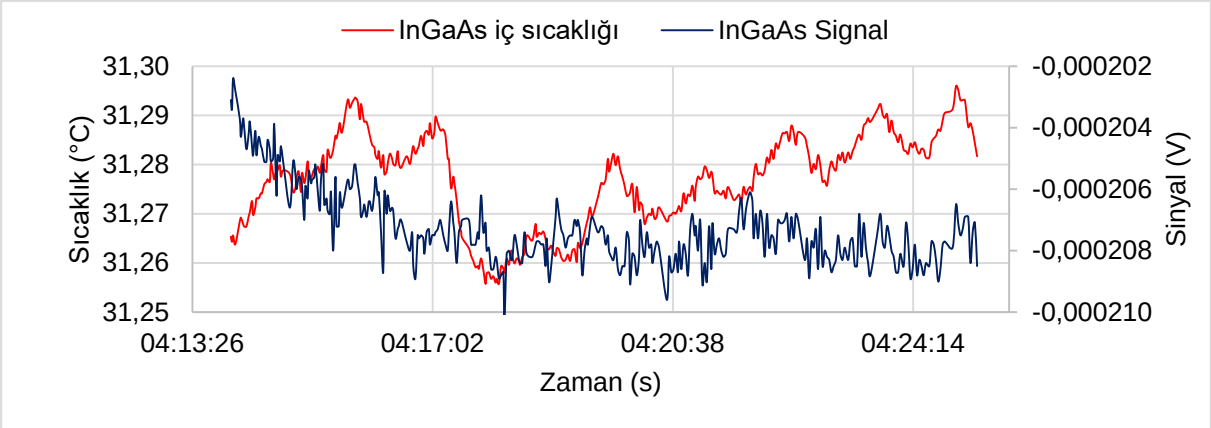
Şekil 3 – 6, karanlık sinyallerin ortam sıcaklığına bağımlılığını göstermektedir. Ayarlanan her ortam sıcaklığında bu karanlık sinyallerinin ortalama değeri, sırasıyla spektral duyarlılık ölçümlerinden elde edilen dedektör sinyallerinden çıkarıldı.



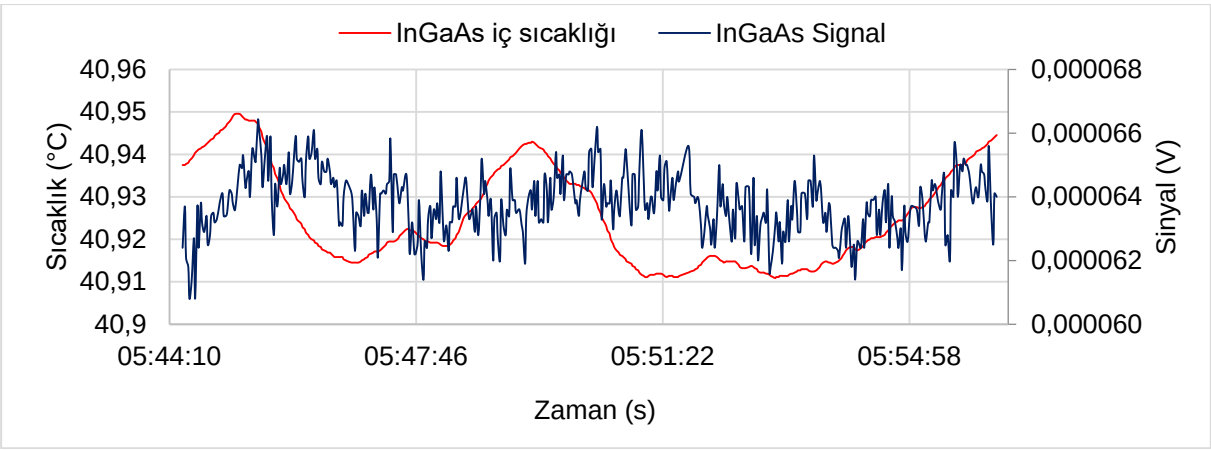
Şekil 3. Dedektörün 10 °C sıcaklık ortamındaki karanlık sinyali.



Şekil 4. Dedektörün 23 °C sıcaklık ortamdaki karanlık sinyali.

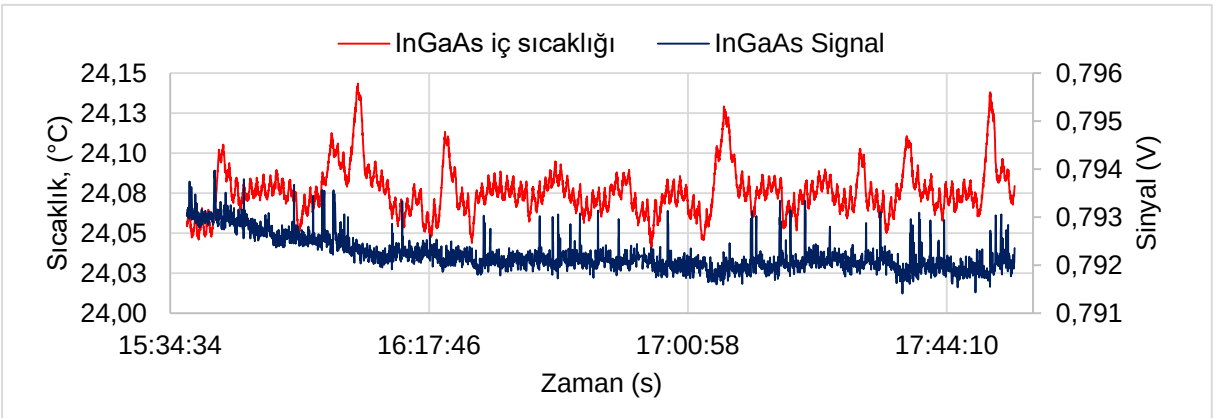


Şekil 5. Dedektörün 30 ° C sıcaklık ortamdaki karanlık sinyali.

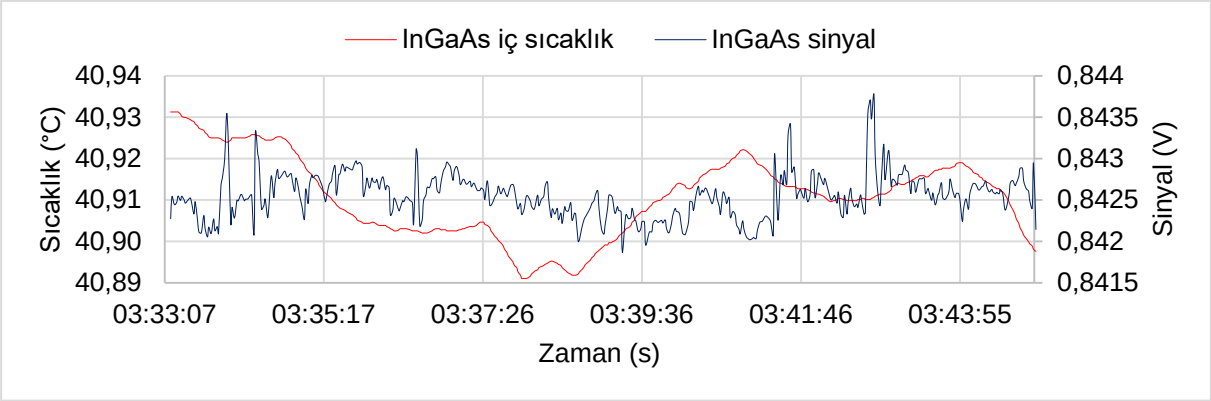


Şekil 6. Dedektörün 40 ° C sıcaklık ortamdaki karanlık sinyali.

Spektral duyarlılık ölçümleri sırasında monokromatörün lambası kontrollü bir DC akımı ile beslendi ve hemen hemen izotermal denge durumunun oluşması için tüm tayfsal ölçümlerden en az bir saat önce açıldı. Şekil 7 ve Şekil 8, sırasıyla 23 ° C'de ve soğutucu kapalı ; 40 ° C'de ve soğutucu açık şartlarında 1090 nm dalga boyunda elde edilen çıkış sinyallerinin örneklerini göstermektedir.

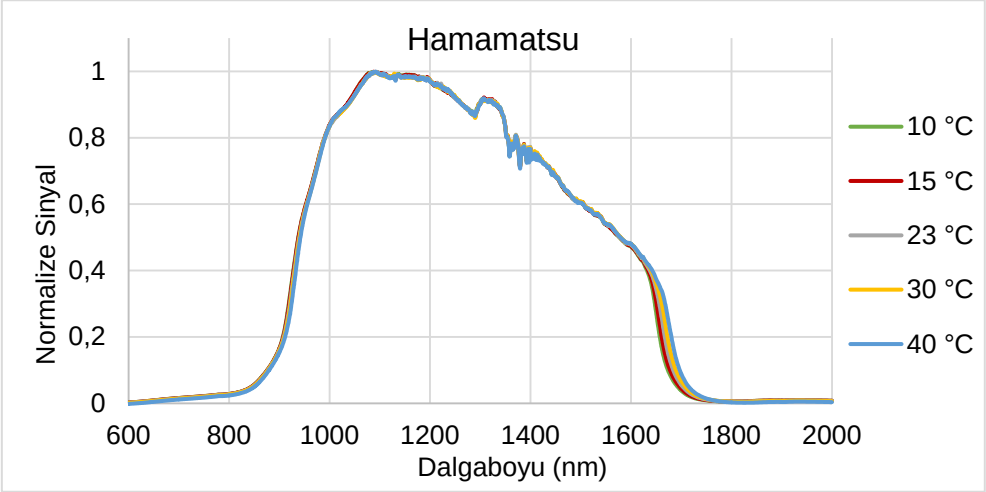


Şekil 7. Dedektörün çıkış sinyalinin 23 ° C kararlı ortam sıcaklığında, 1090 nm dalga boyunda kaydedilen kararlılığı.

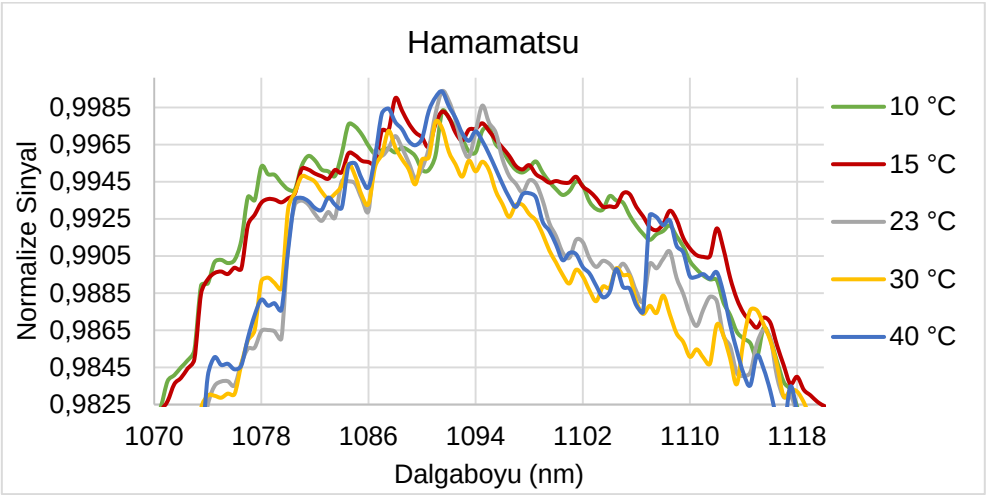


Şekil 8. Dedektörün çıkış sinyalinin 40 ° C kararlı ortam sıcaklığında, 1090 nm dalga boyunda kaydedilen kararlılığı.

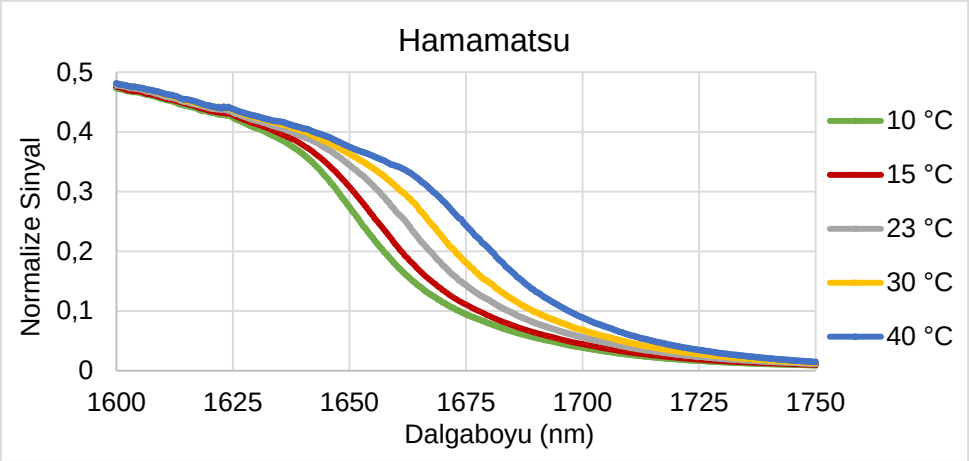
Tayfsal duyarlılık ölçümleri Hamamatsu dedektör sistemi soğutucu birimi açılarak ve kapatılarak iki farklı durumda gerçekleştirildi. Şekil 9-11, hamamatsu dedektör sistemi soğutucu birimi kapatıldığında elde edilen sonuçları göstermektedir.



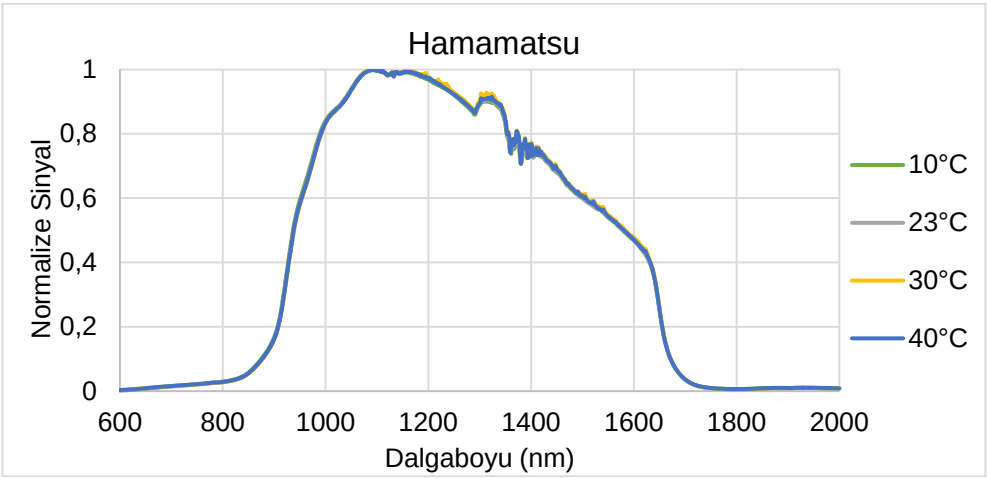
Şekil 9. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.



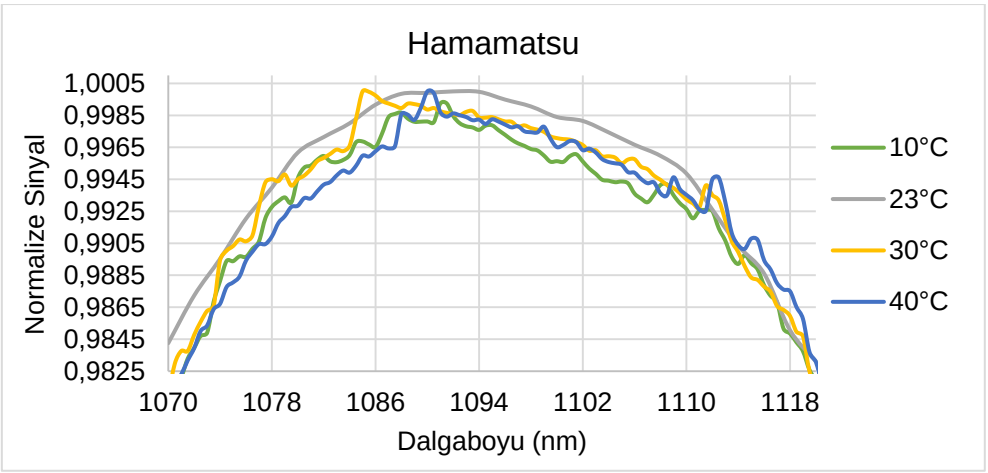
Şekil 10. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1070-1118) nm aralığında tepe değerleri.



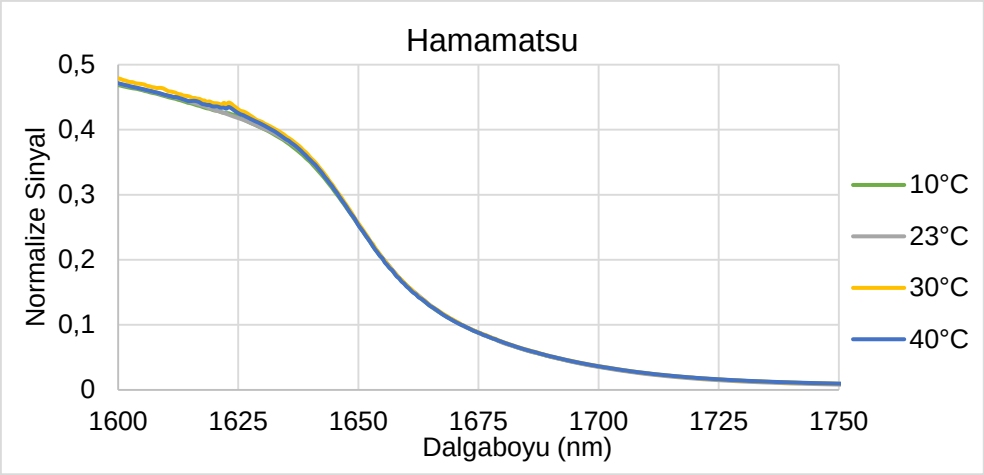
Şekil 11. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1600-1750) nm aralığında kuyruk değerleri.



Şekil 12. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.



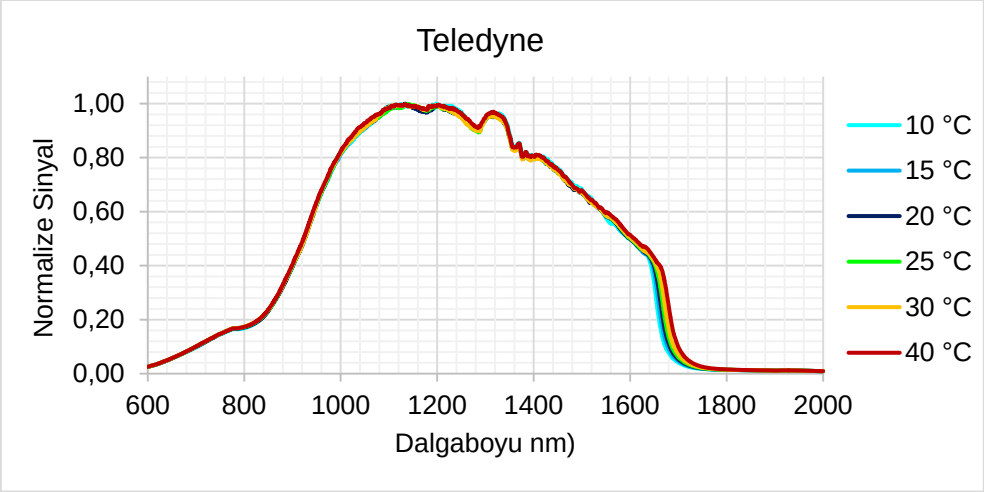
Şekil 13. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1070-1118) nm aralığında tepe değerleri.



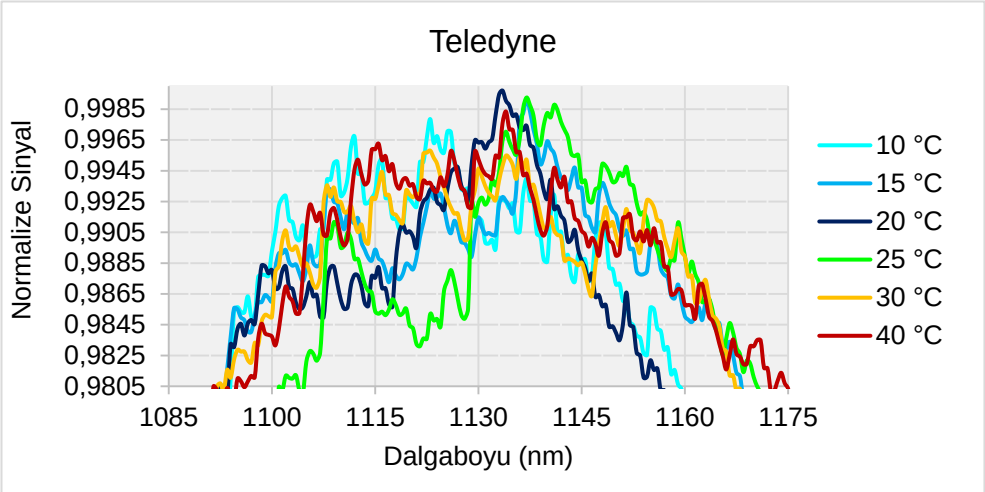
Şekil 14. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1600-1750) nm aralığında tepe değerleri**.**

Şekil 12-14, Hamamatsu dedektör soğutucu birimi açıkken elde edilen sonuçları göstermektedir. Dedektörün spektral duyarlılığının tepe dalga boyunun davranışı, soğutucu birim kapatıldığında elde edilenlere çok benzerdir, başka bir deyişle tepe dalga boyu konumunda ortam sıcaklığının değişmesi ile hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte, tayfsal duyarlılığın kuyruk bölgesindeki davranışı 1650 nm'nin üzerindeki dalga boylarında, Şekil 11'de elde edilenlerden tamamen farklıydı. Dedektör soğutucu birimi açıldığında, InGaAs dedektörünün tayfsal duyarlılığı ortam sıcaklığının değişmesine karşı kararlı bir davranış sergiledi. Şekil 13'den görülebileceği üzere ortam sıcaklığının değişmesi sonucunda dedektörün spektral duyarlılığının tepe dalga boylarında fark edilebilir bir değişim gözlenmese de, Şekil 11'de gösterildiği gibi ortam sıcaklığının artmasıyla tayfsal eğrinin kuyruğunda yaklaşık 1650 nm ve üzeri dalga boylarında genişleme meydana gelmiştir.

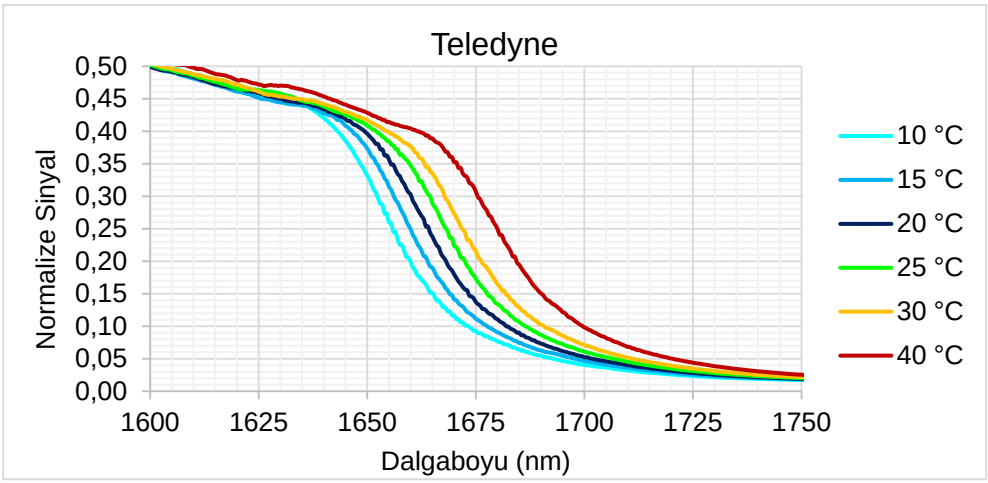
Teledyne dedektör sistemi için tayfsal duyarlılık ölçümleri de Hamamatsu dedektör sistemindeki ile aynı düzen ve sıra ile yapıldı. Teledyne dedektör sisteminin soğutucu devresi açılarak ve kapatılarak iki ölçüm seti gerçekleştirildi. Şekil 15-17, Teledyne dedektör soğutucu birimi kapatıldığında elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 17'den anlaşılacağı üzere, Hamamatsu dedektör ile yapılan ölçümlerdeki sonuçlara benzer biçimde, 1600 nm'nin üzerindeki dalga boylarında spektrumum kuyruk bölgesi civarında yüksek dalga boylarına doğru tayfsal kaymalar görülmektedir.



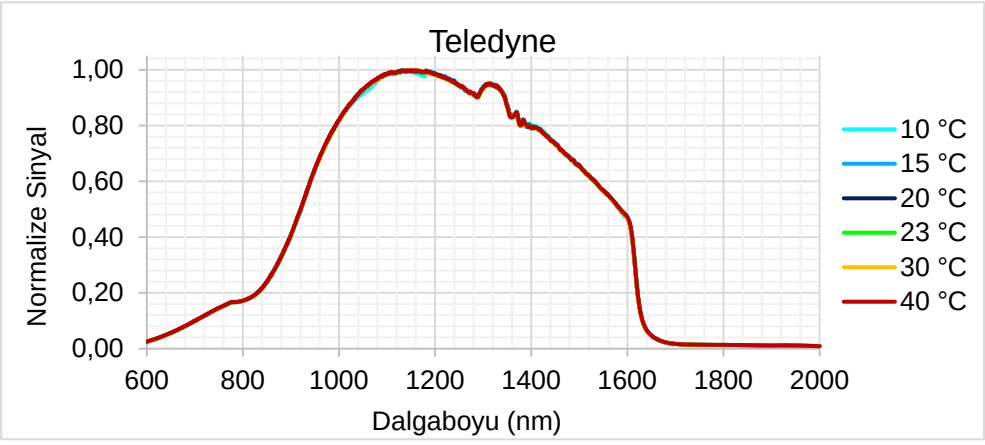
Şekil 15. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.



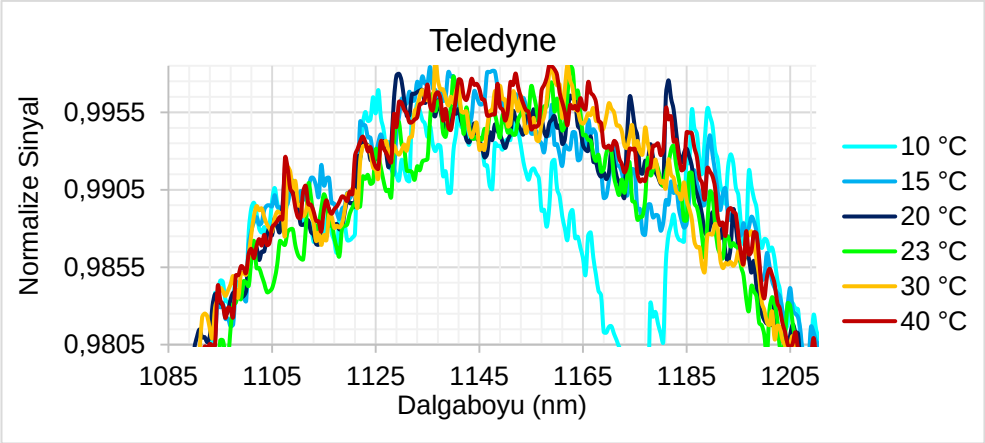
Şekil 16. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1085-1175) nm aralığında tepe değerleri.



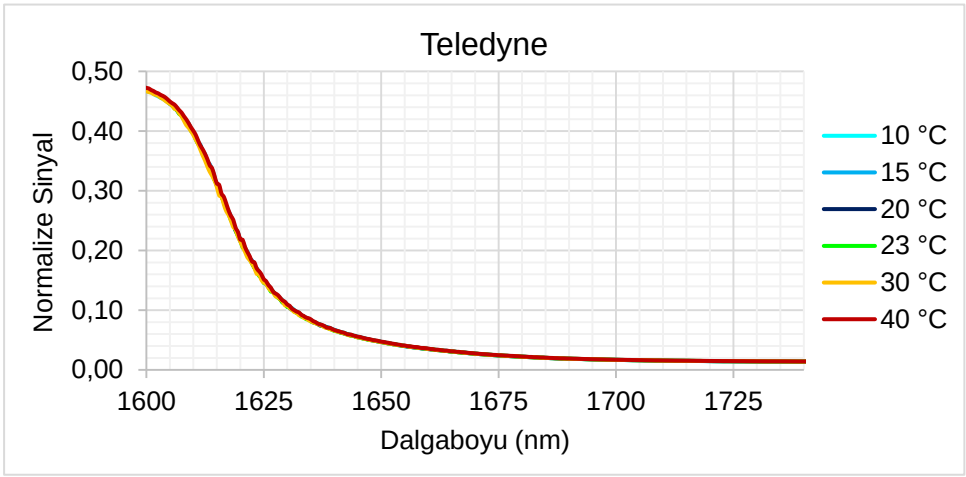
Şekil 17. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1600-1750) nm aralığında kuyruk değerleri.



Şekil 18. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.

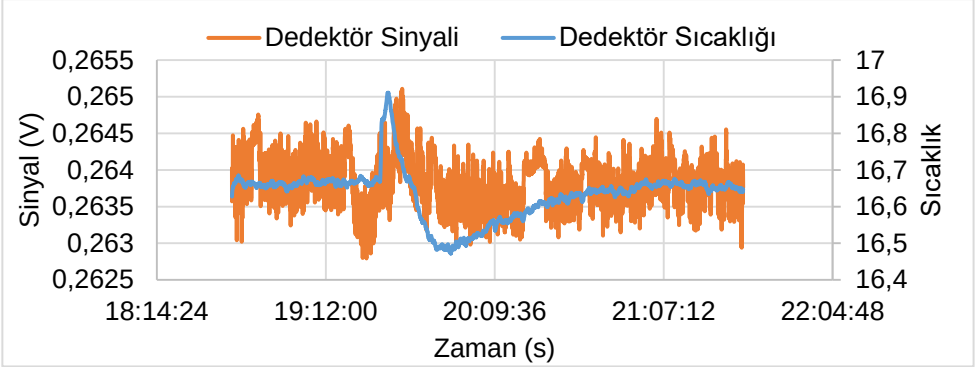


Şekil 19. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1085-1205) nm aralığında tepe değerleri.



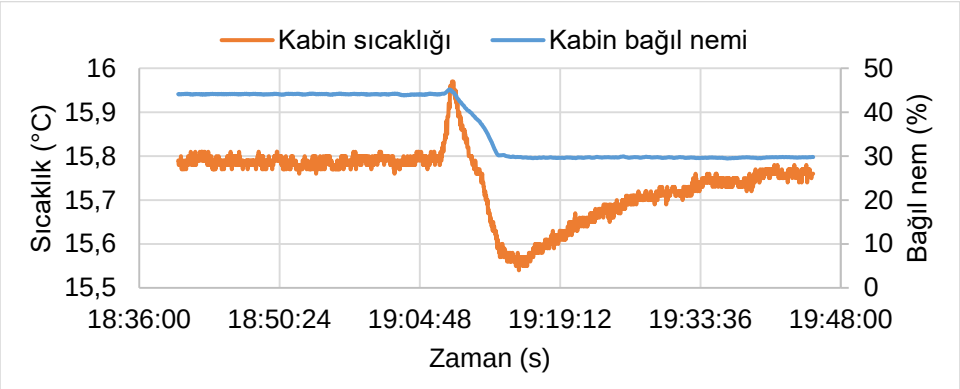
Şekil 20. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (1600-1750) nm.

Şekil 18-20, Teledyne dedektörün soğutucu birimi açıkken elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 16 ve 19'dan görüldüğü üzere dedektörün spektral duyarlılığında tepe dalga boylarında, yine Hamamatsu dedektör sisteminde olduğu gibi ortam sıcaklığının değişmesi ile hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Tayfsal duyarlılığın kuyruk bölgesinde yani 1650 nm'nin üzerindeki dalga boylarında, dedektör soğutucu birimi kapalıyken gösterdiği tepkiden tamamen farklı olarak soğutucu birim açıkken alınan ölçümde spektral kayma meydana gelmemiştir (Şekil 20).

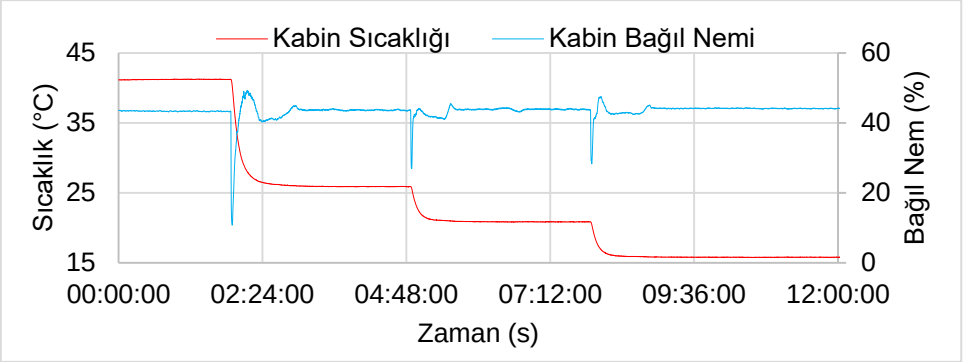


Şekil 21. Tledyne dedektörün 1100 nm dalga boyunda 15 °C'de kaydedilen kararlılığı.

Şekil 21'de bağıl nem ölçümlerine örnek olarak Teledyne dedektörün ortam şartı, 15 °C'de, 45 %rh bağıl nem değerinden 30 %rh bağıl nem değerine düşürülürken dedektörün bu değişimden etkilenmediği gözlenmiştir. Dedektördeki ihmal edilebilir salınımın sebebi kabinin bağıl nem değişiminden kaynaklanmaktadır. Şekil 22-23'te görüldüğü üzere kabin bağıl nem değeri değişirken, sıcaklıkta iklimlendirme kabininden kaynaklanan küçük salınımlara sebep olmaktadır. Ancak bu değişimin ortam şartları dengede iken hiçbir etkisinin olmadığı da gözlenmiştir.



Şekil 22. İklimlendirme kabininde sıcaklığının bağıl nem değişimine tepkisi.



Şekil 23. İklimlendirme kabininde bağıl nem değerinin, sıcaklık değişimine tepkisi.

SONUÇ

Her iki InGaAs fotodiyotunun bağıl tayfsal duyarlılığının ölçümleri, 10 °C ila 40 °C arasında değişen farklı ortam sıcaklıklarında gerçekleştirildi. Hamamatsu dedektör için UME'de yaptığımız sıcaklık kontrol devresi kapalı ve açık konumdayken iki ölçüm seti gerçekleştirilerek, bu ölçümlerin sonuçları karşılaştırıldı. Hazır alınan Teledyne dedektör sistemine ait sıcaklık kontrol devresi ile de iki ölçüm yapılarak sonuçlar karşılaştırıldı. Sıcaklık kontrol birimleri kapatıldığında, iki dedektörün de spektral duyarlılıklarının ortam sıcaklığının artmasıyla daha yüksek dalga boyuna kaydığı gözlenirken, sıcaklık kontrol devreleri açıldığında, 10 °C ile 40 °C arasındaki farklı çevresel sıcaklıklarda dedektörler çok kararlı tayfsal duyarlılık gösterdiler. Sabit ortam sıcaklığında 30 %rh ve 80 %rh bağıl nem değerleri arasında gerçekleştirilen ölçümlerinde, dedektörlerin bu değişimden etkilenmediği gözlendi.

KAYNAKLAR

[1] P. Chen, A. Shen, X. Zhou, J. HU, “Bio-Raman spectros copy: a potential clinical analytical method assisting in disease diagnosis, ”Journal of Analytical Methods, cilt 3, ss. 1257-1269, 2011.

[2] G. Boso, D. Ke, B. Korzh, J. Bouilloux, N. Lange, H. Zbinden, “Time-resolved singlet-oxygen luminescence detection with an efficientand practical semi conductor single-photon detector, ”Bıomedıcal Optıcs Express. Cilt 7, ss.211-224, 2016.

[3] J. J. Burmeister, M. A. Arnold” Evaluation of Measurement Sites for Noninvasive Blood Glucose Sensing with Near-Infrared Transmission Spectroscopy,” Clinical Chemistry, cilt 45 No. 9, ss. 1621-1627, 1999.

[4] S. H. Yun, G. J. Tearney, B. E. Bouma, B. H. Park, J. F. de Boer” High-speed spectral-domain optical coherence tomography at 1.3 μm wavelength,” Optıcs Express, cilt 11, ss. 3598-3604, 2003.

[5] I. Pence, A. M. Jansen, “Clinical instrumentation and applications of Raman spectroscopy, ”Chem. Soc. Rev., cilt 45, ss. 1958-1979, 2016.

[6] T. Kawabata, T. Mizuno, S. Okazaki, et al., “Optical diagnosis of gastric canceru singnear-infrared multichannel Raman spectroscopy with a 1064-nm excitation wavelength,” Journal of Gastroentrology, cilt 43, ss. 283-290, 2008.

[7] Y. K. Min, T. Yamamoto, E. Kohda, T. Ito, and H. Hamaguchi, “1064 nm near-infrared multi channel Raman spectroscopy of fresh human lungtissues,” Journal of Raman Spectroscopy, cilt 36, pp. 73-76, 2005.

[8] A. Prokhorov, V. Sapritsky, B. Khlevnoy, V.Gavrilov, “Alternative Methods of Blackbody Thermodynamic Temperature Measurement Above Silver Point, ” Int. J. Thermophysvol, Cilt 36, ss. 252–266, 2015.

[9] S. Beguš, G. Begeš, J. Drnovšek, D. Hudoklin, “A novel NIR laser based sensor formeasuring the surface moisture in polymers, ” Sensorsand Actuators A: Physical, cilt 221, ss. 53-59, 2015.

[10] S. Yurtseven, M. Karabulut, S. Oguz Aytekin, H. Nasibov, “An Effect of ambient temperature and humidity on the spectral responsivity of InGaAs detectors,” TEMPMEKO 2019, Chingdu, China,-to be published.

[11] T. Ricolfi, F. Girard, “A transfer standard infrared thermometer for the temperature range 150 °C to 1000 °C, ”Proceedings, TEMPMEKO’99 – 7th Intern. Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industrialanl Science,cilt 2, ss. 593- 598, Delft 1999.

[12] F. Girard, T. Ricolfi, “Simple Approach for Temperature Compensation in A Transfer Standard RadiationThermometer” TEMPMEKO 2001 - 8 th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Baskı 2, ss. 807- 810, 2001.

[13] H. Nasibov, S. Ugur, “Characterization of The Pyrometers to The Subject Of Preamplifier Gain Nonlinearity, ”Proceedings, XVII IMEKO World Congress, ss. 1702-1705, 2003.

[14] H. Nasibov, A. Diril, O. Pehlivan, M. Kalemci, “Comparative Study of Two InGaAs-Based Reference Radiation Thermometers, ”Int. J. Thermophys, cilt 38, No. 112, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Semih YURTSEVEN

1991 yılı Giresun doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Metroloji Programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2018 yılından beri TÜBİTAK-UME’ de Sıcaklık Laboratuvarlarında çalışmaktadır.

Mevlüt KARABULUT

1969 yılı Artvin/Hopa doğumludur. 1991 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1999 yılında University of Missouri-Rolla, USA den doktora derecesini almıştır. GaSe, InSe tabakalı yarıiletken tek kristallerinin sentez ve karakterizasyonu, nükleer atıkların camlaştırılması, demir fosfat camlarının sentezi ve karakterizasyonu alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde çalışmalarına devam etmektedir.

Seda OĞUZ AYTEKİN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik ABD'da Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak göreve başlamıştır. 2014 yılında Yeditepe Üniversitesinden Doktor unvanını "Nanosilisyum Nem Algılayıcılarının Üretimi ile Elektriksel ve Spektroskopik Karakterizasyonları" başlıklı tezini tamamlayarak almıştır. TÜRKAK akreditasyon denetimlerinde ISO/IEC 17025 standardına göre sıcaklık ve nem alanlarında denetçi olarak görev yapmaktadır. Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanında çeşitli makaleleri ve EURAMET kapsamında katılım sağladığı uluslararası projeleri bulunmaktadır. Ayrıca Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanlarında Danışmanlık ve Eğitim hizmetleri vermektedir.

Hümbet NASİBLİ

1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2000 yılında Azerbaycan Bilimler Akademisi, Fotoelektronik Enstitüsünde Deneysel Fizik Teknikleri ve Bilimsel Cihazlar konusu üzerine çalışmış ve PhD. unvanını almıştır. 1992-2001 yılları arasında Fotoelektronik Enstitüsünde Lazer Spektroskopisi bölümünde Optik Mühendisi olarak görev almıştır. 2001-2004 yılları arasında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Uzman Araştırmacı olarak görev almıştır. 2004-2016 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE' de Başuzman Araştırmacı olarak görev almıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Başuzman Araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Uygulamalı Lazer Fiziği, kızılötesi teknolojiler, optik ve termal görüntü işleme, sıcaklık ve optik metrolojisi için cihazlar ve sensörler üzerine çalışmaktadır.

TÜBİTAK UME'DE (SÜPER) YALITIM MALZEMELERİNİN TERMAL İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ

Mücahit KORKMAZ
Semih YURTSEVEN
Hümbet NASİBLİ

ÖZET

Günümüzde, bilim insanları arasında, geçen son on yılda Dünya'nın atmosferinin (ve okyanusların) ısınmasının temelinde fosil yakıtların yakılmasının ve ormanların tahrip edilmesinin büyük rol oynadığı insan faaliyetlerinden kaynaklandığına dair yaygın bir mutabakat vardır [1]. Çok sayıda çalışma, konut ve ticari binaların enerji tüketiminin toplam karbon salınımının önemli bir kısmını oluşturduğunu göstermektedir [2-3]. Şu anda, bu fikir birliğine dayanarak, ülkemiz de dahil olmak üzere birçok gelişmiş ülke, yenilenebilir enerji teknolojilerine ve atmosfere sera gazı salınımlarının en aza indirilmesine yönelik araştırmalara güçlü şekilde teşvik sağlamıştır. Enerji tasarruflu termal dirençli yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi ve tanıtılması, yerleşim alanlarında enerji verimliliğini artırmak için kilit önlemlerden biridir. Öte yandan, günümüzde neredeyse sıfır enerji bina konsepti çerçevesinde, geleneksel insan yapımı veya doğal yalıtım malzemeleriyle birlikte, süper yalıtım malzemeleri (SYM), aerojeller gibi, vakum yalıtım panelleri, gaz dolu paneller, faz değişimi malzemeleri vb. inşaat sektörüne yoğun bir şekilde yayılmaktadır. Bu bağlamda, yalıtım ve SYM materyallerinin doğru ve izlenebilir ölçümleri akredite olmuş laboratuvar ve birçok Ulusal Metroloji Enstitüsü için sıcak bir konudur.

Bu makalenin, UME'deki yalıtım ve SYM ısıl iletkenlik ölçümleri alanındaki son etkinliklerini vurgulaması amaçlanmıştır. Halen, yalıtım malzemelerinin ısıl iletkenlik ölçümleri, ASTM C177 ve ISO 8032: 1991 standartlarına uygun mutlak bir ölçüm metodu ile yapılmaktadır. Bu amaçla, tek numune muhafazalı sıcak plaka yöntemine dayalı cihaz kullanılır. Sistem, ısıl iletkenlik ölçümlerinin oda sıcaklığından 250 °C'ye kadar 0,0015 W/m*K ila 0,35 W/m*K aralığında yapılmasına izin verir.

Ayrıca, bu çalışmada iki farklı referans malzemesinin kurum içi termal iletkenlik ölçümlerinin sonuçlarını aktarıyoruz. İlk referans malzemenin ısıl iletkenliği 80 °C'nin altında ölçülmüş ve bu referans malzeme için NIST sertifikasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İkinci malzeme, 60 °C ila 250 °C sıcaklık aralığında ölçülmüştür. Son olarak, makale UME'deki yalıtım ve SYM malzemelerinin izlenebilir ölçümlerinin gelecek planları ile sona ermektedir.

Anahtar Kelimeler: Muhafazalı sıcak plaka yöntemi, Yalıtım malzemeleri, Süper yalıtım malzemeleri, Isıl iletkenlik.

ABSTRACT

In our days, there is a common agreement among the scientist that warming of the Earth's atmosphere (and oceans) over the past few decades is primarily caused by human activities, where the burning of fossil fuels and deforestation play major roles [1]. A huge number of works demonstrate that energy consumptions of residential and commercial buildings accounts for a significant portion of the total carbon emissions [2-3]. Currently, based on this consensus many developed countries including the Turkish government have been introduced a strong stimulation of research into renewable energy technologies and minimization greenhouse gas emission into the atmosphere. Development and introduction of energy-efficient thermal resistance insulation materials are one of key measures for improving the energy efficiency of built environments. On the other hand, nowadays,

in the frame of the nearly zero energy building concept, along with the traditional man-made or natural insulation materials, super insulation materials (SIM) such as aerogels, vacuum insulation panels, gas filled panels, phase change materials etc. have been extensively penetrating to the building sector. In this regard, accurate and traceable measurements of the insulating and SIM materials are the hot subject for many NMIs and accredited laboratories.

This paper is intended to highlight the recent activities at UME in the field of the thermal conductivity measurements of insulating and SIM materials. Currently, the thermal conductivity measurements of insulating materials are performed by means of an absolute measurement method in accordance with the ASTM C177 and ISO 8032:1991 standards. For this purpose a single specimen guarded hot plate method based apparatus is employed. The system allows performing the thermal conductivity measurements in the range from 0.0015W/m*K to 0.35W/m*K from the room temperature up to 250°C. Besides, in this work we communicate the results of the in house thermal conductivity measurements of two different reference materials. The thermal conductivity of the first material was measured below 80 °C and compared with the results obtained from the NIST certificate for this material. The second material is characterized in the temperature range from 60°C to 250 °C. Finally, the paper concludes with the future plans in the traceable measurements of the insulating and SIM materials at UME.

Key Words: Guarded hot plate method, Insulation materials, Thermal conductivity, Super insulation materials.

1. GİRİŞ

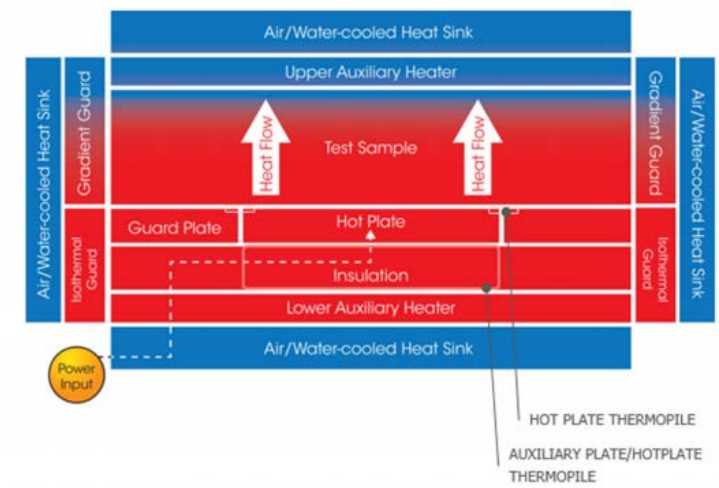
Çeşitli alanlarda enerjinin korunması için yalıtım malzemelerinin kullanımı en efektif yöntem olarak bilinmektedir. Bu amaçla oldukça çeşitli yalıtım malzeme türleri geliştirilmiştir ve günümüzde de yaygın olarak geliştirilmektedir. Bu malzemeler ısı ışınımı, ısı iletimi ve ısı taşınımı yolu ile ısı akışının azaltılmasında kullanılmaktadırlar. Son yıllarda her üç ısı akışını önleyebilen yalıtım malzemeleri özellikle de süper yalıtım malzemeleri üretilmeye başlanmıştır. Bunların arasında aerojeller vakum yalıtım panelleri ve çeşitli kompozit çok fonksiyonel katmanlı materyaller yer almaktadır. Bu tür malzemelerin en önemli özelliği efektif ısı iletkenlikleridir. Bu ısı iletkenliğinin belirlenmesi için çeşitli ölçüm metotları mevcuttur. Bu iki metot, sürekli hal (steady-state method) ve sürekli olmayan hal (non-steady-state or transient method) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. İkinci metotta ölçümler numunenin ısıtıldığı ısıtılma zamanında gerçekleştirilir ve çok hızlı sonuç elde edilmesini sağlar. Birinci metot ise numune ısıtıldıktan sonra tüm sistemin ısısal dengeye gelmesini talep etmektedir. Denge halinde numune ve tüm ölçüm alanının her bir noktasında zamana karşı sıcaklık değişmemektedir. Sıcaklığın dengeye gelmesi uzun zaman almaktadır. Bu da bu metodun en büyük dezavantajlarından birisidir. Fakat sürekli hal metodu mutlak ölçüm metodu olduğundan süper yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerini ölçmek için ulusal metroloji enstitülerinde en yaygın kullanılan metot haline gelmiştir. Muhafazalı Sıcak Plaka (MSP) yani İngilizce adıyla Guarded Hot Plate (GHP) metodu daha komplike ölçüm sistemine dayalı olmasına rağmen termal iletkenliği 0.02 W/m*K'nin altında olan süper yalıtım malzemelerini termal iletkenliğinin ölçümünde kullanılabilen en hassas ölçüm metodu olarak bilinir. Bu çalışmada TÜBİTAK UME'de, MSP metodu ile çalışan sistemde referans ölçüm sonuçları yer almaktadır.

2. MUHAFAZALI SICAK PLAKA ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Isı akışını önlemek için kullanılan (süper) yalıtım malzemenin en karakteristik özelliği, birimi [W/mK] olan ve o malzemenin ısıyı iletme özelliğini tanımlayan ısıl iletkenliğidir. Muhafazalı Sıcak Plaka ölçüm yöntemi oldukça düşük değerli ısıl iletkenliğe sahip malzemelerin iletkenlik karakterizasyonunda kullanılan tek mutlak metottur. Özellikle, cam, seramik, polimer ve yalıtkan malzemeler gibi metal olmayan malzemelerin transfer özelliklerini belirlemek için kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu

metot doğru kullandığında ışınım, iletim (katı ve gaz fazı) ve taşınım yoluyla ısı transferini göz önünde bulundurarak yüksek doğrulukla ölçümler gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır.

MSP metodunda sadece nesnenin kalınlığına, ölçümlerin gerçekleştirildiği sıcaklıklara ve numuneye uygulanan elektrik güç ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde MSP ile çalışan sistemler elektrikli ısıtıcı, düz metal yüzey plakaları ve sıcaklık ölçüm bölümünde oluşan cihaz konfigürasyonuna sahiptirler. Tek veya çift numune kompartımanına sahip olmalarına göre iki farklı yaklaşımla MSP ölçüm cihazları yaygınlaşmaktadır. Çift kompartıman sistemler, ölçüm için iki adet aynı numune hazırlanmasını talep etmektedir. Bunun karşılığı ise tek ölçümde yerçekiminden kaynaklanan düzeltmelerin ölçüm sonuçlarına otomatik olarak eklenebilmesidir. Tek numunelik sistemde ise aynı numune gerektiğinde iki defa farklı yönlerden ölçülmektedir. Bu sistemde numune, Şekil 1'de görüldüğü üzere, ısıtma ünitesi ile yalıtımlı koruma plakaları arasına yerleştirilerek ölçümler yapılmaktadır. Sistem ayrıca numunenin kalınlığını otomatik olarak belirleme yeteneğine de sahiptir.



Şekil 1. Tek numune muhafazalı sıcak plaka cihazı.

Kararlı durumda, ölçüm alanındaki termal denge kurulduğunda, ısı akış hızı eşitlik (1) ile hesaplanır.

$$\theta = U * I \quad (W) \qquad (1)$$

Burada (U, V) ve (I, A) sırasıyla voltaj ve akımdır. Numunenin termal direncini temsil eden R, ısı akış hızı θ[W], ölçüm alanı A[m^2] ve plakaların içindeki ısıl çiftlerle ölçülen sıcaklık farkı (∆t, K) bilgileriyle hesaplanır.

$$\Delta t = t_{sıcak} - t_{soğuk} \quad (K) \qquad (2)$$

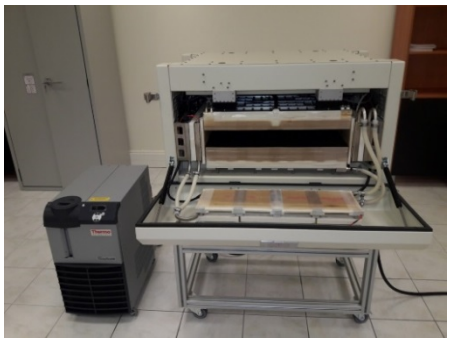
Daha sonra, numunenin ortalama termal iletkenliği, termal dirençten hesaplanır:

$$\lambda = \frac{L}{R} = \frac{\theta * L}{(t_{sıcak} - t_{soğuk})A_m} \quad (W/mK) \qquad (3)$$

3. FOX600 GHP SİSTEMİ

TÜBİTAK UME'deki sistem tek numunelik kompartımanına sahip FOX600 GHP cihazıdır (Şekil 2.).

(a)



(b)

Şekil 2. (a) ve (b) FOX 600 GHP'nin görüntüleri

Aşağıdaki tabloda FOX 600 GHP sistemine ait özellikler verilmiştir.

Tablo 1. FOX600 Muhafazalı Sıcak Plaka cihazı özellikleri

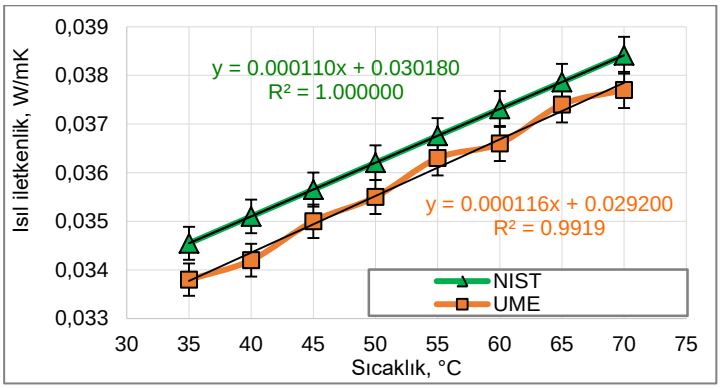
Tanım	Özellikler
Sıcaklık aralığı	Ortam sıcaklığından 250 °C kadar
Termal iletkenlik aralığı	0.0015 W/mK – 0.35 W/mK
İletkenlik	12 $W/m^2*°C$ üzerinde
Kalınlık çözünürlüğü	0.025 mm
Numune genişliği	610 mm^2
Numune kalınlığı	0-75 mm
Test yapılandırması	Tek numune
Sıcaklık kararlığı	± 0.02 °C
Mutlak doğruluk	%1'den iyi
Tekrar üretilebilirlik	± %0.5
Tekrarlanabilirlik	± %0.2

4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

MSP cihazı ile oda sıcaklığından 240 °C sıcaklığa kadar bir dizi ısıl iletkenlik ölçümleri yapıldı. MSP sisteminin ölçüm aralığı, düşük sıcaklık(oda sıcaklığı ile +80 °C) ve yüksek sıcaklık(+80 °C ile +240 °C) olmak üzere iki farklı opsiyondan oluşmaktadır. Sistemi düşük sıcaklık aralığın doğrulamak için izlenebilirliği NIST'e olan cam elyaf ("SRM1450d") kullanıldı. Bu elyafın (Şekil 3 (a)) hacimsel yoğunluğu 117 ± %1,2 $kg*m^{-3}$ ve kalınlığı 25 mm'dir. Isıl iletkenlik değeri $\lambda = (1{,}10489*10^{-4})*T$ ± %1,0 (k=2) W/m*K olarak ölçülmüş ve sertifikalandırılmıştır.

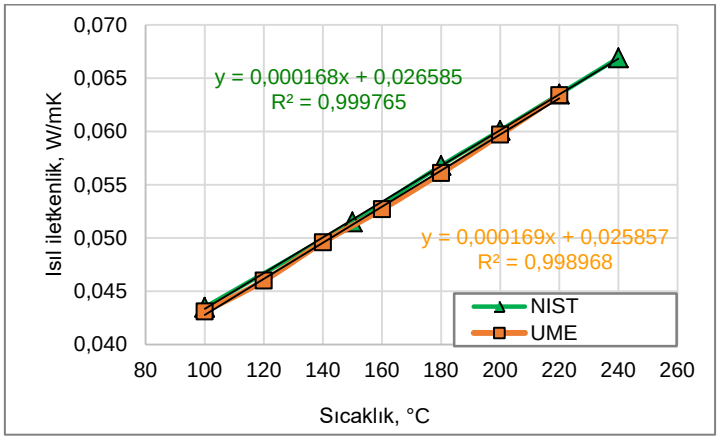
(a) (b) (c)

Şekil 3. Yalıtım malzemelerinin görüntüleri (a) Fiber cam elyaf SRM1450d, (b) Mineral Yün ve (c) Taş yünü.



Şekil 4. SRM1450d ölçümleri.

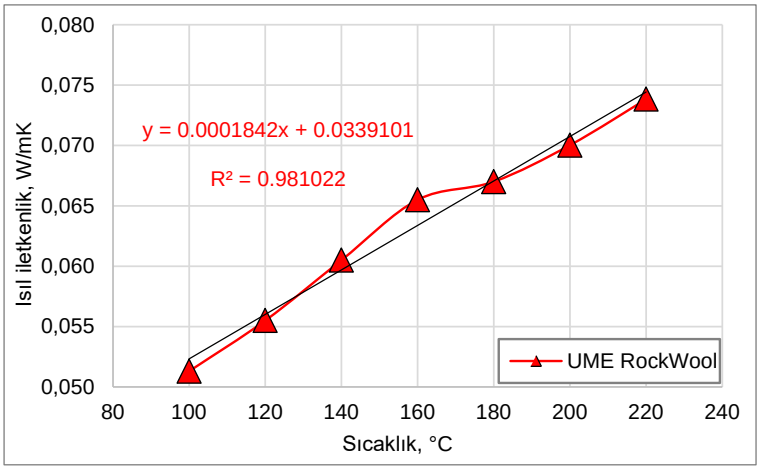
Sistemin yüksek sıcaklık aralığını doğrulamak için izlenebilirliği NIST'e olan mineral yün (minwool05272018) kullanıldı. Bu mineral yünün (Şekil 3 (b)) kalınlığı 24 mm'dir. Isıl iletkenlik değeri $\lambda = (1{,}68*10^{-4})*T \pm \%1{,}0$ (k=2) W/m*K olarak ölçülmüş ve sertifikalandırılmıştır.



Şekil 5. Mineral yün ölçümleri.

Şekil 5'ten görülebileceği gibi, yüksek sıcaklık aralığında elde edilen UME ve NIST verileri arasında uyum (ölçülen değerlerin arasındaki farkın ölçüm belirsizliğinden düşük olması) vardır.

Sistemde yüksek sıcaklık aralığında değerleri daha önce hiç ölçülmemiş bir numune olan taş yünü (UME RockWool) kullanıldı. Bu mineral yünün (Şekil 3 (c)) kalınlığı 65 mm'dir. Isıl iletkenlik değeri ilk defa $\lambda = (1{,}842*10^{-4})*T \pm \%1{,}0$ (k=2) W/m*K olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. UME RockWool(taş yün) numunesi yüksek sıcaklık ölçümü

SONUÇ

Bu çalışmada, TÜBİTAK-UME'de Termofizik laboratuvarında (süper) yalıtım malzemelerin ısıl iletkenlik ölçüm sisteminin performansı yer almaktadır. Sistem oda sıcaklığı ile 80 °C ve 80° C ile 240 °C aralıklarında ölçüm kapasitesine sahiptir. Sistemin doğrulanması için izlenebilirliği NIST'e (ABD) olan iki adet farklı referans malzeme kullanılmış ve elde edilen sonuçlar arasındaki farkın ölçüm belirsizliğinin altında olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "UME Araştırmalarının Yenilenmesi ve Geliştirilmesi" programı, 2017K120940 proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Cuce E. and et all, "Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: a comprehensive review", Renewableand Sustainable Energy Reviews, 2014, 34, 273-299.

[2] Alotabi S.S. and Riffat S., "Vacuum insulating panels for sustainable buildings: a review of research and applications," Int. J. of Energy Research, 2014, 38, 1-19.

[3] Lorenzati A., "Super Insulating Materials for energy efficient buildings: thermal performance and experimental uncertainty," Doctoral dissertation, Politecnico di Torino and INRiM, Torino, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Mücahit KORKMAZ

1994 yılı Manisa doğumludur. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı Bölümünden 2014 yılında mezun olmuştur. 2017 yılı Ocak ayından itibaren UME Sıcaklık Laboratuvarında teknisyen olarak görev yapmaktadır.

Semih YURTSEVEN

1991 yılı Giresun doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Metroloji Programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2018 yılından beri TÜBİTAK-UME' de Sıcaklık Laboratuvarlarında çalışmaktadır.

Hümbet NASİBLİ

1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2000 yılında Azerbaycan Bilimler Akademisi, Fotoelektronik Enstitüsünde Deneysel Fizik Teknikleri ve Bilimsel Cihazlar konusu üzerine çalışmış ve PhD. unvanını almıştır. 1992-2001 yılları arasında Fotoelektronik Enstitüsünde Lazer Spektroskopisi bölümünde Optik Mühendisi olarak görev almıştır. 2001-2004 yılları arasında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Uzman Araştırmacı olarak görev almıştır. 2004-2016 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE' de Başuzman Araştırmacı olarak görev almıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Başuzman Araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Uygulamalı Lazer Fiziği, kızılötesi teknolojiler, optik ve termal görüntü işleme, sıcaklık ve optik metrolojisi için cihazlar ve sensörler üzerine çalışmaktadır.

RADYASYON TERMOMETRELERİNDE YANSIMA ÖLÇÜMÜ

Aynur DAVUT

ÖZET

Isı, kinetik enerji ile eş anlamlı olup birimi joule olarak ifade edilir. Isı transferi hareket halindeki enerji olarak düşünülebilir. Sıcaklık ise kinetik enerji, hareketin enerjisinin ölçüsüdür ve ısıl iletim, hareket sonucu oluşan çarpışmalardan dolayı oluşur. Çarpışma mekanizmaları katı, sıvı ve gazlarda değişken olmasına rağmen iletim, daha enerjik atom veya moleküllerin daha düşük enerjili atom veya moleküllere enerji transferiyle olur ve cisim termal dengeye ulaşılana kadar devam eder. Isı transferi üç şekilde olur, iletim, taşınım ve ışıma. Isıl radyasyon elektromanyetik dalga formundadır ve nesne yeterince sıcak ise radyo dalgaları, İnfrared, UV, X-ray olarak tüm spektrumu kapsar.

Radyasyon termometreleri dar band ve geniş band termometreler olarak iki grupta toplanır. ITS 90 Sıcaklık skalasında yüksek sıcaklıklardaki izlenebilirlik radyasyon termometreleri ile sağlanır. Endüstriyel olarak kalibrasyonlarını yaptığımız düşük sıcaklık ölçümlerinde kullanılan radyasyon termometreleri genel olarak (-40 °C den 1000 °C ye kadar) Kızılötesi spektruma tepki veren termometrelerdir ve bu nedenle infrared termometre olarak da adlandırılır. 8 µm – 14 µm arasındaki dalga boyuna duyarlıdırlar.

Bu yazıda radyasyon termometreleri belirsizlik bütçesinde yer alan yansıma etkisinin nasıl ölçülebileceği ve belirsizlik bütçesine dahil edileceği üzerinde duracağız.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, IR, Radyasyon Termometresi, Belirsizlik Bütçesi, Yansıma etkisi, Yansıma Belirsizliği

ABSTRACT

Heat is synonymous with kinetic energy, expressed in units of joules. Heat transfer can be considered as energy in motion or moving energy. Temperature is a measure of the energy in motion, and thermal conduction is caused by collisions caused by motion. Although the collision mechanisms are variable in solids, liquids and gases, conduction occurs by transferring energy from more energetic atoms or molecules to lower energetic atoms or molecules, and the body continues until thermal equilibrium is reached. Heat transfer occurs in three ways: conduction, convection and radiation. Thermal radiation is in the form of electromagnetic waves and covers the entire spectrum as radio waves, Infrared, UV, X-ray if the object is hot enough. Radiation thermometers are categorized in two groups as narrow band and wide band thermometers. Traceability at high temperatures on the ITS 90 temperature scale is ensured by radiation thermometers. Radiation used in industrial low calibrations thermometers are generally (from -40 ° C to 1000 ° C) thermometers that respond to the infrared spectrum and are therefore also referred to as infrared thermometers. 8 µm to 14 µm are sensitive to wavelength. In this text, we will focus on how to measure the reflection effect in the uncertainty budget of radiation thermometers and include them in the uncertainty budget.

Key Words: Radiation, IR, Radiation Thermometers, Uncertainty Budget, Reflection Effect, Reflection Uncertainty

1. GİRİŞ

Isı transferi üç yolla olmaktadır, taşınım, iletim ve radyasyon. En yaygın olarak bildiğimiz iletim şekli temas yoluyla ısı transferidir. Sıcaklık kalibrasyonunda en fazla yapılan kalibrasyon çalışmalarıdır ve kontak sıcaklık ölçümü olarak adlandırılır. Bununla birlikte taşınım, örneğin bir saç kurutma makinası ile sıcak havanın üflenmesi ya da sirkülasyonlu bir banyoda sıcaklığın homojen olarak dağıtılması gibi kontak sıcaklık ölçümü ile birlikte yürür. Radyasyon ya da ışıma, ısı transferi biçimidir ve en fazla hissettiğimiz şekli ise güneşten gelen radyasyonun bizi ısıtması olarak ifade edilebilir. Yani direkt temasın olmadığı ısı transferi. Bu tip temasın olmadığı sıcaklık kalibrasyon konuları da radyasyon sıcaklığı altında toplanır. Radyasyon sıcaklığını ölçen termometreler de radyasyon termometresi olarak adlandırılır. Isıl radyasyon elektromanyetik dalga formundadır. Elektromanyetik spektrumda bizim ilgilendiğimiz alan, görünür bölge ve kızılötesidir. -40 °C ile 1000 °C arasında ölçme yapan radyasyon termometreleri kızıl ötesi spektrumda yer alan ışımaları ölçtüğü için IR (infrared- kızılötesi) termometre olarak adlandırılmakta olup 8 µm ile 14 µm aralığında spektral duyarlılığa sahiptirler.

2. RADYASYON TERMOMETRESİ KALİBRASYONU

Radyasyon termometreleri yüzey sıcaklığı ölçer. Dolayısıyla her bir yüzey sensör gibi davranır. Her farklı yüzey sensör gibi davranırsa izlenebilirliğin nasıl sağlanacağı önemlidir. Bu amaçla kalibrasyon yapılırken; yüzey özellikleri bilinen transfer standardı olarak görev yapacak kaynak gerekir. Radyasyon dağılımının matematiksel tanımı için spektral radyans (ışıma) ve siyah cisim tanımı gerekir.

Spektral radyans, yüzeyin birim katı açı, birim dalga boyu, birim alanı tarafından yayılan enerji olarak ölçülen yüzeyin optik parlaklığını ifade eden teknik bir terimdir. Diğer optik büyüklüklere göre *radyans* (ışıma) kullanımının avantajı yüzeyin uzaklığından ve büyüklüğünden bağımsız olmasıdır.

Siyah cisim, basit olarak mükemmel siyah yüzeydir, ışımayı mükemmel olarak absorblar ve yayar. Nesneler üç temel optik özelliğe sahiptir, yayma (emissivity), yansıtma (reflectivity) ve geçirgenlik (Transmissivity).

Yansıtma + Yayma + geçirgenlik = 1 (1)

$$\rho + \epsilon + \tau = 1 \quad (2)$$

Radyasyon sıcaklık ölçümünde karşılaşılan pek çok nesne mat olduğu için geçirgenlik sıfırdır böylece yayma ve yansıtma birbirini tamamlayıcı özelliktir. Planck'ın siyah cisim ışımasının dağılımı için ifade ettiği formül;

$$L_b(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5}\left[e^{\left(\frac{c_2}{\lambda}\right)-1}\right]^{-1} \quad (3)$$

L: Radyans, b indisi siyah cismin radyansı olduğunu ifade eder, λ ışımanın dalga boyu ve T'de kelvin olarak siyah cismin sıcaklığıdır.

c_1 ve c_2 sabit olup 1. ve 2. Işıma sabitleri olarak bilinir. Ölçülen en iyi değer;

$$c_1 = 1{,}191044 \times 10^{-16}\ Wm^2$$

ve

$$c_2 = 0{,}01438769\ mK$$

Planck yasası, gümüş sabit noktasından yukarıdaki sıcaklıklarda ITS 90 sıcaklık ölçeğini tanımlamada kullanılır. Bunu yapabilmek için ikinci ışıma sabiti,

$c_2 = 0{,}014388\ mK$

Olarak atanmıştır. Pratikte gerçek nesneler siyah cisim değildir ve Planck yasasıyla belirlenen ışımadan ε faktörü kadar daha az ışıma yaparlar. Gerçek nesnelerin spektral ışıması,

$$L(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) L_b(\lambda, T) \quad (4)$$

Burada $\varepsilon(\lambda)$ dalga boyu ile değişen yayma (emisiviteyi) gösterir. Planck yasasına göre sıcaklığın fonksiyonu olarak spektral dağılım incelendiğinde, sıcaklık artarken maksimumlar daha kısa dalga boylarında oluşur. Maksimumdaki dalga boyu,

$$\lambda_{maks} = \frac{2989}{T}\ \mu m \quad (5)$$

3. RADYASYON TERMOMETRELERİNİN KULLANIMI

Radyasyon termometreleri temaslı termometreler kadar doğru olmasa da hızlı ölçme ve temassız ölçüm yapabilme kabiliyetinden ötürü çeşitli uygulamalar da kullanılabilirler.

Radyasyon termometreleri ölçümü başlatmak ve durdurmak için tetikle donatılmıştır.

Nesneler sıcaklık değiştikçe yaydıkları termal radyasyon da değişir. Termal radyasyon miktarı, nesnenin sıcaklığı, yayması (emiisivite) ve yansıyan sıcaklığına dayanarak tahmin edilebilir.

El tipi radyasyon termometreleri verilen spektral aralığında termal radyasyonu ölçer ve sıcaklık ile termal radyasyon arasındaki ilişkiyi belirler. Bu cihazlarda esas olarak kullanılan algılayıcı ısıl pildir.

3.1 Temel IR Ölçümü

Ölçüme başlamadan önce IR termometrenin emisivitesini, cihazın spektral aralığına göre ölçülecek nesnenin etkin emisivitesine ayarlanır. Bazı IR termometreler bunun ayarlanmasına imkan vermez çünkü emisivite sabitlenmiştir. Bu durumda matematiksel düzeltme yapılır.

Ölçmek için IR termometre lensi ölçülecek nesneye doğrultulur ve ölçme başlar. Eğer tetik varsa tetiğe basılır ve en az IR termometrenin tepki süresi kadar basılı tutulur. Tetik bırakıldığında göstergedeki değer sabit kalır, bu ölçülen sıcaklıktır.

IR termometrenin D:S oranına göre ölçme yüzeyi tayin edilir. Burada D: mesafe-uzaklık, S: ölçülen büyüklük-çap ifade eder. İyi bir ölçme yapabilmek için hedef yüzey, termometrenin görüş alanından büyük veya eşit olmalıdır.

3.2 Doğruluk

Doğru ölçüme etki eden pek çok faktör dikkate alınmalıdır. En önce ise izlenebilirlik zincirine bağlı olarak IR termometre kalibre edilmelidir. Kalibrasyon sonuçları, sonraki ölçümlerde kullanılmak üzere iki şekilde ele alınabilir. Eğer termometrenin kalibrasyon ayarı varsa, kullanıcı sonuçları cihaza girerek doğrudan okur. Bazı IR termometre kalibrasyonlarında elde edilen offsetler tablo halindedir. Bu durumda kullanıcı doğru sıcaklığı belirlemek için elle hesaplama yapmalıdır.

3.3 Geniş bantlı cihazlar

Düşük sıcaklık IR termometrelerin pek çoğu geniş bantlıdır. Sonuç olarak emisivite spektral aralık üzerinden değişirse ölçümlerde değişir. Genel olarak IR termometre spektral aralıkları 8 – 14 µm arasındadır. Bazı cihazlar 5 – 20 µm spektral aralığa sahiptir. Her durumda, IR termometrenin spesifik bir spektral aralığı olmalıdır.

3.4 Spektral Emisivite

IR termometre bir nesneden gelen termal radyasyonu ölçer. Eğer nesne geçirgen değilse gelen enerji yayılan ve yansıyan enerjinin bileşimidir. Yayılan enerji emisivite olarak bilinir ve ideal bir cisim için ε= 1. Bütün gerçek yüzeyler εE(T), ideal siyah cisimden E(T), daha az enerji yayar. Gerçekte ideal siyah cisim elde edilemez, ideal siyah cisme yaklaşım vardır bunu sağlayan cisimler “cavity radiator” olarak adlandırılır.

Yüksek yayıma sahip nesneler daha iyi termal ışıma yaptıklarından sıcaklıkları daha iyi belirlenebilir. Metal olmayan nesneler metallere göre daha yüksek yayma özelliğine sahip olma eğilimindedir. Okside olmayan metallerde, okside olanlara göre daha düşük yayma özelliğine sahiptir. Kaba –pürüzlü yüzeylerde parlak cilalı yüzeylerden daha yüksek yayma özelliğine sahiptir.

Geniş bant termometreler, yüksek yayma gücüne sahip malzemelerin yüzey sıcaklıklarını belirlemek için geliştirilmiş araçlardır.

3.5 Emisivite kompanzasyonu

Tercih edilen yöntem IR termometrenin emisivite ayarını kullanmaktır. Eğer IR termometre ayarlanabilir emisivite ayarına sahip değilse matematiksel dengeleme yöntemini kullanmaktır ve bu da belirsizliğe sahiptir.

3.6 Yansıyan Radyasyon

IR termometre ile tespit edilen ısıl radyasyon, nesne tarafından yayılan radyasyon ile birlikte yine nesneden ve çevreden yansıyan radyasyondur. IR termometreler bazı durumlarda yansıyan radyasyonu dengeler, bu yansıyan radyasyon veya yansıyan sıcaklık ayarıdır. Bazı durumlarda IR termometre içinde dengeleme yapılır. Yansıyan ışıma eğer ölçülen nesne sıcaklığından düşük eşit veya daha yüksekse yansıyan radyasyon çok yüksek olabilir. Yansıyan radyasyon metal yüzeyler ölçülecekse çok yüksek olabilir. Bu tür durumlarda yansıyan sıcaklık bilinmeli ve kontrol edilmelidir.
Dış ortamda ölçme yapılacaksa ölçülecek nesne atmosferik ışınımından korunmalıdır.

4. SİYAH CİSİM KAYNAKLAR

IR termometre kalibrasyonu yapabilmek için emisivitesi bilinen siyah cisim kaynaklara ihtiyaç vardır. Uygulama, bir kızılötesi termometrenin okuma sıcaklığını bir radyasyon kaynağının ışıma sıcaklığıyla karşılaştırmaktan oluşur. Işıma sıcaklığı, test edilen kızıl ötesi termometrenin spektral aralığına karşılık gelecektir.

Radyasyon kaynakları iki tiptir. İdeal olarak emisiviteleri (1.00)’ e yakın olan kovuk şeklindeki (kavite) kaynaklar. Bazı termometrelerin görüş açılarından dolayı daha büyük ağız açıklığı olan kovuklar veya geniş alanlı düzlemsel kaynaklara ihtiyaç duyulur. Her iki durumda da kaynağın ışıma sıcaklığı izlenebilir ölçümlerle bilinmeli, belirsizlik hesaplamasında dikkate alınmalıdır.

Bazı kaynaklar her iki kategoride de ele alınabilir. Kovuk şeklindeki kaynakların emisivitesi daha doğru belirlenebilir. Düzlemsel kaynaklar daha ucuzdur D:S oranı düşük IR termometrelerin kalibrasyonu için yeterlidir.

İdeal olarak termal radyasyon kaynağının boyutu IR termometre üreticisi tarafından belirlenir. Bu bilginin bulunmadığı durumlarda görüş alanı testi (field of view test) yapılmalıdır. Kızılötesi termometreye kaynaktan gelmeyen sinyal oranı, belirsizlik bütçesinde hesaba katılmalıdır.

Düzlemsel kaynaklar daire veya dikdörtgen düzlem şeklindedir ve kovuk biçimindeki kaynaklara göre emisivite değeri daha düşüktür.

IR termometre kalibrasyonları için kovuk biçimli kaynaklar tercih edilir. Kovuk biçimli kaynakların iki ana üstünlüğü vardır: Birincisi, geometriden dolayı daha iyi emisiviteye sahiptir. İkinci olarak yansıyan sıcaklık daha azdır. Düzlemsel yüzeylerde sıcaklık dağılımının homojenliğine daha fazla dikkat edilmelidir. Kovuk biçimli kaynaklara göre üstünlüğü geniş açıklığı nedeniyle daha küçük D:S oranına (daha geniş görüş alanı) sahip cihazların kalibrasyonuna imkan vermesidir[2].

5. BELİRSİZLİK KAYNAKLARI

Radyasyon termometresi kalibrasyonunda genel olarak ele alınan parametreler aşağıda verilmiştir[2].

(1) kalibrasyon kaynağının emisivite tahmini,
(2) Infrared termometrenin kaynak boyutu,
(3) Işınım kaynağının sıcaklık gradiyeni,
(4) IR termometrenin ışınım kaynağına göre hizalanmaması,
(5) ışınım kaynağının kalibrasyon sıcaklığı,
(6) Çevre sıcaklığı,
(7) yansıyan sıcaklık.

Bu belirsizliklerin yaygınlık sırası, uygun prosedürün kullanımına ve kullanılan termal radyasyon kaynağının türüne bağlı olarak değişebilir. Radyasyon kaynağının sıcaklığına, radyasyon kaynağının kalibrasyon yöntemine, kızıl ötesi termometrenin optik karakteristiğine ve kızılötesi termometre detektörü ve filtre özelliklerine bağlı olarak, bu belirsizliklerin katkısı genel belirsizlik bütçesinde önemli ölçüde değişebilir.

5.1 Yansıma Ölçümü

Bu çalışmada genel bütçe parametreleri içinde verilen yansıma belirsizliği üzerinde durulacaktır. Kalibrasyon için gelen IR termometrelerinde yansıma ile ilgili herhangi bir parametre cihaz üzerinde ve menüsünde görülmemektedir. Ancak emisiviteden kaynaklanan hata ve belirsizlik yanında yansımadan kaynaklı hata ve belirsizlik parametresinin ölçülmesi hesaplanması ve bütçeye konması gereklidir. Bütün nesneler enerji absorblama, aynı zamanda yayma özelliğine haizdir. Bu nedenle IR termometre kalibrasyonu çalışması yapılırken ortam sıcaklığının etkisini tek başına almak yetersiz kalabilir. Çünkü aynı laboratuvar içerisinde kalibrasyon personeli, aydınlatma, aynı anda yapılan başka kalibrasyonlar vb. nedeniyle çevre sıcaklığının ölçümü önem kazanır.

Bütün laboratuvarlar akreditasyon gereği ve kalibrasyonun gereği olarak çevre şartlarını izler ve kayıt altına alır. Bunu yaparken hepimizin bildiği sıcaklık ve nem kaydedici cihazları kullanır. Ancak bu cihazların radyasyon kaynaklı sıcaklığı doğru tespit edip etmediği belli değildir. Bu nedenle sıcaklığı tüm yönlerden alacak şekilde ölçme düzeneği oluşturulmuş ve iki sıcaklık değerinde ortam sıcaklığından ne kadar fark ettiği ölçülmüştür.

5.1.1 Ölçüm

İlk çalışma; siyah cisim kaynağı 100 °C'ye ayarlanmış ve stabil hale gelmesi için beklenmiş ve radyasyon termometresi ile sıcaklık ölçülmüştür.

İkinci olarak; Pt100 termometre siyah bir kürenin merkezine yerleştirilmiş ve radyasyon termometresi kullanılarak küre yüzeyinden radyasyon termometresi ile ve pt100 den göstergeye bağlanarak sıcaklık ölçülmüş ve sıcaklık nem kaydedici cihazın ölçtüğü sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Üçüncü olarak ta Al folyo kullanılarak siyah cismin açıklığından ortama taşınan sıcaklık ölçülmüştür.

Buna göre alınan ölçüm değerleri Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçüm sonuçları

Set sıcaklığı	N tipi ölçülen	Fluke 574 ölçülen	Pt100 Küre	Al folyo sıcaklığı	Fluke 574 küre sıc.	Ortam sıcaklığı	Ölçüm mesafesi	Hesaplanan yansıma hatası-küre	Yansıma hatası Al folyo
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	cm	°C	
100	98,4	96,7	23,92	29,4	23,5	21,2	30	0,01	0,12
200	196,000	195,3	23,67	33,8	24,8	21,8	30	0,01	0,14

Yapılan hesaplama sonucu radyasyon termometresi ışınım kaynağı kovuk şeklinde olduğundan yansıma etkisi küçük bulunmuştur. Hesaplamada kullanılan formüller aşağıda verilmiştir. Hesaplamaların ana formülü Plank denkleminden türetilmiş ve radyasyon termometresi kalibrasyonlarında iyi sonuç veren Sakuma Hattory denklemi kullanılmıştır[2;3].

$$S(T_{meas}) = S(T_S) + \frac{(1-\epsilon_{instr})}{\epsilon_{instr}}[S(w) - S(T_d)] + \frac{(\epsilon_s-\epsilon_{instr})}{\epsilon_{instr}}[S(T_s) - S(T_w)] \quad (6)$$

Burada:

$S(T_{meas})$ = Sakuma-Hattori denkleminin uygulaması
ϵ_s = Ölçülen yüzeyin emisivitesi
ϵ_{instr} = Cihaz emisivite ayarı
T_{meas} = IR termometreden okunan sıcaklık
T_s = Termal ışıma kaynağının beklenen ışıma sıcaklığı
T_w = Yansıyan radyasyon (duvarlar)
T_d = Dedektör sıcaklığı

Yansıma sıcaklığı belirsizliğini değerlendirmek için Denklem 6' nın differansiyeli alınarak denklem 7 elde edilir. Bu değer denklem 8' te yerine koyularak yansıma sıcaklığından dolayı sıcaklık ölçme belirsizliği elde edilir.

$$\frac{\partial S(T_{meas})}{\partial S(T_W)} = \frac{(1-\epsilon_s)}{\epsilon_{instr}} \quad (7)$$

$$U_{REFL}(T_{meas}) = \frac{\partial T_{meas}}{\partial T}(T_W) = \frac{\partial S(T_{meas})}{\partial ST_W}\frac{\frac{\partial S(T_W)}{\partial T}}{\frac{\partial S(T_{meas})}{\partial T}}U(T_W) \quad (8)$$

SONUÇ

Yapılan bu çalışma; esasen emisivitesi 0,95 olan bir küre kullanılarak yapılacak ölçüm, yansıma hatası ve belirsizliğini hesaplamada etkin olur mu? Sorusuna yönelik yapıldı. Bu çalışma yapılırken kürenin emisivitesinin 0,95 olduğu tahmini bir çalışma yapılmıştır. Hesaplama sonuçları, düzeltme olarak kullanılacak hataların küçük olduğunu göstermektedir. Kullanılan ışıma kaynağı kovuk şeklinde tasarımlanmış olduğundan yansıma etkisi küçüktür. Yöntem en azından ortam sıcaklığını ölçmede özellikle ışımadan kaynaklı sıcaklığı ölçmede kullanılabilir gözükmektedir. Düzlem ışıma kaynakları açısından yararlı olabilir.

KAYNAKLAR

[1] J. V. Nicholas; D. R. White. “Traceable Temperatures”, John Wiley & Sons, Ltd. Second edition 2005.
[2] ASTM E2847-14 “Standard Test Method for Calibration and Accuracy Verification of Wideband Infrared Thermometers”
[3] ASTM 2758 - 15a “Selection and Use of Wideband, Low Temperature Infrared Thermometers”
[4] Reflection Errors in Radiation Thermometry http://www.measurement.govt.nz

ÖZGEÇMİŞ

Aynur DAVUT

1961 yılı Kütahya Emet doğumludur. 1985 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğini bitirmiştir.1986 yılında EİEİ Gen. Müd. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Daire Başkanlığı’nda güneş pilleri üzerine çalışmıştır. 1993 yılında TSE Kalibrasyon Daire Başkanlığı bünyesinde sıcaklık kalibrasyon laboratuvarında göreve başlamış ve çalışmasını TSE Kalite Kampusü Gebze’de sıcaklık kalibrasyon Laboratuvarında sürdürmüştür. Bu süre zarfında Kalibrasyon, Laboratuvarlar arası Karşılaştırma ve Yönetim Sistemleri alanında yurt içi ve yurtdışı eğitimler almış, görevine yönetim temsilcisi ve kalibrasyon müdürü olarak devam etmiştir. 2017 yılı Ağustos ayında Baş Araştırmacı olarak TSE’den emekli olmuştur. 2005 yılından bu yana TÜRKAK’ ta Denetçi ve Baş Denetçi olarak akreditasyon çalışmalarında yer almıştır ve halen sürdürmektedir.

TSE’den emekli olduktan sonra “DACKA Kalibrasyon Danışmanlık Eğitim- GEBZE” firmasında Yönetim temsilcisidir ve Sıcaklık-Nem-Elektrik kalibrasyonu alanında çalışmalarını sürdürmektedir.

RADYASYON (IR) TERMOMETRELERİN KALİBRASYONUNDA ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ

Melda PATAN ALPER
Ahmet T. İNCE
Maria AIORDACHIOAIEI

ÖZET

Radyasyon (IR) termometreleri, son yıllarda yaygın olarak, yüzey sıcaklıklarının temassız ölçümünde kullanılan cihazlardır. Bu tür termometreler hızlı ölçme yetenekleri, makul fiyatları, geniş ölçüm aralıkları ve kullanım kolaylıkları sebebiyle sağlıktan, gıdaya, otomotivden, tarıma, demir-çelikten kimyaya kadar pek çok farklı sektörde tercih edilmektedirler. Yapılan ölçümlerin doğruluğu için ise kalibrasyon gereklidir. Termometrelerin kullanımı esnasında kalibrasyon sonuçları büyük önem taşır, bu sebeple ölçüm belirsizliğinin hesabında ölçüme etki eden tüm parametrelerin hesaba katılması gerekmektedir. Bu çalışmada, -40°C...+500°C ölçüm aralığında radyasyon termometrelerin kalibrasyonunda ölçüm belirsizliğine etkisi olan emisivite, hedef büyüklüğü etkisi, siyah cisim yüzey sıcaklık dağılımı vb. gibi parametrelerin hesabı ve sonuçların nasıl değerlendirileceği açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: IR Termometre, Radyasyon Termometre, Siyah Cisim, Emisivite

ABSTRACT

Radiation (IR) thermometers have been widely used in non-contact measurement of surface temperatures in recent years. These types of thermometers are preferred in many different sectors from health, food, automotive, agriculture, iron and steel to chemistry due to their rapid measurement capabilities, reasonable prices, wide measurement ranges and ease of use. Calibration is required for the accuracy of the measurements. Calibration of these thermometesr are of great importance when using thermometers, hence parameters affecting the measurement need to be taken into account in the calculation of measurement uncertainty. In this study, emissivity, target size effect, black body target surface temperature distribution, etc. effect on measurement uncertainty will be investigate for the calibration of radiation thermometers in the measurement range of -40 ^{o}C.... + 500 ° C.

Key Words: IR Thermometer, Radiation Thermometer, Black Body, Emissivity

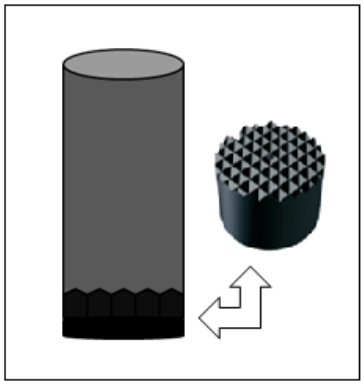
1. GİRİŞ

Radyasyon termometreleri ilaç, gıda saklama, depolama, sağlık fiziği, demir-çelik endüstrisi ve araştırma geliştirme çalışmalarında, düşük maliyeti, güvenilir sonuç vermesi, pratik kullanımı, yüksek sıcaklık ölçme kabiliyetleri gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılanılırlar. Temaslı sıcaklık sensörlerinin kullanılamadığı ve/veya hızlı şekilde yüzey sıcaklığının ölçülmesi gereken durumlarda tercih edilirler. Ölçümlerin güvenilirliği açısından radyasyon termometrelerinin kalibrasyonları önemli bir ihtiyaçtır. Radyasyon termometrelerin kalibrasyon sisteminin en önemli parçası siyah cisimlerdir (blackbody). Siyah cisimlerin temel optik özellikleri emisiviteleri ve yansıtıcılıklarıdır. İki tür siyah cisim kaynağı vardır; düz plaka (flat plate) ve kavite (cavity) tipi kaynaklar [1, 2]. Bu çalışmada düşük sıcaklıkta (-40 °C...+150 °C) kavite tipi siyah cisim sıvı banyo içerisinde kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan ölçüm sistemi özel olarak tasarlanmıştır. 4.5 cm çapında ve 30 cm uzunluğunda silindirik bir tüp, iç kısmı siyah emaye boya ile kaplanmış ve Şekil l'de gösterilen ticari olarak temin edilebilen siyah cisim hedefi bu kavite içine yerleştirilmiştir. Siyah cisim hedefi kavite içerisinde (Hart Scientific marka) sıcaklık kontrollü banyolara (alkol, su ve yağ) daldırılmıştır. Sıvı banyo içerisinde kullanılan siyah cisim

kavitesi, sıvıların termal iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle hızlı kararlılık sağlar. Kavite tipi siyah cisimler özellikle sıvı içerisinde daha kararlıdırlar ve ışığı absorbe etme durumu düz plaka tipi siyah cisimlere göre etkindir [2-4]. Bu iki parametre, kararlılık ve ışıma, ölçüm sonucu ve ölçüm belirsizliğini etkileyen faktörlerdir [5]. Radyasyon termometrelerin kalibrasyonunu bu sistemde gerçekleştirebilmek için, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) tarafından öncelikle sistemin emisivite değeri tayin edilmiş, sistem kalibre edilmiş ve izlenebilirliği sağlanmıştır. Emisivite değeri 0.999 olarak tespit edilmiştir.

2. CİHAZLAR

Sıcaklık kalibrasyonlarında ölçüm belirsizliğini etkileyen önemli faktörlerden biri sıcaklık kaynaklarının (sıvı banyoların, fırınların) performansıdır. Kaynak performansı homojenlik ve kararlılık değerlerinin uygun yöntemle dikkatlice değerlendirilmesi ile belirlenir [6,7]. Bu araştırmada, Hart Scientific marka 7341 model alkol banyosu, 7037 model su banyosu, 6022 model yağ banyosu kullanılmıştır. Sıvı banyoların sıcaklık dağılımı, kalibrasyondan önce ASTM E644 standardına göre referans platin direnç termometreler yardımıyla yatay ve dikey olarak homojenite ve kararlılık değerlerinin belirlenmesiyle başlamıştır [8]. Banyoların kararlılık ve homojenitesi analiz edildikten sonra, IR termometresinin kalibrasyon işlemi karşılaştırma yöntemiyle gerçekleştirildi. Banyo içerisindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için, Hart Scientific marka standart platin direnç termometreler (SPRT) kullanılmıştır. IR test termometresinin kalibrasyonunda HEITRONICS Transfer Radyasyon Termometresi (TRT II) referans termometre olarak kullanıldı. 0.999 emisivite değerine sahip siyah cisim hedefi ISOTECH'ten temin edildi.



Şekil 1. Özel tasarlanmış tüpün içerisine yerleştirilen ticari olarak temin edilebilen siyah cisim hedefi

3.METOT VE ÖLÇÜMLER

Siyah cisim kavitesi sıvı banyo içerisindeyken, banyo ölçümün yapılacağı sıcaklık değerine set edilmiştir. Sistem dengeye geldiğinde ölçümlere başlanmıştır. Ölçümlerde odak uzaklığı önemlidir, termometrenin odak uzaklığına ilişkin bilgi radyasyon termometresinin üzerinde belirtilen değerdir, bu uzaklık ölçümlerden önce test edilmiştir. IR Test termometresi siyah cisim kaynağına belirtilen oranda yaklaştırıldı. Kalibrasyona başlamadan önce, radyasyon termometresinin (referans ve test) lensi dikkatli bir şekilde temizlendi. IR Test temometresinin emisivite değeri, kullanılan sistem (siyah cisim kavitesiyle) ve referans radyasyon termometresi ile aynı olacak şekilde ayarlandı. Radyasyon termometresi kalibrasyonu karşılaştırma metodu ile gerçekleştirilmiştir. Herbir ölçüm noktasında referans-test, test-referans olacak şeklide en az 10 ölçüm alındı. Tüm kalibrasyon noktalarında ölçümler gerçekleştikten sonra herhangi bir sıcaklık değeri tekrarlanabilirlik ölçümü için yeniden ölçüldü.

Ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasında kalibrasyonu etkileyen tüm parametreler analiz edilmiştir [3, 8, 9]. Belirsizlik parametreleri, kalibrasyonda kullanılan yönteme, kullanılan donanıma ve kullanılan termal radyasyon kaynağının türüne bağlı olarak değişebilir. Belirsizlik hesabı Tablo 1'de verilen her bir etki için aşağıda tarif edilen şekilde analiz edildi ve hesaplandı. İlk etki kullanılan referans radyasyon termometresinin (Heitronics radyasyon termometresi) PTB'den kalibrasyon sertifikasından

elde edilen belirsizlik değeridir. Kapsama faktörü de sertifikadan elde edilir ve normal dağılım için % 95 güven aralığı için genellikle k = 2'dir. Referans radyasyon termometresinin yıllık kayması, son iki kalibrasyon sertifikasından nominal değerleri arasındaki farktan elde edildi, dağılım tipi dikdörtgen dağılımdır. Referans radyasyon termometrenin kararlılığı, kalibrasyon sırasında ard arda alınan ölçümlerin standart sapmasıdır. Her ölçüm noktası için en az 10 ölçüm alınmıştır. Belirsizlik dağılımı normal dağılım olarak kabul edilir.

Emisiviteden kaynaklanan belirsizlik değeri, kavite tipi siyah cisim kaynağı kullanılarak düşürülebilmiştir, çünkü düz plaka tipi siyah cisimlerde ortam ışınımından kaynaklanan ışıma kaybı daha yüksektir [3]. Kaynak emisivite belirsizliğini değerlendirmek için, ölçümler emisivite değerinde % 1 değişim yapılarak tekrarlanır ve iki farklı emisivite ölçümü arasındaki fark dikdörtgen dağılımda olarak hesaba katılır. Örneğin ölçüm yapılan sıcaklıkta 0.99 ve 0.98 emisivitede ölçümler alınır ve aradaki fark sıcaklık olarak belirsizlik bütçesine eklenir. Kaynak boyutu etkisi (Size of Source Effect, SSE), özellikle düşük sıcaklıklarda radyasyon termometresinin çalıştığı dalga boyuna bağlıdır. SSE, doğrudan veya dolaylı yöntemler kullanılarak tanımlanabilir [10, 11]. Bu çalışmada doğrudan yöntem kullanıldı ve hedef büyüklüğü radyasyon termometresinin üretici beyanına göre belirlendi. Kaynak boyutu etkisi, ölçülen sıcaklık değerini etkileyen radyasyonun % 90-98'inin toplandığı belirli bir mesafeden ölçülen dairesel bir alandır [12]. Bu dairesel alandan alınan en büyük ve en küçük sıcaklık değerleri arasındaki fark SSE olarak belirlenmiştir, dağılımı ise dikdörtgen dağılımdır. Banyoların (alkol, su ve yağ) sıcaklık profilleri (kararlılık ve homojenlik) içine konulan siyah cisim kavitesiyle analiz edilmiştir. Banyo içerisindeki kavitenin uzun dönem kararlılığı ve homojenite değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. -40 °C'de alkol banyo içerisine yerleştirilen siyah cisim kavitesinde radyasyon termometre kalibrasyonu ölçüm belirsizliği bütçesi

Belirsizlik Bileşeni	**Tip**	**Dağılım**	**U_i / °C (-40 °C)**
Referans IR Termometre Belirsizliği	B	Normal	0.15
Referans IR Termometre Kayma	B	Dikdörtgen	0.0578
Referans IR Termometre Kararlılık	A	Normal	0.11
Emisivite	B	Dikdörtgen	0.0578
Kaynak Boyutu Etkisi	B	Dikdörtgen	0.02312
Kaynak Sıcaklık Dağılımı	B	Dikdörtgen	0.00578
Kaynak Kararlılık (Uzun dönem)	A	Normal	0.01
Test IR Termometre Kararlılık	A	Normal	0.22
Test IR Termometre Tekrarlanabilirlik	B	Dikdörtgen	0.11561
Test IR Termometre Doğrusalsızlık	B	Dikdörtgen	0.0983
Test IR Termometre Çözünürlük	B	Dikdörtgen	0.00578
U_T=Toplam Belirsizlik= $\sqrt{(U_1^2 + U_2^2 .....)}$			**0.34**
U_G=Genişletilmiş Belirsizlik (k=2 güvenilirlik 95%)			**0.68**

Kararlılık ve homojenite belirsizlik bileşenlerinin olasılık dağılımı, kararlılık için normal dağılım ve homojenlik için dikdörtgensel dağılımdır. Test IR termometresi kararlılığı ard arda alınan ölçümlerin standart sapmasından hesaplandı, dağılım tipi normal dağılımdır. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği,

kalibrasyonun başında ve sonunda aynı ölçüm noktasında alınan ölçümler arasındaki farktan hesaplanmıştır, dağılımı dikdörtgensel dağılımdır. Test IR termometrenin çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik katkısı çözünürlüğün yarısı kadar alınmış ve dikdörtgen dağılım olarak hesaba katılmıştır.

Toplam belirsizlik $U_T=\sqrt{(U_1^2+ U_2^2+ U_3^2.\ldots)}$ belirsizliğe etki eden tüm parametrelerin varyanslarının toplamının kareköküdür.

Genişletilmiş ölçüm belirsizliği $\mathbf{U_G=}$,% 95 güvenililrlik seviyesinde elde edilmiştir = U_T x kapsama faktörü (k = 2). -40°C'de yapılan ölçümlerde hesaplanan genişletilmiş belirsizlik değeri ±0.68 °C olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Sıvı banyo içerisine konulan kavitenin kararlılık ve homojenite değerleri

	Kararlılık / °C	Homojenite / °C
Alkol Banyosu	0.01	0.02
Su Banyosu	0.01	0.02
Yağ Banyosu	0.03	0.05

SONUÇ

IR Termometre kalibrasyonunda, ölçüm belirisizliği tahmini ve kalibrasyon işleminde siyah cisim kalibratörler yerine sıvı banyo içerisine yerleştirilmiş kavitelerin kullanılmasının avantajları bu çalışmada araştırılmıştır. -40℃ ila +150℃ sıcaklık aralığında sıvı banyo içerisine yerleştirilen siyah cisim kavitesiyle radyasyon termometrelerin kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiş ve ölçüm belirsizliği tahmini yapılmıştır. Kalibrasyonlarda sıvı banyolar içinde tasarlanmış siyah cisim kavitelerin kullanılmasının birçok avantajı vardır. Özellikle sıcaklık kaynağının kararlılık ve homojenite değerlerinin düşük olması belirsizliği önemli ölçüde düşürmüştür. Bununla birlikte sıcaklık kaynağının kararlı olması kaynak boyutu etkisini de (SSE) doğrudan etkilemiş ve bu parametreyi de düşürmüştür.

Belirsizliğe etki eden parametreler değerlendirilerek hesaba katılmış, bazı parametreler ise çok düşük olması sebebiyle hesaplara yansıtılmamıştır. Radyasyon termometrelerin kalibrasyonunda ölçüm belirsizliği hesabı ASTM E2847 – 14 ve E1256 – 11a standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Doğru kaynağın seçimiyle de belirsizlik değerleri düşürülebilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Sakuma, F.; Ma, L.; SICE 2003 Annual Conference, IEEE 2004, 37, 5-16.
[2] Merlone, A.; Iacomini, L.; Tiziani, A.; Marcarino, P.; Measurement 2007, 40, 422–427
[3] ASTM E2847 – 14 Standard Test Method for Calibration and Accuracy Verification of Wideband Infrared Thermometers
[4] ASTM E1256 – 11a Standard Test Methods for Radiation Thermometers (Single Waveband Type)
[5] Vendt, R.; Juurma M.; Jaanson P.; Vabson V.; Kübarsepp T.; Noorma M.; Int J Thermophys 2011, 32:248-257
[6] Bentley, E.; Uncertainty in Measurement: The ISO Guide (NMI, Lindfield), 2005
[7] A-04/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999
[8] ASTM E644–11 Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometer, 2011
[9] Point, P. Saunders, J. Fischer, M. Sadli, M. Battuello, C. W. Park, Z. Yuan, H. Yoon, W. Li, E. van der Ham, F. Sakuma, J. Ishii, M. Ballico, G. Machin, N. Fox, J. Hollandt, M. Matveyev, P. Bloembergen, S. Ugur, Uncertainty Budgets for Calibration of Radiation Thermometers below the Silver, International Journal of Thermophysics, 2008, Volume 29, Issue 3, pp 1066–1083

[10] Lowe, D.; Battuello M.; Machin, G.; Girard, F.; in Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, vol. 7, ed. by D.C. Ripple, B.C. Johnson, C.W. Meyer, R.D. Saunders, G.F. Strouse,W.L. Tew, B.K. Tsai, H.W. Yoon (AIP, Melville, New York, 2003), pp. 625–630
[11] G. Machin, R. Sergienko, in Proceedings of TEMPMEKO 2001, 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, ed. by B. Fellmuth, J. Seidel, G. Scholz (VDE Verlag, Berlin, 2002), pp. 155–160
[12] Pušnik, I.; Grgić, G.; and Drnovšek, J., System for the determination of the size-of-source effect of radiation thermometers with the direct reading of temperature, Measurement Science and Technology, 2006 IOP Publishing Ltd Volume 17, Number 6

ÖZGEÇMİŞ

Melda PATAN ALPER

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü, 2007 yılında Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yüksek Lisansını, 2019 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2004-2006 yılları arasında Simkal Kalibrasyon Merkezinde Sıcaklık Kalibrasyon Laboratuvarı sorumlusu ve kalite yönetim sistemi vekili olarak görev almıştır. 2006 yılından bu yana Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı kalite sistem yöneticisi, sıcaklık kalibrasyon laboratuvarı sorumlusu, Fizik Bölümü öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2008 yılından buyana TÜRKAK sıcaklık kalibrasyonları alanı denetçisi ve 2014 yılı itibarı ile başdenetçi olarak görevini sürdürmektedir.

Ahmet T. INCE

1962 yılı Zara-Sivas doğumludur. 1992 yılında, İngiltere, Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Enstrümantasyon ve Analitik Bilim bölümünden (DIAS-UMIST) doktorasını almıştır. 1992–1994 yılları arasında doktora sonrası çalışmalarında Londra Üniversitesinde devam etmiştir. 1993 – 1998 yılları arasında TÜBİTAK UME' de Fizik grup Başkanı ve Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olarak çalışmıştır. 1997 yılında Doçentlik ve 2002 yılında da Profesörlük ünvanını almıştır. 1998 yılında Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı olarak çalışmaya başlamıştır. 2002-2005 yılları arası Yeditepe Üniversitesi Fen–Edebiyat Fakültesi Dekan yardımcılığı görevini yapmıştır. 2005 yılından bu yana ise aynı fakültenin dekanlık görevini sürdürmektedir. 2016-2018 yılları arasında Yeditepe Üniversitesi Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2012 yılından bu yana TÜBİTAK-UME Sıcaklık laboratuvarının danışmanlığını yapmaktadır. Ayrıca, TÜRKAK denetçisi, Baş Denetçisi olarak görev almakta olup, yaklaşık 8 yıl TÜRKAK Sektör Komitesi Başkanlığı yapmıştır.

Maria AIORDACHIOAIEI

1959 yılı Romanya doğumludur. 1985 yılında Romanya Gheorghe Asachi Teknik üniversitesini bitirmiştir.1985-1992 yılları arasında Romanya Nükleer Santral Kalibrasyon Laboratuvarında çalışmıştır. 2003 yılındandan itibaren Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarında kalibrasyon uzmanı olarak görev almaktadır.

PARALEL MASTAR BLOĞU KALİBRASYONLARINDA LABORATUVAR ORTAM SICAKLIĞININ ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNE ETKİSİ

Mehmet K. TORUN
Mehmet NACAR
Ahmet T. İNCE

ÖZET

Paralel Mastar Blokları endüstride sıklıkla kullanılan, üretimde sınır ölçü ve şekillerinin belirlenen değerlerde olup olmadığının tespit edilmesini sağlayan, boyutları standart ölçülerde sabitlenmiş ölçü aletleridir. Endüstride, üretilen parçanın toleranslarını, gerçek değeri bilinen referans mastar bloğuyla, üretilen parçayı seri bir biçimde karşılaştırıp, istenilen tolerans içinde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, Paralel Mastar Bloklarının kalibrasyon işlemi sırasında, özellikle 100 mm ve üzeri uzunluklarda termal genleşmeden ötürü kaynaklanan ölçüm belirsizliği etkisi araştırılacaktır. Karşılaştırma metoduyla yapılan kalibrasyon işlemlerinde referans mastar bloğuyla, test mastar bloğunun arasında sıcaklık farkları, yüzey sensörlü olarak dizayn edilmiş ve kalibreli Pt-100 direnç termometreleri (belirsizlik: ±0.020°C) kullanılarak tespit edilecek. Bu sıcaklık farklarının Paralel Mastar Bloklarının kalibrasyonlarında en iyi ölçüm belirsizliği elde edebilmek amacıyla, ölçüm laboratuvarı sıcaklık ve nem dağılımlarının ne düzeyde olmasına destek olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık, Uzun Blok Mastar Kalibrasyonu, Genleşme, Ölçüm, Belirsizlik.

ABSTRACT

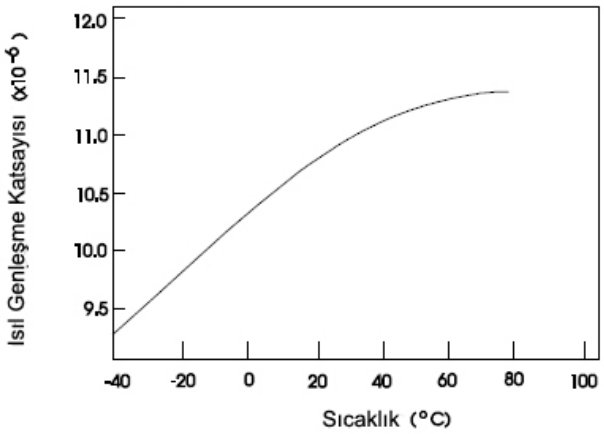
Parallel Gauge Blocks are commonly used in the industry.They are used in production to limit values and shapes are determined to determine whether the values, standard sizes are fixed to the measurement instruments. In industry, the tolerances of the manufactured part are compared in series with the reference gauge block whose actual value is known, and it is checked whether it is in the desired tolerance. In this study, the effect of measurement uncertainty caused by thermal expansion of lengths of 100 mm and above during the calibration process of Parallel Gauge Blocks will be investigated. In the calibration process with the comparison method, the temperature differences between the reference gauge block and the test gauge block will be detected using calibrated Pt-100 resistance thermometers (± 0.020 ° C) designed with surface sensors. In order to obtain the best measurement uncertainty in the calibration of Parallel Gauge Blocks of these temperature differences, the measurement laboratory will support the level of temperature and humidity distributions.

Key Words: Temperature, Gauge Block Calibration, Thermal Expansion, Measurement, Uncertainty.

1. GİRİŞ

Mastar blokları kullanım kolaylıkları açısından endüstride en çok kullanılan ölçüm aletlerinin başında gelmektedir. Bu denli önemli bir yere sahip olan mastar bloklarının ölçüm hassasiyeti için boyutsal metroloji alanında uzun yıllardır hassasiyeti artıracak yeni bir gelişme yaşanmamıştır [1]. Mastar blokların ölçüm belirsizliklerine en önemli katkı sağlayan bileşenlerden bir tanesi, ısıl genleşme olarak

bilinmektedir. Isıl genleşmeyi kısaca tanımlayacak olursak, ortamdaki sıcaklığın değişimi, birçok malzemenin boyutunun değişmesine sebep olmaktadır, malzemenin boyutundaki bu değişim gerek sıcaklık değişiminin büyüklüğüyle gerekse de malzemenin yapısıyla alakalıdır. Aşağıda görülen şekil-1 de[2], çelik tipli mastar bloğunun genleşme katsayısının, sıcaklık karşısındaki değişimini göstermektedir.



Şekil 1. Genleşme katsayısının değişimine karşılık sıcaklı değişimi

Isıl genleşmeyi bir denklem ile ifade edecek olursak:

$$\Delta L / L = \alpha_L \Delta T \quad \text{(m)} \qquad (1)$$

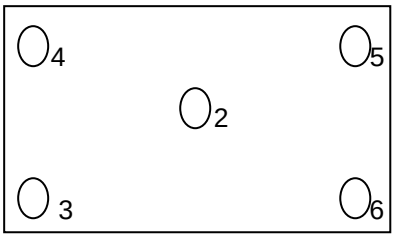
Burada ΔL uzunluktaki değişikliği, L uzunluğu, α_L genleşme katsayısını ve ΔT ise sıcaklık değişimini simgeler. Çelik mastar bloklarının uzama katsayısı bir metrede, 11.5 X 10^{-6} / ℃ dir. Basit bir hesap ile 1 numaralı denklem kullanılırsa 100 mm boyunda bir mastar bloğu sıcaklığı 20 ^{0}C olan bir ortamda bulunurken sıcaklıkta 1 ^{0}Clik artış olursa, bu mastar bloğunun boyunun bir metrede 1,15 μm uzaması anlamı taşır. Bu uzama blok mastarı kullanan birçok alan için büyük bir uzama olarak kabul edilir. Blok mastarların kalibrasyon işlemleri sırasında karşılaştırmalı ölçümlerde genellikle aynı malzemeden yapılmış olan blok mastarlarla karşılaştırılır, böyle bir durum söz konusu değilse ve mastarlar farklı malzemelerden üretildiyse, mastarların üretildiği malzemenin uzama katsayısı bilinip farklı yapıdaki blok mastarların kalibrasyonu için düzeltme hesabı yapılır.

2. BLOK MASTARLARIN KARŞILAŞTIRMA YÖNTEMLERİ VE SICAKLIĞIN ETKİSİ

Bu çalışmada 2 adet K grade 100 mm ve Tolerans 1 ve Tolerans 2 olmak üzere 2 adet 131.40 mm uzunluğunda çelik blok mastarlar kullanılmıştır. Ölçümlerde iki ayrı deney düzeneği kullanılmıştır. İlk yöntem olarak paralel blok mastar kalibratörü, ikinci yöntem olarak evrensel uzunluk ölçme cihazı (ULM) kullanılmıştır. Her iki yöntem uygulanırken laboratuvarın sıcaklık değeri 20℃ ±0.5℃ de tutulmuştur. Ölçümler aynı malzeme ile üretilmiş olan blok mastarlar arasında olmuştur, bu sebeple farklı uzama katsayıları olmadığı için herhangi bir düzeltme hesabı yapılmamıştır. Ölçümü alınan blok mastarların sıcaklıkları yüzey sensörlü Pt-100 direnç termometreleri ile ölçülmüştür. Sıcaklık sensörü, Pt-100, YUKAL sıcaklık kalibrasyon laboratuvarında ±0.020 ^{0}C belirsizlikle (k=2, %95) kalibrasyonu yapılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinde karşılaştırılan iki blok mastarın arasındaki sıcaklık farkı dikkate alınıp çalışma sonunda elde edilen grafiklerde bu sıcaklık farkları gösterilmiştir. Blok mastarların ölçümü yapılırken YÜKALTP-13 [3,4] ve YÜKALTP-15 [5,6] prosedürlerinden faydalanılmıştır.

2.1. Paralel Blok Mastar Kalibratörü ile yapılan ölçümler

Karşılaştırmalı ölçüm prensibi ile çalışan bu sistem, bir referans mastar bloğu ile nominal uzunluğu bu referans blokla aynı olan test mastar bloğunu karşılaştırarak aradaki farkı ölçer, bunun sonucunda uzunluk hesaplanır. Referans ve Test mastar bloğu bu yöntemle karşılaştırılırken önceden tanımlanmış bir düzen için de ölçümler yapılır. Şekil 2'de, izlenen ölçüm sıralamasını anlamak için aşağıda verilmiştir. Bu sıralama ölçüm sonuçlarının yer aldığı grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 2. Blok Mastar üzerinde sırasıyla ölçüm yapılan noktalar

Blok mastarlar karşılaştırılırken sırasıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı noktalardan ölçüm alınır, bu sırada karşılaştırılan blok mastarların yüzeyinde sıcakları ölçmek için yüzey sensörlü Pt-100 termometreleri takılı olup, düzenek hazırlandıktan sonra, elle tutulmadan ötürü herhangi bir sıcaklık değişimi olmaması için ölçüm başlamadan önce ortam şartlarını sağlamak amacıyla beklenir. Bu ölçüm metodunun çalışma prensibi

$$L_T = L_b + t \quad \text{(m)} \qquad (2)$$

$$L_R = L_b + r \quad \text{(m)} \qquad (3)$$

$$L_T = L_R + (t - r) \quad \text{(m)} \qquad (4)$$

L_T: test mastarı, L_R : referans mastar, L_b : Cihazın sıfırlandığı başlangıç ölçümü, *t ve r* cihazdan okunan değer, (*t - r*): iki blok mastar arasındaki uzunluk farkı olarak görülmektedir.

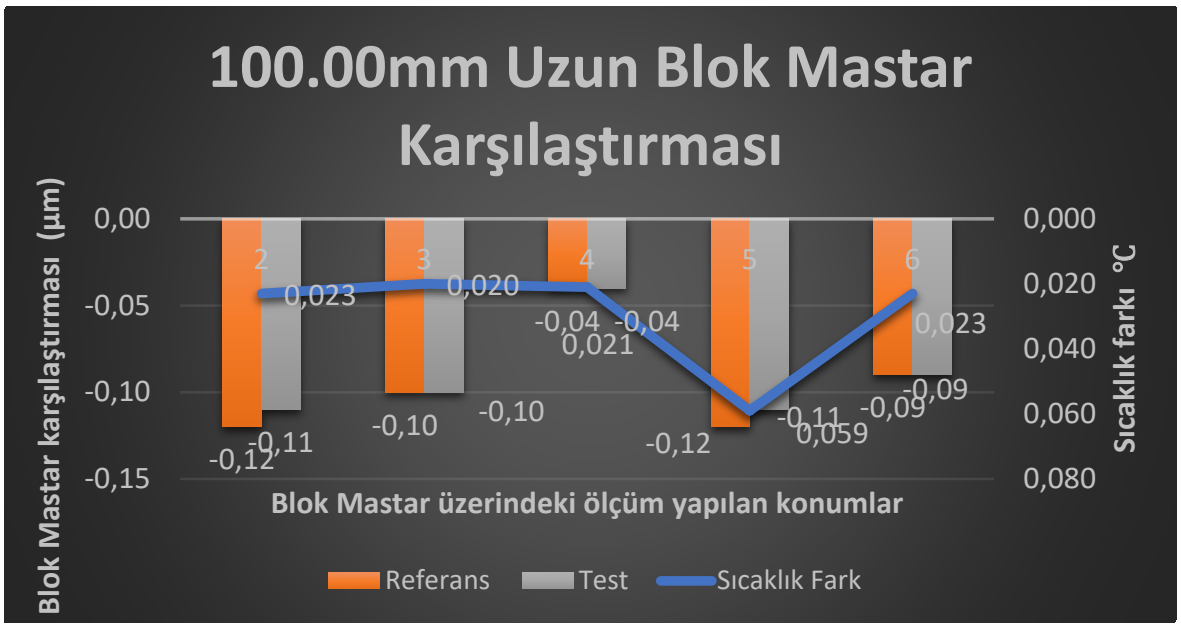
2.2. Evrensel Uzunluk Ölçüm Cihazı (ULM) ile yapılan ölçümler

ULM ile yapılan ölçümün prensibi şu şekildedir ilk etapta blok mastarların üzerine yüzey sensörlü Pt-100'ler yerleştirilir akabinde ölçüm, karşılaştırma metoduna göre yapılacağından aynı değerli referans ve test mastarı ULM cihazının tablasına yerleştirilir. Referans mastar blok tablanın arka kısmına, test mastar blok tablanın ön tarafına yerleştirilir. Ölçümden önce mastar bloklar kesinlikle elle tutulmamalı ve mutlaka eldiven kullanılmalıdır, aksi taktirde hem sıcaklık farkı oluşabilir hem de mastar blokları kirlenmeye maruz kalabilir. ULM cihazının yazılımı kullanılarak ölçüm yapılacak referans mastarın nominal değeri girilip cihaz referans mastar için hizalanıp sıfırlanır. Bu işlem yapıldıktan sonra test mastara geçilir ve karşılaştırma metoduyla referans ve test mastarlar ölçülmüş olur.

3. ÖLÇÜMLER

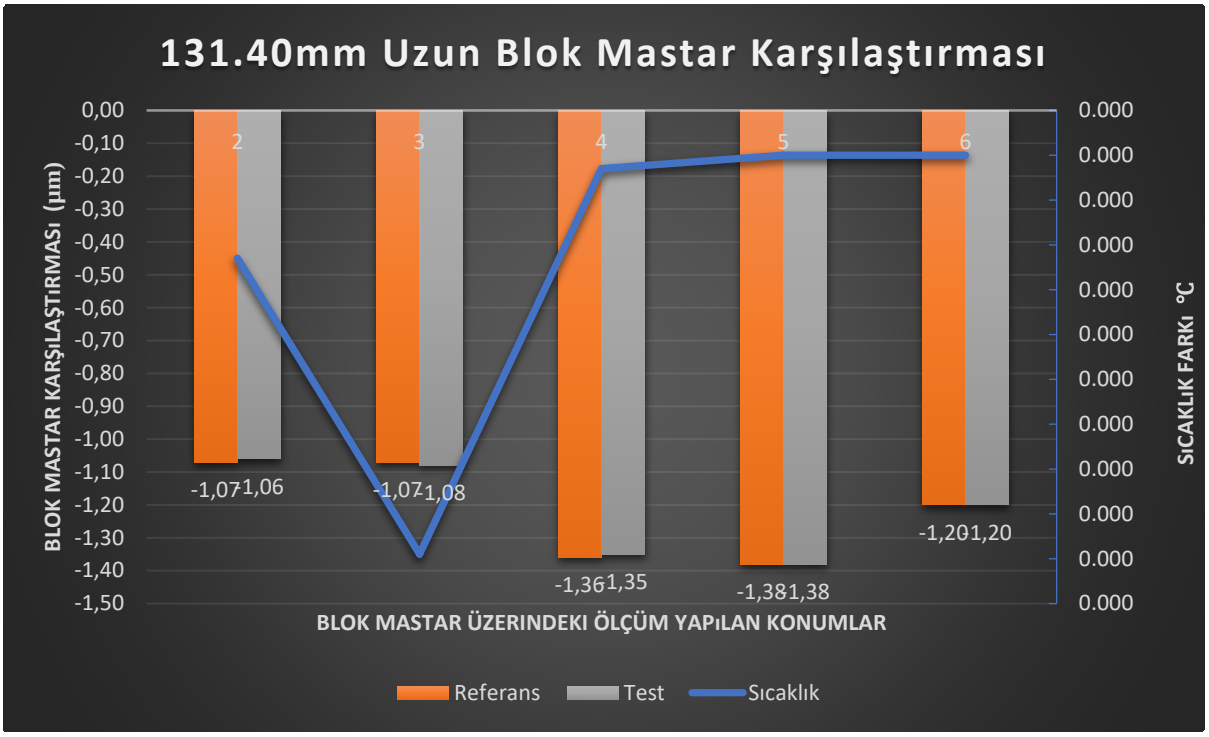
Bir önceki bölümde anlatılan 2 farklı ölçüm metoduyla yapılan 100 mm K Grade ve 131.4 mm tolerans 1 ve tolerans 2 kapsamında olan blok mastarların, sıcaklık parametresiyle birlikte karşılaştırma ölçüm sonuçları aşağıdaki grafiklerde sırasıyla ilk olarak Paralel Blok Mastar Kalibratörü ve sonrasında Evrensel Uzunluk Ölçme Cihazı (ULM) olmak üzere verilmiştir. Grafiklerin açıklamaları şu şekildedir, turuncu ve mavi sütunlar referans mastarı ve test mastarını göstermektedir. Sütunların üzerinde yazan rakamlar ilgili mastarın (referans/test) ölçüm sonucudur. Mavi çizgi blok mastarların üzerinde bulunan yüzey sensörlü Pt-100 termometrelerinin sıcaklık farkını göstermektedir. Sütunların başlangıç noktalarında bulunan beyaz renkte olan 2, 3, 4, 5 ve 6 rakamları mastar bloğun hangi noktasından ölçüm yapıldığını belirtmektedir.

Paralel Blok Mastar Kalibratörü ile yapılan ölçümler Grafik 1-Grafik 4 te verilmiştir.

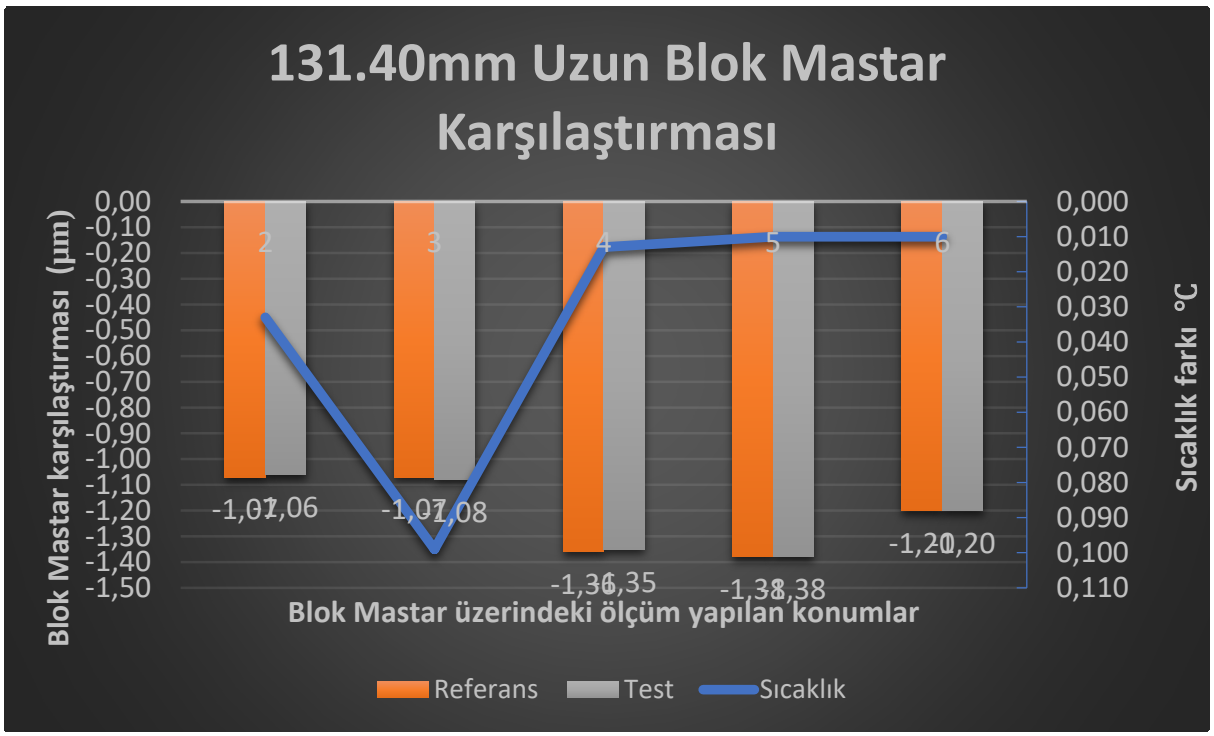


Grafik 1. 100 mm uzun blok mastar karşılaştırması ölçümü, referans mastar ve test mastar

Grafik 2. 100 mm uzun blok mastar karşılaştırması yukarıdaki ölçümde yer alan referans mastarla test mastar yer değiştirmiştir.



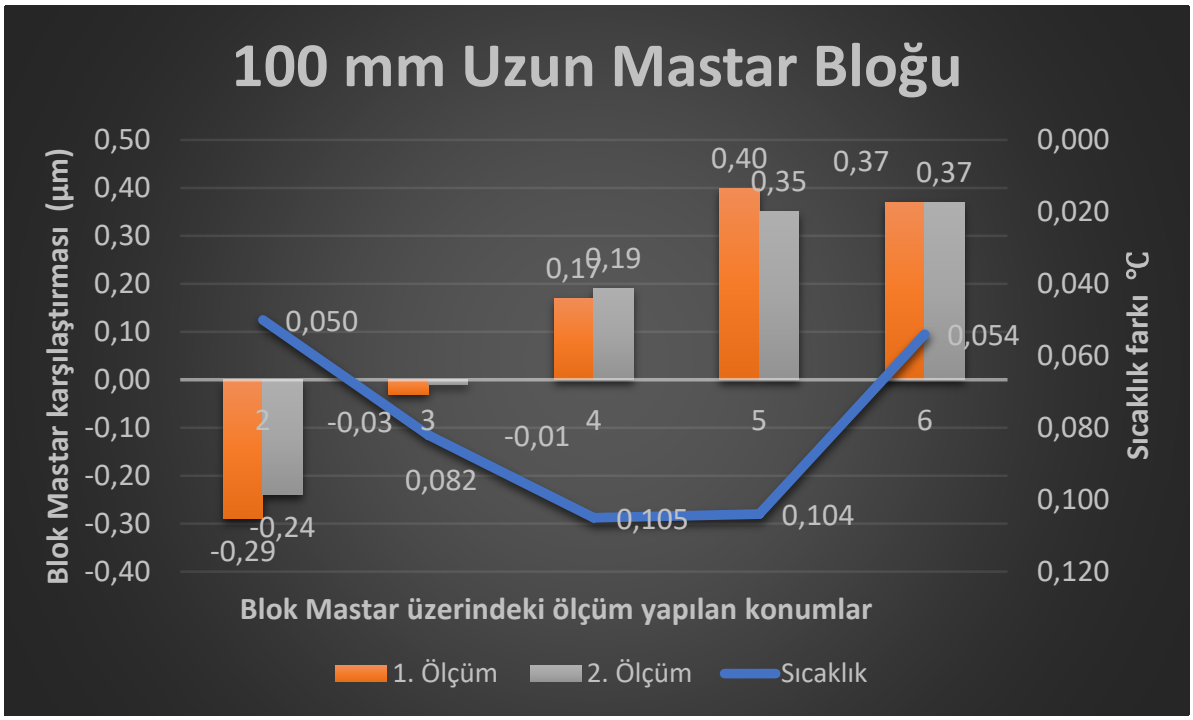
Grafik 3. 131,40 mm uzun blok mastar karşılaştırması ölçümü, referans mastar olarak tolerans 1 sınıfı test mastar olarak tolerans 2 sınıfı kullanılmıştır.



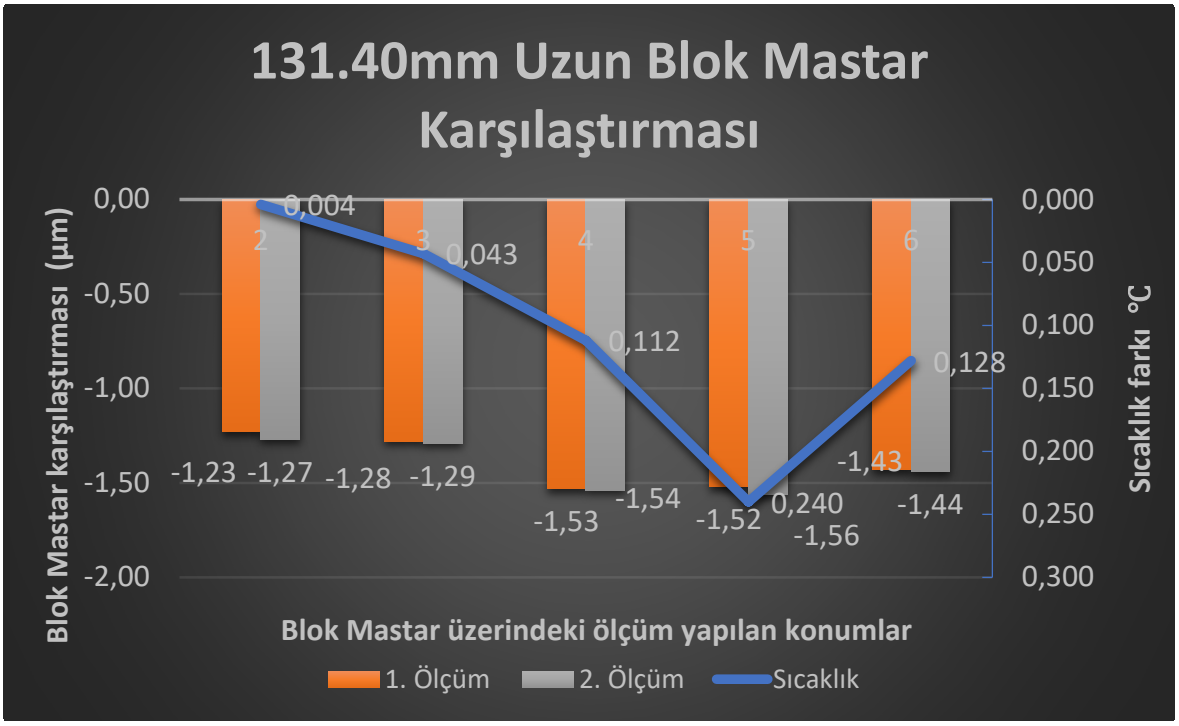
Grafik 4. 131,40 mm uzun blok mastar karşılaştırması ölçümü, referans mastar olarak tolerans 2 sınıfı test mastar olarak tolerans 1 sınıfı kullanılmıştır

Evrensel Uzunluk Ölçme Cihazı ile yapılan Ölçümler Grafik 5-Grafik 8 de verilmiştir.

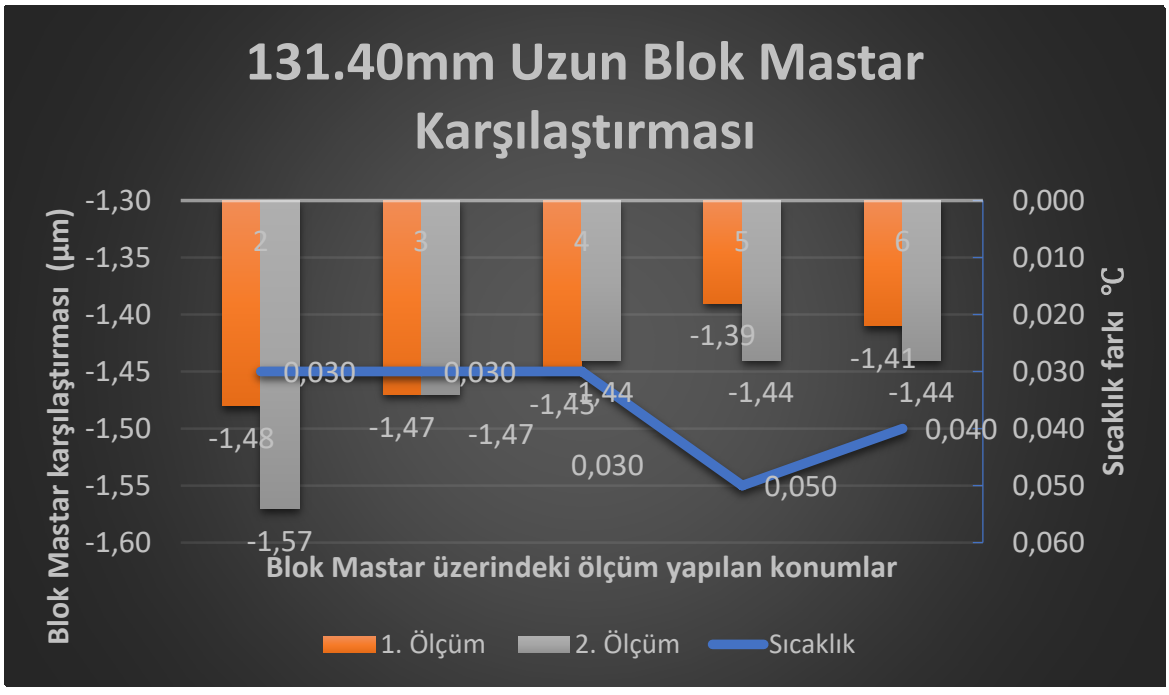
Grafik 5. 100 mm uzun blok mastar karşılaştırması ölçümü, referans mastar ve test mastar



Grafik 6. 100 mm uzun blok mastar karşılaştırması yukarıdaki ölçümde yer alan referans mastarla test mastar yer değiştirmiştir.



Grafik 7. 131,40 mm uzun blok mastar karşılaştırması ölçümü, referans mastar olarak tolerans 1 sınıfı test mastar olarak tolerans 2 sınıfı kullanılmıştır.



Grafik 8. 131,40 mm uzun blok mastar karşılaştırması ölçümü, referans mastar olarak tolerans 2 sınıfı test mastar olarak tolerans 1 sınıfı kullanılmıştır

SONUÇ

Uzun blok mastarların ölçümünde iki farklı metot kullanılarak yapılan deneylerde, sıcaklığın blok mastarlar üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Isıl genleşme uzun blok mastar kullanılması gereken ve hassas ölçümün zaruri olduğu alanlarda çok önemli bir etkendir. Yapılan ölçümlerin tamamı çevre şartları olarak 20 ^{0}C± 0.5 ^{0}C olarak TÜRKAK tarafından akredite edilmiş olan YUKAL'da yapılmıştır. Bu sıcaklık aralığında sürekli şartlanan ölçüm cihazları ve uzun blok mastarlar ölçümlerde standartların sağlamamızı beklediği toleranslardan iyi bir performans sergilemiştir. Blok Mastarların arasındaki sıcaklık farkı tüm ölçümler göz önüne alındığında 0,010℃ ile 0,105℃ derece arasındadır, bu aralık ölçüm sistemimizin hassasiyetini göz önüne aldığımızda, bir değişim göstermiştir. Buna karşılık mastarların kendi aralarındaki uzunluk farkları 0,00 μm ile 0,09 μm arasında değişmiş olup en büyük değişim 131.4 mm boyundaki tolerans 2 ve tolerans 1 sınıfında bulunan blok mastarda ve aralarındaki sıcaklık farkı 0,030℃ iken evrensel uzunluk ölçme cihazı (ULM) ile yapılan ölçümde olmuştur. Bu tolerans sınıfı için standartların belirlediği sapmalardan çok daha düşük bir sonuç elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] DORİON,T.BEERS,J. "The Gauge Block Handbook", Dimensional Metrology Group NIST
[2] BIRCH, K.P., "An automatic absolute interferometric dilatometer", J. Phys. E: Sci. Instrum. 20 (1987) 1387-1392. Printed in the UK
[3] YUKALPT-13 Bölüm 13 Revizyon 1
[4] Euromet CG 02/ v 01 Calibration Of Gauge Block Comparators
[5] YUKALPT-15 Bölüm 15 Revizyon 4
[6] VDI/VDE/DGQ 2618 Part 3.1. Inspection of measuring and test equipment – Test instructions for gauge blocks

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet K. TORUN

1976 yılı İstanbul doğumludur. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri bölümünü, 2006 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansını ve 2017 yılında Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalında Doktorasını tamamlamıştır. 2007 yılından 2011 yılına kadar Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon laboratuvarı Kalite Sistem Yönetici vekili, 2007 yılından günümüze Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölümü PHYS 102, PHYS 308 ve PHYS 319 derslerinin laboratuvar sorumlusu, 2011 yılından 2017 yılına kadar Yeditepe Üniversitesi Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarı Sıcaklık Laboratuvar yardımcısı ve 2018 yılından günümüze Boyut Laboratuvar sorumlusu olarak görevini sürdürmektedir.

Mehmet NACAR

1972 Darende'de doğdum. Liseyi İzmir Atatürk lisesinde okudum. Ege Üniversitesi ve Münih Teknik Üniversitesinde (Lisans ve Yüksek lisans düzeyinde) Fizik Eğitimi aldım. Daha sonra Yeditepe Üniversitesinde farklı bir disiplin alanında (İSG) Yüksek lisans yaptım.

Egemet Kalibrasyon Firmasında Boyut alanında çalışmaya başladım. 2011 yılından beri Yeditepe Üniversitesinde Ar-Ge ve Kalibrasyon Laboratuvarında Boyut bölümünde çalışıyorum. Şu anda Boyut bölümü sorumlu vekili olarak çalışmaktayım.

Ahmet T. İNCE

1962 yılı Zara-Sivas doğumludur. 1992 yılında, İngiltere, Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Enstrümantasyon ve Analitik Bilim bölümünden (DIAS-UMIST) doktorasını almıştır. 1992–1994 yılları arasında doktora sonrası çalışmalarında Londra Üniversitesinde devam etmiştir. 1993 – 1998 yılları arasında TÜBİTAK UME' de Fizik grup Başkanı ve Sıcaklık Laboratuvarı sorumlusu olarak çalışmıştır. 1997 yılında Doçentlik ve 2002 yılında da Profesörlük ünvanını almıştır. 1998 yılında Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölüm Başkanı olarak çalışmaya başlamıştır. 2002-2005 yılları arası Yeditepe Üniversitesi Fen–Edebiyat Fakültesi Dekan yardımcılığı görevini yapmıştır. 2005 yılından bu yana ise aynı fakültenin dekanlık görevini sürdürmektedir. 2016-2018 yılları arasında Yeditepe Üniversitesi Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2012 yılından bu yana TÜBİTAK-UME Sıcaklık laboratuvarının danışmanlığını yapmaktadır. Ayrıca, TÜRKAK denetçisi, Baş Denetçisi olarak görev almakta olup, yaklaşık 8 yıl TÜRKAK Sektör Komitesi Başkanlığı yapmıştır.

ITS-90 ULUSLARARASI SICAKLIK ÖLÇEĞİNE UYGUN OLARAK - 40 °C / 420 °C SICAKLIK ARALIĞINDA Pt-100 DİRENÇ TERMOMETRE KALİBRASYONU KARŞILAŞTIRMASI

Alev ÇORMAN TEYMUR

ÖZET

Ülkemizdeki sıcaklık ölçümlerinde, endüstrimizin yaygın olarak kullandığı ölçüm aralığı -40°C ile 420°C sıcaklık aralığıdır. İkinci seviye akredite laboratuvarlar, bu sıcaklık aralığında referans olarak platin direnç termometreleri olarak adlandırılan Pt-100 termometreleri kullanmaktadır.

Peki, laboratuvarların yaptıkları bu ölçümler ne kadar güvenilir?

Akredite olsun ya da olmasın her laboratuvar ölçümlerinin güvenilirliğini kanıtlamak durumundadır. Bir ölçümün güvenilirliğini sağlamak için yapılması gerek / yeter şart olan tek olgu; Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma (LAK) ya da Yeterlilik Testleri (YT) olarak adlandırılır. LAK / YT ölçümleri, bir laboratuvarın güvenilirliğinin yanında prestijini ortaya koyması için onlara en iyi imkanı sağlar.

TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarı, 2017 yılında, 17 ulusal akredite laboratuvarın katılımı ile “Uluslararası sıcaklık ölçeğine (ITS-90) uygun olarak, -40 ° C / 420 ° C sıcaklık aralığında Pt-100 Dirençli Termometre Kalibrasyonu” adı altında ulusal bir karşılaştırma düzenledi.

Laboratuvarlar arası karşılaştırmanın organizasyonu ve değerlendirilmesi, EN ISO / IEC 17043: 2010 “Uygunluk değerlendirmesi - Yeterlilik testi için genel şartlar” standardı uyarınca yıldız türü olarak yapılmıştır.

Bu çalışmada, katılımcı laboratuvarların karşılaştırma sonuçlarının değerlendirilmesi, sonuçlarla ilgili belirsizlik ve E_n değerleri ile birlikte her bir sıcaklık noktası için sonuçlar sunulmuştur. LAK sonucunda, 17 laboratuvarın 13'ünde E_n değerleri 1'den küçük hesaplanmış ve ilgili rapor her laboratuvara gönderilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direnç Termometre, Uluslararası Sıcaklık Ölçeği, ITS-90, Kalibrasyon, Ulusal Karşılaştırma, Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma, LAK.

ABSTRACT

In our country, the measurement range that is widely used by our industry in temperature measurements is ranged from -40 ° C to 420 ° C. Secondary-level accredited laboratories use Pt-100 thermometers, which are referred to as platinum resistance thermometers, as a reference thermometer in this temperature range.

How reliable are these measurements made by the laboratories?

He must prove the reliability of each laboratory measurement, whether accredited or not. The only case that should / should be done to ensure the reliability of a measurement; It is called Interlaboratory Comparison (LAC) or Proficiency Tests (PT).

LAC / PT measurements provide the best opportunity for a laboratory to demonstrate its prestige as well as its reliability.

How reliable are these measurements?

Each laboratory, whether accredited or not, has to prove the reliability of its measurements. In order to ensure the reliability of a measurement, one should be participated an Interlaboratory Comparison (ILC-LAK) or Proficiency Tests (PT-YT). ILC / PT measurements provide the best opportunity for a laboratory to demonstrate its reliability as well as its prestige.

TÜBİTAK UME Temperature Laboratory held a national comparison under the name of “Pt-100 Resistance Thermometer Calibration in the temperature range of -40 ° C / 420 ° C” in accordance with the international temperature scale (ITS-90) with the participation of 17 national accredited laboratories, in 2017.

The organization and evaluation of inter-laboratory comparison was made as a star type in accordance with the standard EN ISO / IEC 17043: 2010 Conformity assessment - General requirements for proficiency testing.

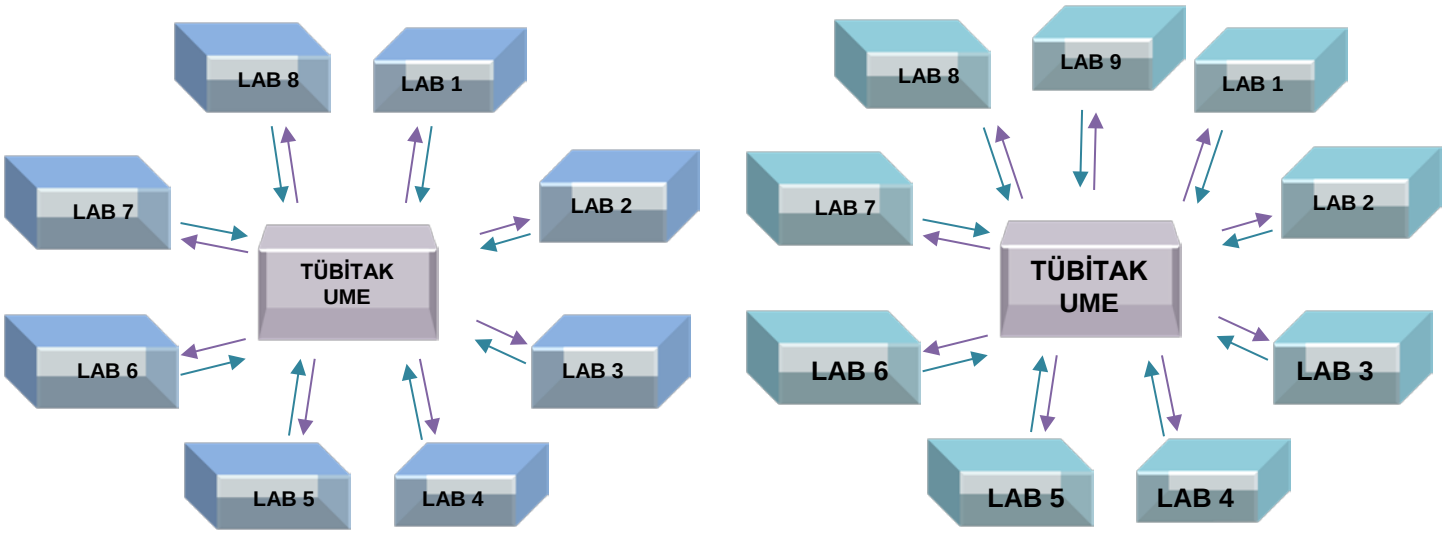
In this study, the evaluation of comparison results of the participating laboratories with related uncertainty values and the E_n values for each temperature value are presented. As a result of ILC, E_n values of less than 1 were calculated for 13 laboratories out of 17 laboratories, and a report was sent to each laboratory.

Key Words: Resistance Thermometer, International Temperature Scale, ITS-90, Calibration, National Comparison, Inter-Laboratory Comparison, LAK.

1. GİRİŞ

TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuarı tarafından “-40 °C / 420 °C sıcaklık aralığında Pt-100 direnç termometre kalibrasyonu” adı altında düzenlenen karşılaştırma, yıldız tip karşılaştırma olup karşılaştırmanın işleyiş şeması Şekil 1’de verilmiştir.

Karşılaştırmaya ait protokol, karşılaştırma başlamadan önce taslak olarak tüm katılımcılara gönderilmiş, fikir ve önerileri alınmıştır. Protokolün son hali TÜBİTAK UME ve TÜRKAK web sitesinde yayınlanmıştır.



Şekil 1. Yıldız tip karşılaştırma işleyiş şeması

Karşılaştırmaya katılım, tüm ikinci seviye laboratuvarlara açılmıştır. Karşılaştırmaya başlangıçta on sekiz (18) katılımcı laboratuvar, bir (1) pilot laboratuvar olmak üzere toplam on dokuz (19) laboratuvar katılmıştır. Karşılaştırma sürecinde iki (2) laboratuvar karşılaştırmadan çekilme kararı almıştır. Katılımcı bilgileri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Karşılaştırma Katılımcıları

Katılımcılar	
MARKAL, İSTANBUL	ELİMKO, ANKARA
YÜKAL, İSTANBUL	KAL-MER, MERSİN
AS KALİBRASYON, ADANA	DACKA, KOCAELİ
TSE, ANKARA	UNITEST, İSTANBUL
SİMKAL, İSTANBUL	UMS, ANKARA
S&Q MART, İSTANBUL	BATIMET, İZMİR
AS Kalibrasyon İZMİR	EGEMET, İZMİR
OMEGA, İZMİR	ANADOLU KALİBRASYON, ADANA
TÜBİTAK UME	

Karşılaştırmada kullanılan ve laboratuvarlar arası dolaşan cihaza (LADC) ait bilgiler ise Tablo 2' de verilmiştir.

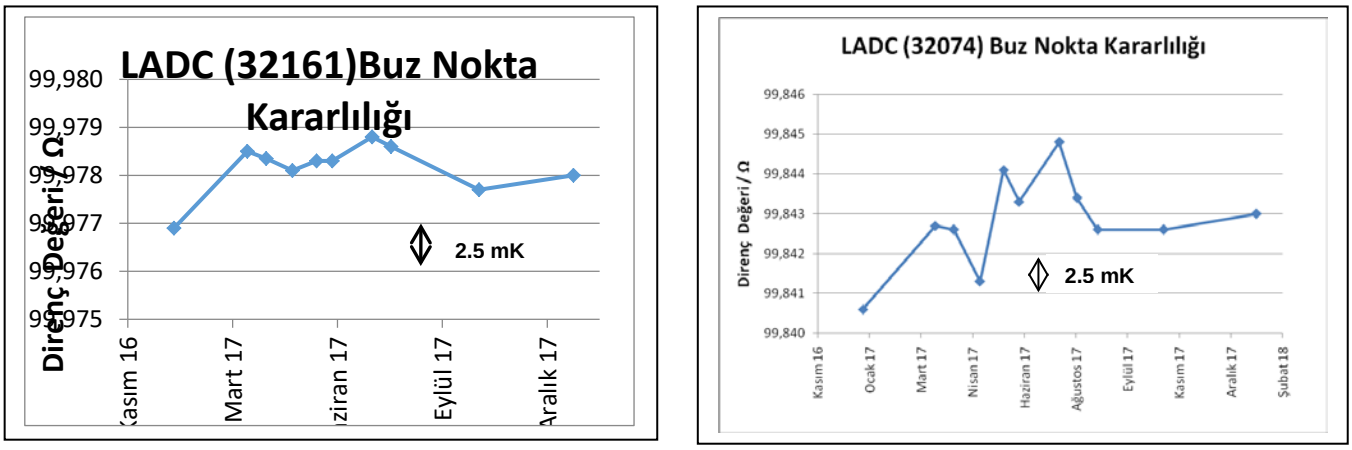
Tablo 2. LADC'ye ait bilgiler

Üretici	Fluke	Fluke
Tip	Pt-100	Pt-100
Model	5616-12	5616-12
Seri No	32160	32074

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Katılımcı laboratuvarlar, karşılaştırma ölçümlerini -40 °C ile 420 °C sıcaklık aralığında - 40 °C, - 20 °C, 0 °C, 50 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C, 420 °C sıcaklıklarında kendi ölçüm prosedürlerine göre yapmıştır. Tüm sıcaklık noktaları için ölçüm sonuçları, yukarıda belirtilmiş olan nominal sıcaklık değerlerinde hesaplanan direnç değerleri, TUBİTAK UME referans değerlerinden sapmaları ve her sıcaklık noktası için ölçüm belirsizlikleri verilmiştir.

Protokol gereğince TÜBİTAK UME karşılaştırma başlamadan önce ve bitiminde LADC 'lerin ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca LADC 'lerin kararlılık ölçümleri TÜBİTAK UME tarafından yapılmış olup, ölçüm sonuçları Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 2. LADC 'lerin (32161 ve 32074 seri no) buz nokta (0 °C) sıcaklığındaki kararlılık grafikleri

3. ÖLÇÜMLER

Değerlendirme sırasında, TÜBİTAK UME tarafından ölçülen değerler referans (t_{ref}) olarak alınmış ve katılımcı laboratuvarların bu değerlerden sapmaları, belirsizlik verileri dikkate alınarak yapılmıştır. Katılımcı laboratuvarlar tarafından beyan edilen ölçüm sonuçları ve belirsizlik değerleri kullanılarak her laboratuvar için sıcaklık farkı (D_i) ve karşılaştırma belirsizliği (U_{Di})

$$D_i = D_{t_{labi}-t_{ref}} = t_{Lab_i} - t_{ref} \quad (2)$$

$$U_{D_i} = \sqrt{(U_{Labi})^2 + (U_{ref})^2 + (U_{kararlılık})^2} \quad (3)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

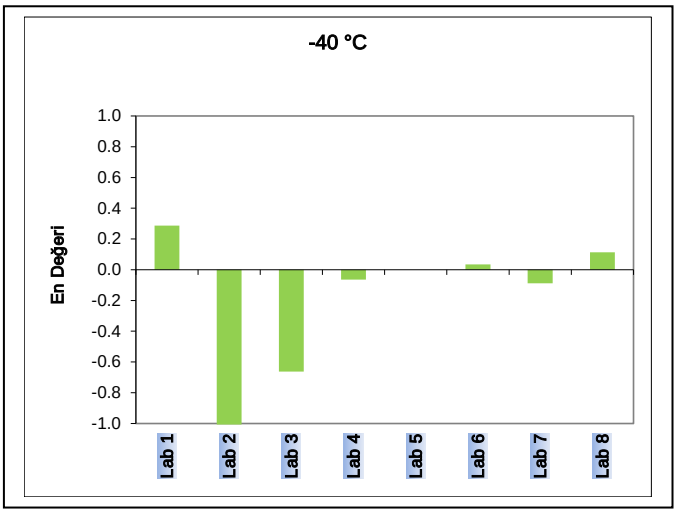
Ayrıca E_n değeri ise

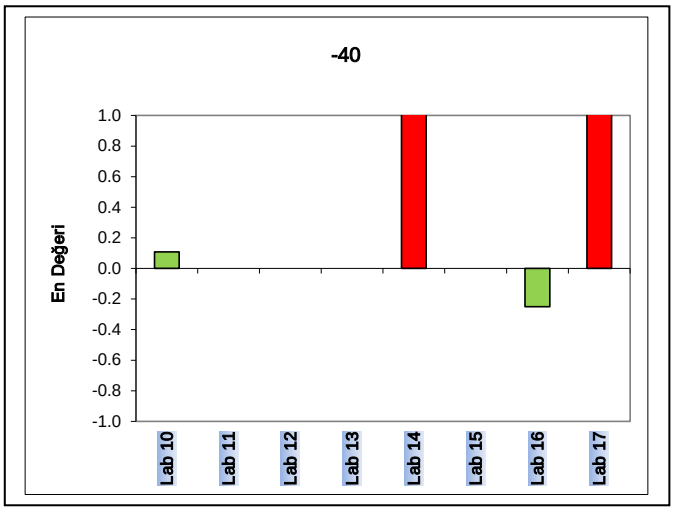
$$E_n = \frac{t_{Lab_i} - t_{ref}}{\sqrt{(U_{Labi})^2 + (U_{ref})^2}} \quad (4)$$

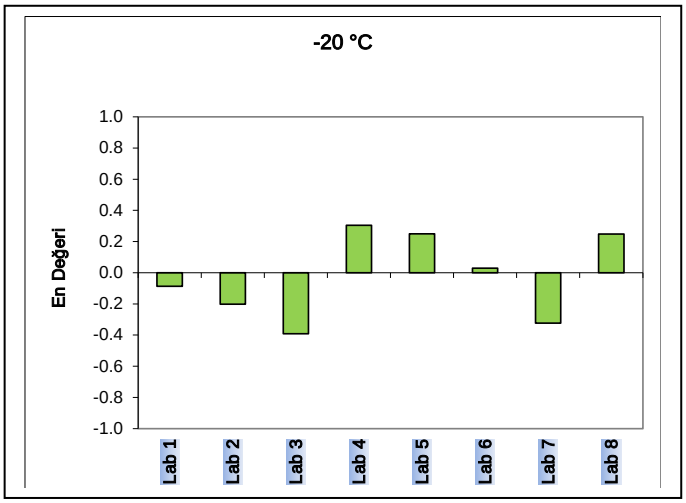
eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

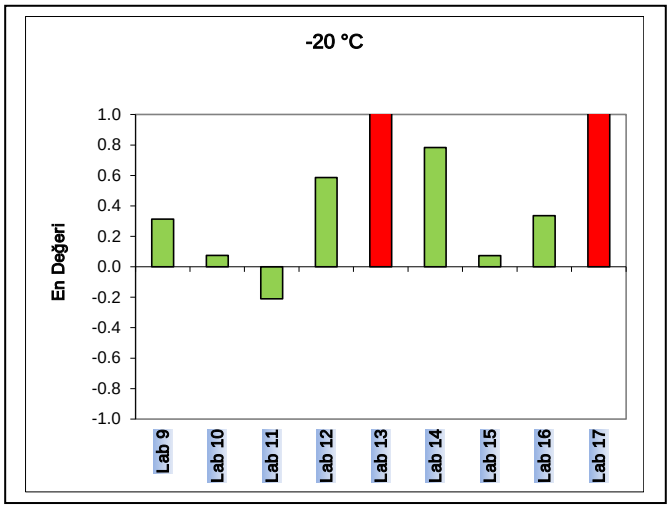
Her bir karşılaştırma sıcaklık değeri için katılımcı laboratuvarların En değerleri sırasıyla Şekil 3 de verilmiştir.

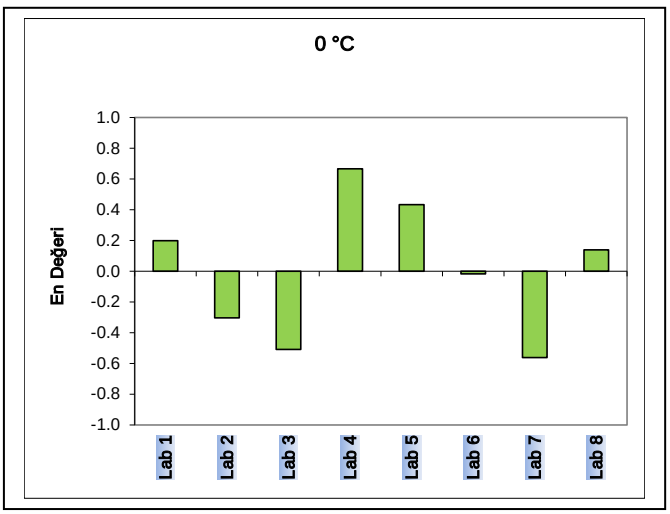
Şekil 3. Laboratuvarların -40 °C, -20 °C, 0 °C, 50 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C, 420 °C'deki E_n değerleri

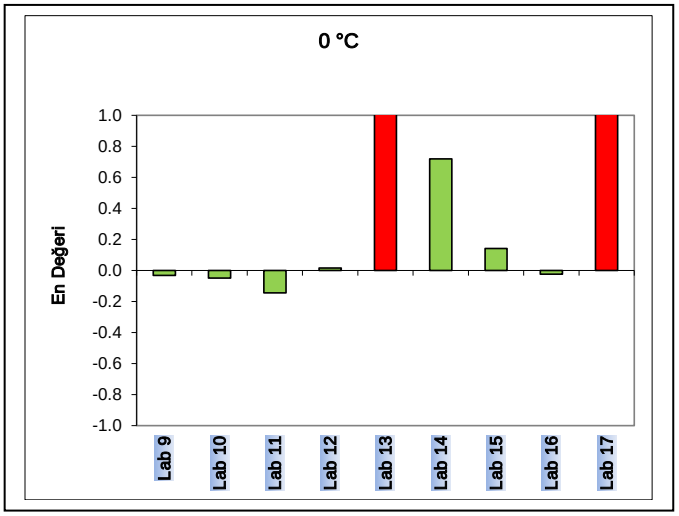


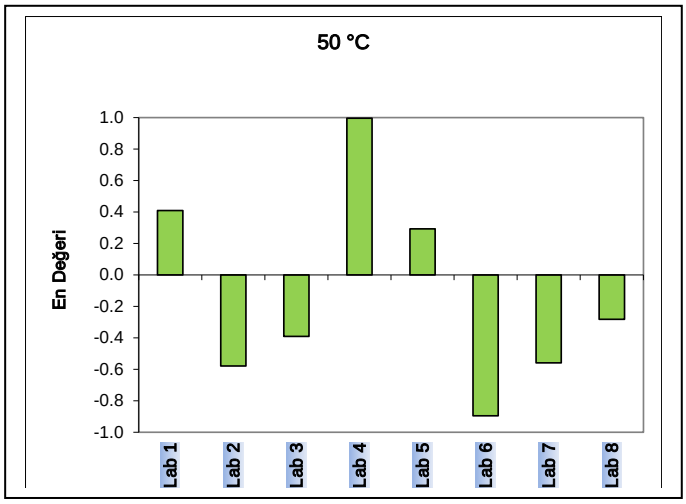


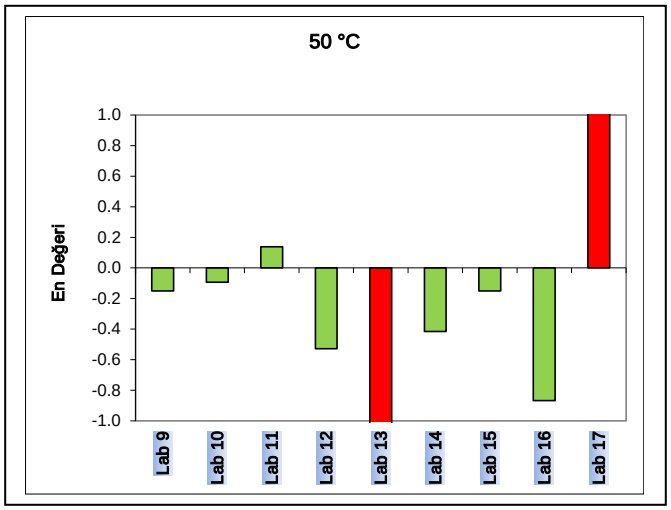


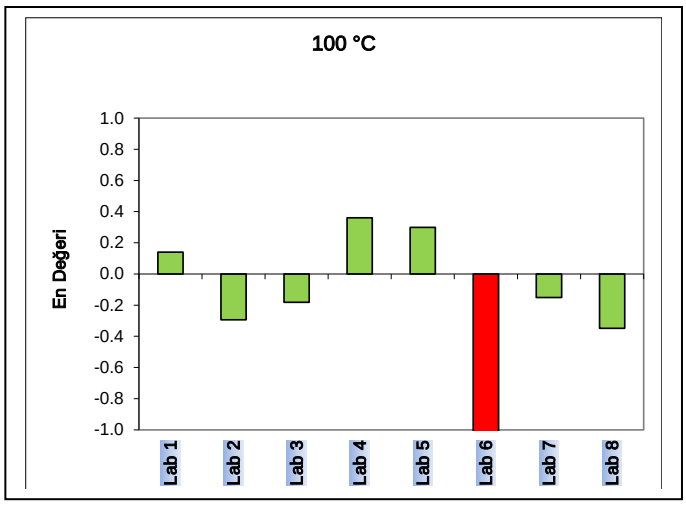


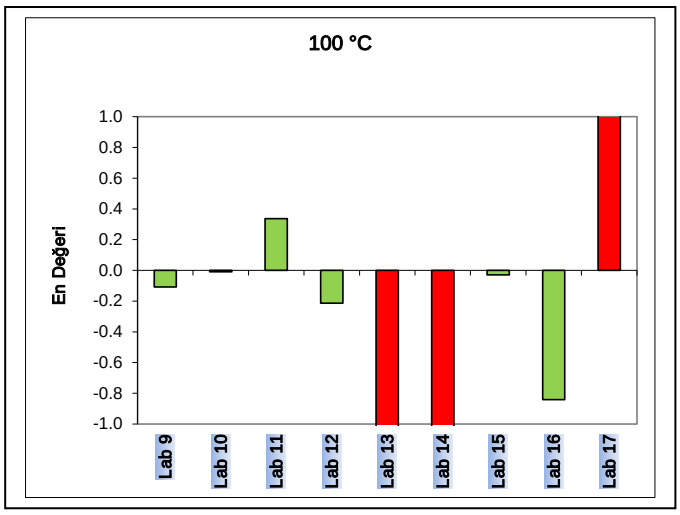


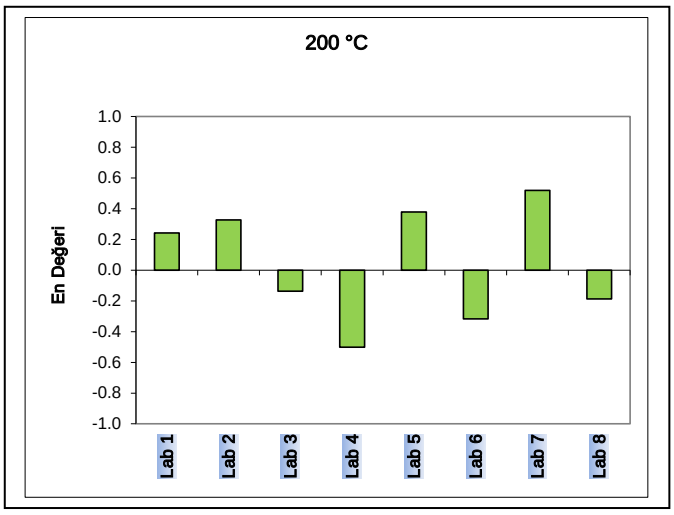


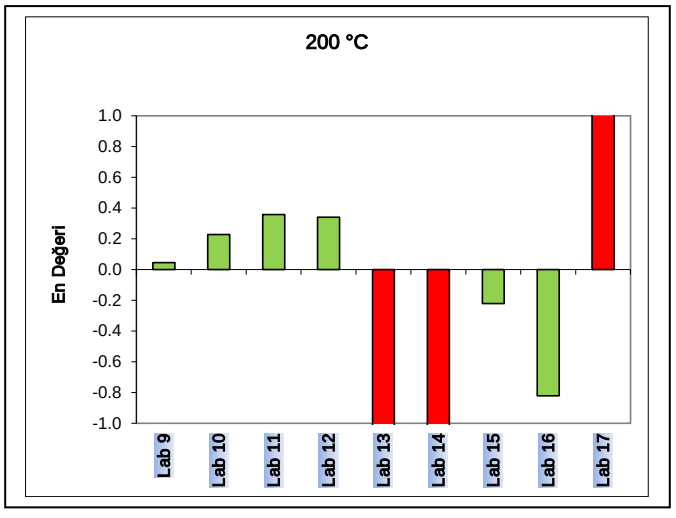

50 °C
En Değeri
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
Lab 1
Lab 2
Lab 3
Lab 4
Lab 5
Lab 6
Lab 7
Lab 8

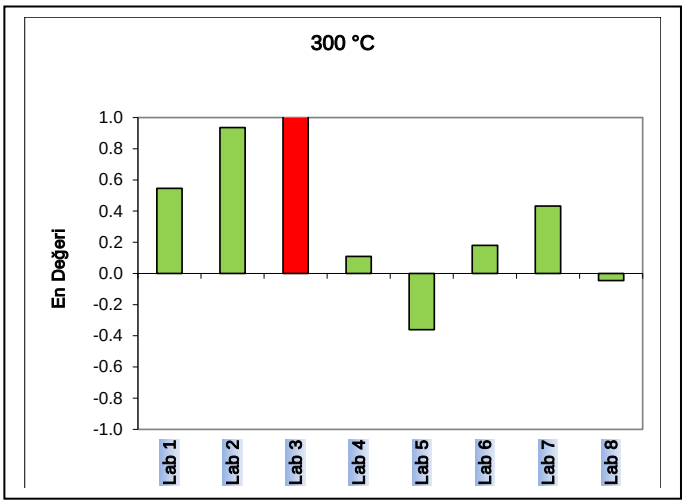

50 °C
En Değeri
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
Lab 9
Lab 10
Lab 11
Lab 12
Lab 13
Lab 14
Lab 15
Lab 16
Lab 17

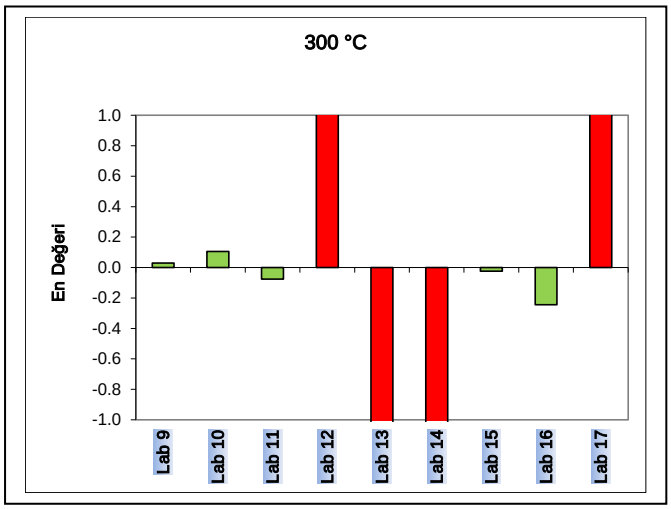

100 °C
En Değeri
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
Lab 1
Lab 2
Lab 3
Lab 4
Lab 5
Lab 6
Lab 7
Lab 8

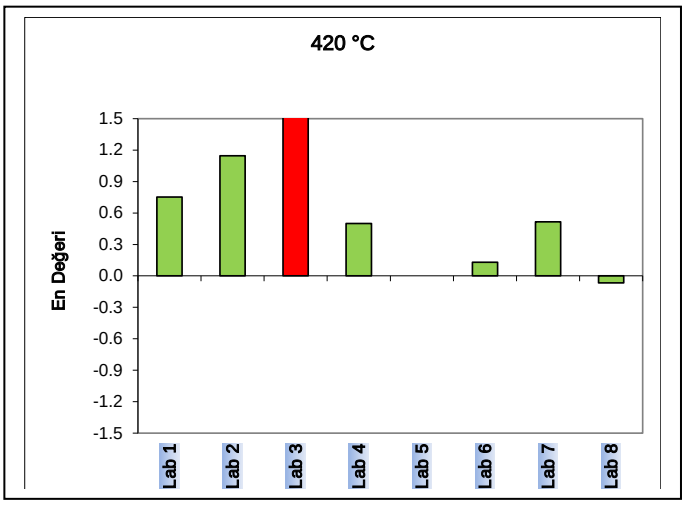

100 °C
En Değeri
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
Lab 9
Lab 10
Lab 11
Lab 12
Lab 13
Lab 14
Lab 15
Lab 16
Lab 17

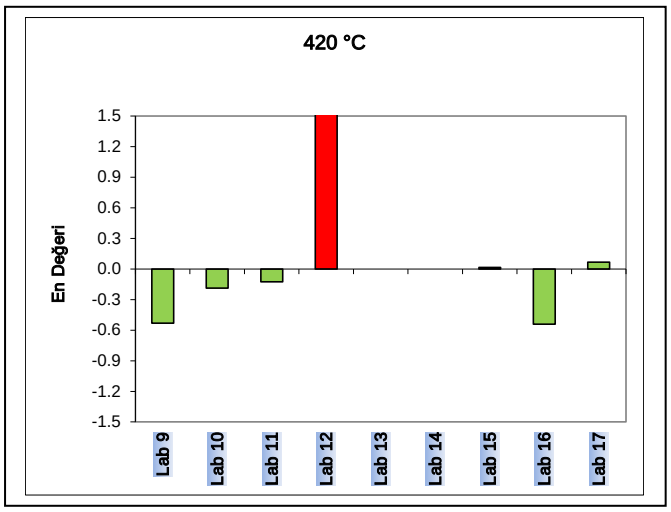

200 °C
En Değeri
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
Lab 1
Lab 2
Lab 3
Lab 4
Lab 5
Lab 6
Lab 7
Lab 8


200 °C
En Değeri
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1.0
Lab 9
Lab 10
Lab 11
Lab 12
Lab 13
Lab 14
Lab 15
Lab 16
Lab 17









4. SONUÇ

TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarı'nın organize ettiği ITS-90 Uluslararası sıcaklık ölçeğine uygun olarak "-40 °C ile 420 °C sıcaklık aralığında Pt-100 direnç termometre kalibrasyonu" karşılaştırmasına ülkemizden, pilot laboratuvar ile beraber on altı (16) laboratuvar katılmıştır. TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarı pilot laboratuvar olarak, yıldız tip karşılaştırmaya katılan laboratuvarlar arasındaki bağı oluşturmuştur.

Karşılaştırma, büyük oranda protokole, uygun şekilde yürütülmüştür. Ancak katılımcı laboratuvarların çoğunluğunun, protokolde istenen bütün bilgileri eksiksiz ve zamanında TÜBİTAK UME 'ye göndermedikleri gözlenmiştir. Karşılaştırma sonuçlarının değerlendirilmesi, pilot laboratuvar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Pilot laboratuvar Tablo 2 'de yer alan iki farklı LADC için iki farklı referans değer hesaplamıştır. 32161 seri numaralı LADC 'ye ait ilk referans değer ile ilk sekiz (8) laboratuvarın ölçümleri değerlendirilmiştir. 32074 seri numaralı LADC 'ye ait referans değer ile geri kalan dokuz (9) laboratuvarın ölçümleri değerlendirilmiştir. 32161 ve 32074 seri numaralı LADC 'lerin karşılaştırma süresince kendi gruplarına

ait gösterdiği kayma değerinden kaynaklanan belirsizlikler sırasıyla; 3 mK ve 6 mK olarak hesaplanmıştır. Kayma değerlerinden kaynaklanan bu belirsizlik değerleri, her bir laboratuvarın beyan ettiği ölçüm belirsizliği ile birlikte 3 numaralı denklem de verilen, U_{Di} içerisinde yer almıştır.

TÜBİTAK UME, karşılaştırmaya katılan her laboratuvarın karşılaştırma ölçümlerini gerçekleştirdikleri her sıcaklık noktasında referans sıcaklık değerinden sapma değerlerini hesaplamıştır.

Bir ölçümün kalitesi hakkında yargıya varabilmenin uygun ve pratik yöntemi, beyan edilmiş belirsizlik değerleri esas alınarak, normalize edilmiş "E_n" sapmasının hesaplanmasıdır. Ölçümün kabul edilebilir olması için $|E_n|$ değerinin 1'den küçük olması gerekmektedir. Bu sebeple her bir mutlak sıcaklık değeri için laboratuvarlara özel E_n değerleri hesaplanmıştır.

Karşılaştırma sonuçları ve E_n grafikleri incelendiğinde;

- -40 °C ile 420 °C arasındaki sıcaklıklar için, dokuz (9) katılımcının elde ettikleri $|E_n|$ değerlerinin 1'den küçük olduğu,
- 300 °C ve 420 °C sıcaklık değerleri için, üç (3) katılımcının elde ettikleri $|E_n|$ değerlerinin 1'den büyük olduğu,
- -40 °C sıcaklık değeri için, iki (2) katılımcının elde ettikleri $|E_n|$ değerlerinin 1'den büyük olduğu,
- 50 °C ve 100 °C sıcaklık değerleri için, ayrı ayrı birer katılımcı olmak üzere, iki (2) katılımcının elde ettikleri $|E_n|$ değerlerinin 1'den büyük olduğu

görülmüştür.

Ayrıca karşılaştırma süreci esnasında,

- Bazı katılımcıların, karşılaştırma **protokolünü okumadan** karşılaştırmaya katılmayı kabul ettikleri,
- Bazı katılımcıların direnç termometre ölçümlerini, sayısal göstergeli termometre ölçümleri gibi yorumlamaya çalışmaları ve "**nominal referans sıcaklık**" konusuna dikkat etmeden ölçüm sonucu beyan ettikleri,
- Katılımcıların bir bölümünün ölçüm sonucunda elde ettikleri direnç değerleri yerine, **direnç termometreleri için çeşitli kaynaklarda bulunan tablolardaki (örn. IEC 60751, vs.) direnç değerleri ile ölçüm sonucu hesapladıkları,**
- Ölçüm sonuçlarını değerlendirmek ve raporlamak için çeşitli bilgisayar yazılımlarını kullanan katılımcıların büyük çoğunluğunun, maddi hatalar olarak adlandırılan hatalar yaptıkları ve **bu yazılımlardan kaynaklı yanlış ölçüm sonuçları** beyan ettikleri,
- Bazı katılımcıların TÜRKAK 'da yer alan akreditasyon kapsamlarında, **beyan ettikleri ölçüm belirsizliklerinden daha büyük ölçüm belirsizlikleri verdikleri** gözlenmiştir.

Ölçüm sonuçları içerisinde LAB13 'e ait ölçüm sonuçları yer almamaktadır. LAB13 başvuru katılım koşullarını tamamlayacağını taahhüt etmiş olup, ölçümleri gerçekleştirmiştir ve göndermiş oldukları sonuçlar, Draft A ve Draft B raporlarına girilmiştir. FİNAL raporunun yayınlanması için başvuru işlemlerini tamamlamaları istenmiş, gerekli bilgilendirme ve hatırlatmalar kendilerine yapılmıştır. Ancak konu ile ilgili olarak yapılan resmi yazışmalarla bilgilendirilmiş olmasına karşın laboratuvardan cevap alınamamıştır. Bu nedenle LAB13' e ait hiçbir sonuç FİNAL raporunda değerlendirmeye alınmamış ve tablolara da girilmemiştir.

KAYNAKLAR

[1] H. Preston-Thomas, “The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)”, *Metrologia*, vol.27,pp.3-10, 1990
[2] ISO/IEC 17043 “Uygunluk Değerlendirmesi- Yeterlilik Testleri için Genel Kurallar”, 2010
[3] ISO/IEC 17025, “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”, 2017
[4] EA-4/02, “Expression of the uncertainty of measurement in calibration”, 2013
[5] TÜRKAK, R10-14 “Uygunluk Değerlendirme Programlarının Değerlendirilmesi Rehberi”, 2017
[6] TÜBİTAK UME, “G1KS-035 Direnç Termometre, Sayısal ve Cam Termometre Kalibrasyon Eğitim Dökümanı”

ÖZGEÇMİŞ

Alev ÇORMAN TEYMUR

EGE Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünden 1997 yılında Teorik Fizikçi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl “Kütle Metrolojisine Giriş” adı altında tez çalışması yapmıştır.

1997 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Zaman Frekans Laboratuvarında göreve başlamış ve 1999 yılından bu yana TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında görevine devam etmektedir. Kontak Sıcaklığı alanında birincil ve ikincil seviye çeşitli sıcaklık ölçüm cihaz ve düzenekleri ile çalışmaktadır. Sabit nokta sıcaklıklarının oluşturulması, Isılçift, Platin bazlı direnç termometre (SPRT, PT100, Pt200, ntc, ptc,…) kalibrasyonları, Etüv ve çeşitli sıcaklık kabin kalibrasyonları, yüzey sıcaklık ölçümleri üzerine çalışmakta olup, ölçme sistemlerinin kurulumu, karakterizasyonu ve belirsizlik hesaplamaları konusunda çalışmalar yapmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinin ulusal/uluslararası izlenebilirliğini sağlamak için düzenlenen anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır.

BAĞIL NEM ÖLÇER KALİBRASYONU VE BELİRSİZLİK HESAPLAMALARI

Seda OĞUZ AYTEKİN

ÖZET

Ülkemiz genelinde gerçekleştirilen nem ölçümlerindeki uyumlaştırma çalışmaları kapsamında TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı eğitim, danışmanlık, laboratuvarlar arası karşılaştırma ve teknik denetçilik hizmetleri sağlamaktadır. Ancak nem alanındaki doküman ve teknik bilginin eksikliği veya yetersizliği paydaşlarımızca en sık karşılaşılan problem olarak tarafımıza iletilmektedir. Bağıl nem ve hava sıcaklık ölçüm belirsizlik hesaplamalarının tüm laboratuvar ve kurumlar tarafından aynı parametreler kullanılarak hesaplanması ülke genelinde nem ölçümlerindeki uyumun sağlanmasını mümkün kılacaktır.

Bağıl nem ve hava sıcaklık ölçer kalibrasyonu, nem kaynağı kabini veya iklimlendirme kabininde referans bağıl nem ve sıcaklık ölçer veya referans çiy-noktası nem ölçer kullanılarak yapılır. Kalibre edilen cihazın kalibrasyonu ulusal standartlara izlenebilirliği olan referans cihazlar kullanılarak karşılaştırmalı ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, bağıl nem ve hava sıcaklık ölçer kalibrasyonları sonucunda gerekli olan belirsizlik hesaplamaları için uygun model fonksiyon tanımlanmış, belirsizlik parametreleri detayları ile anlatılmış ve örnek hesaplamalar verilmiştir. Tüm belirsizlik parametrelerini içeren örnek belirsizlik bütçesi de verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağıl nem, Belirsizlik, Hava Sıcaklık, Kalibrasyon.

ABSTRACT

TÜBİTAK UME Humidity Laboratory provides training, consultancy, interlaboratory comparison and technical auditing services within the scope of harmonization studies carried out in our country in terms of humidity and moisture measurements. However, lack of documentation and technical information in the field of humidity and moisture is the most frequently encountered problem emphasized by stakeholders in Turkey. Calculation of relative humidity and air temperature measurement uncertainties using the same parameters by all laboratories and institutions will enable harmonization in humidity and moisture measurements throughout the country.

Calibration of a thermo-hygrometer is performed using a reference thermo-hygrometer or a reference dew-point hygrometer in the chamber of humidity generator or in a climatic chamber. Calibration of the device was carried out by comparison method using reference devices which are traceable to the national standards.

In this study, appropriate model functions are defined for uncertainty calculations required for the thermo-hygrometer calibrations. Besides, uncertainty parameters are explained in detail and sample calculations are given. A sample uncertainty budget including all uncertainty parameters is also presented.

Key Words: Air Temperature; Calibration, Relative humidity, Uncertainty.

1. GİRİŞ

Nem ölçümleri; ürün kalitesinin artması, maliyetin azaltılması, insan rahatlığı ve sağlığının sağlanması için laboratuvar ve endüstride yapılan çalışmalar ile üretim kontrolünde gün geçtikçe artan bir önem kazanmaktadır.

Bağıl nem, nem ölçümlerinde en sık karşılaşılan terimdir ve farklı şekillerde tanımlanabilir:

- Belirli sıcaklık ve basınç değerindeki hava ya da herhangi bir gaz içinde bulunan su buharı miktarının, aynı şartlardaki havada bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranıdır.

- Belirli sıcaklık ve basınç değerindeki hava ya da herhangi bir gaz içinde bulunan gerçek su buharı mol oranının doyma durumundaki mol oranına oranıdır.

- Belirli sıcaklık ve basınç değerindeki hava ya da herhangi bir gaz içinde bulunan gerçek su buhar basıncının doyma su buhar basıncına oranıdır. Aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$\psi = \frac{e}{e_s} \cdot \frac{f}{f_s} \cdot 100 = \frac{e(t)}{e(t_s)} \cdot \frac{f(P,t)}{f(P_s,t_s)} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada ψ yüzde bağıl nem, e kısmi buhar basıncı, e_s doyma buhar basıncı, f artma faktörü, f_s doyma durumundaki artma faktörüdür. [1].

Su buhar basıncı, havanın toplam basıncına su buhar basıncından gelen katkıdır. Artma faktörü ise su buhar basıncının ideal durumdan sapmasını ifade eder.

Bağıl nem değeri havanın sıcaklık ve basınç değerlerine bağlıdır. Sıcaklık değeri değiştikçe kalibrasyonun yapıldığı kabin içindeki bağıl nem değeri de değişeceği için bağıl nem kalibrasyonu sırasında kabin içindeki hava sıcaklık değeri de mutlaka sabit bir değerde, örneğin 23 °C'de, olmalıdır.

Kalibrasyon sırasında bağıl nem değeri ve hava sıcaklık değeri aynı anda ölçülmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Kalibrasyon sertifikasında bağıl nem değeri ile aynı anda ölçülen hava sıcaklık değeri de mutlaka yer almalıdır. Kalibre edilen cihazın hava sıcaklık değerini ölçmediği durumlarda bile referans hava sıcaklık bilgisi mutlaka sertifikada yer almalıdır.

2. BAĞIL NEM VE HAVA SICAKLIK ÖLÇER KALİBRASYONU

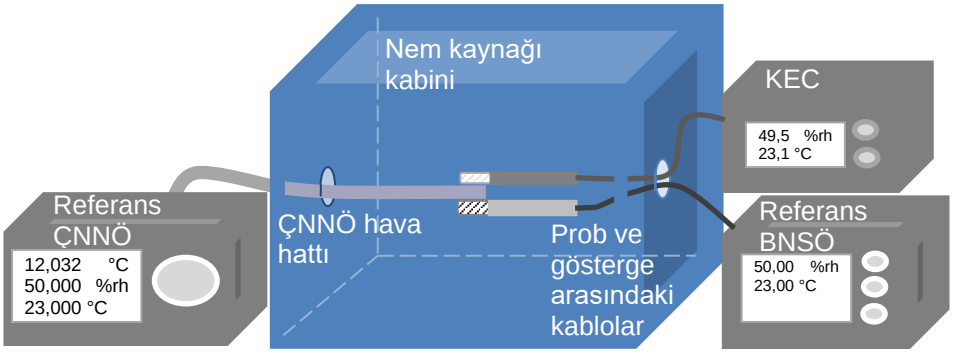
Şekil 1'de nem kabininde referans Bağıl Nem ve Hava Sıcaklık Ölçer (BNHSÖ) veya referans Çiy-Noktası Nem Ölçer (ÇNNÖ) kullanılarak yapılan bağıl nem ve hava sıcaklık ölçer cihazının karşılaştırmalı kalibrasyonu gösterilmiştir. Kalibre edilen cihaz (KEC) bir bağıl nem ve hava sıcaklık ölçerdir. Kalibrasyonlar ulusal standartlara izlenebilirliği olan referans cihazlar kullanılarak karşılaştırmalı ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmelidir.

Bağıl nem ve hava sıcaklık kalibrasyonları öncesinde, nem ve sıcaklık kabininin bağıl nem ve hava sıcaklık karakterizasyonları ilgili standartlar ve kılavuz dokümanlara göre yapılmış olmalıdır. Karakterizasyon sonucunda elde edilen kabin bağıl nem ve hava sıcaklık belirsizlik değerleri belirsizlik bütçesinde yer almalıdır.

Kalibrasyon sırasında dikkate edilecek hususlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Referans cihazın okuma çözünürlüğü KEC okuma çözünürlüğünden 10 kat daha iyi olmalıdır.
2. Kalibrasyona başlamadan önce KEC probu ile referans cihaz probu veya ÇNNÖ hava hattı başlangıcı nem kaynağı kabini orta bölgesine yerleştirilmelidir.

3. Nem kaynağı kabinine yerleştirilecek probun gösterge bağlantı kablosunun 1 metrelik bölümünün nem kaynağı kabini içerisine yerleştirilmesi önerilir. Eğer KEC probunun gösterge ile arasındaki kablonun uzunluğu 1 metreden kısa ise referans cihaz probunun kablosu da aynı uzunlukta olacak şekilde nem kaynağı kabini içerisine yerleştirilmesi gerekir.
4. Her ölçüm değerinde referans ve KEC'den bağıl nem ve hava sıcaklık değerleri dakikada bir ölçüm olmak üzere toplam on (10) ölçüm olarak kaydedilmeli ve sertifikada on ölçüm değerinden hesaplanan ortalama değerler verilmelidir. [2]



Şekil 1. Bağıl Nem ve Hava Sıcaklık Ölçer kalibrasyonu ölçüm sistemi.

Bağıl nem kalibrasyonunun sabit bir sıcaklık değerinde ve en az üç (3) bağıl nem değerinde yapılması önerilmektedir. Bağıl nem histeresiz belirsizlik bileşeni hesaplaması [3] için en yüksek bağıl nem değerinden hemen sonra tekrar orta nokta olan 50 %rh bağıl nem değerinde ölçüm alınır. Özet olarak bağıl nem kalibrasyonu için aşağıda verilen sıralama uygulanarak ölçümler tamamlanır:

- 30 %rh - 23 °C'de
- 50 %rh - 23 °C'de
- 70 %rh - 23 °C'de
- 50 %rh - 23 °C'de

Bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığı belirsizlik parametresini hesaplamak için sabit bir bağıl nem değerinde en az üç (3) hava sıcaklık değerinde kalibrasyonun yapılması önerilmektedir. Örnek kalibrasyon değerleri aşağıda verilmiştir:

- 21 °C - 50 %rh'de
- 23 °C - 50 %rh'de
- 25 °C - 50 %rh'de

Kalibrasyon sırasında her değerde kararlı duruma gelmesi beklenerek aynı sürede ölçümler alınmalıdır.

3. BAĞIL NEM VE HAVA SICAKLIK ÖLÇER KALİBRASYONU BELİRSİZLİK BİLEŞENLERİ ve HESAPLAMALARI

Belirsizlik hesaplamalarında tekrarlanabilirlik bileşeni olarak kullanılacak standart sapma değeri sıfır (0) olarak hesaplandığı durumlarda okuma çözünürlüğünden kaynaklı olduğu dikkate alınarak çözünürlük değeri tekrarlanabilirlik bileşeni olarak belirsizlik hesaplamalarına dahil edilmelidir. Tekrarlanabilirlik değeri olarak sıfır (0) alınmamalıdır.

Bağıl nem histeresiz belirsizlik bileşeni hesaplaması için (30-50-70) %rh ölçümlerine ek olarak 70 %rh bağıl nem değerinden hemen sonra tekrar 50 %rh bağıl nem değerinde ölçüm alınır. 50 %rh bağıl nem değeri en yüksek bağıl nem değeri uygulandıktan sonra aynı gün içinde ölçülmelidir. KEC'den ölçülen iki 50 %rh değeri arasındaki fark bağıl nem histeresiz belirsizlik bileşeni olarak hesaplamalara dahil edilir. [4]

3.1. Bağıl Nem Model Fonksiyonları

Kullanılan ölçüm metodu dikkate alınarak ölçümün model fonksiyonu Eşitlik 1'de verildiği gibi belirlenir. Ölçümlerde referans ölçüm cihazı olarak Bağıl Nem ve Sıcaklık Ölçer veya Çiy-Noktası Nem Ölçer kullanıldığı durumlarda aşağıda verilen eşitlikte belirtilen belirsizlik bileşenleri ile belirsizlik hesaplaması yapılır.

$$C_{KEC} = \psi_{Ref} - \psi_{KEC} + \delta\psi_{RefSrt} + \delta\psi_{RefKym} + \delta\psi_{RefCzn} + \delta\psi_{RefTkr} + \delta\psi_{KbnDgl} + \delta\psi_{KECTkr} + \delta\psi_{KECCzn} + \delta\psi_{KECHst} + \delta\psi_{KECSck} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de verilen sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Eşitlik 2'de verilen sembollerin açıklamaları

Sembol	Tanımı
ψ	t ≥ 0 °C sıcaklık değerlerinde ölçülen Bağıl nem değeri
C_{KEC}	KEC'e ait bağıl nem düzeltme değeri
ψ_{Ref}	Referans cihazdan okunan bağıl nem değeri
ψ_{KEC}	KEC'den okunan bağıl nem değeri
$\delta\psi_{RefSrt}$	Referans cihaz sertifikada verilen bağıl nem belirsizlik değeri
$\delta\psi_{RefKym}$	Referans cihaz yıllık bağıl nem kayma değeri
$\delta\psi_{RefCzn}$	Referans cihaz bağıl nem okuma değerine ait çözünürlük
$\delta\psi_{RefTkr}$	Referans cihaz bağıl nem tekrarlanabilirlik (zamansal kararlılık) değeri
$\delta\psi_{KbnDgl}$	Nem kabini bağıl nem dağılımı
$\delta\psi_{KECTkr}$	KEC bağıl nem tekrarlanabilirlik (zamansal kararlılık) değeri
$\delta\psi_{KECCzn}$	KEC bağıl nem okuma değerine ait çözünürlük
$\delta\psi_{KECHst}$	KEC bağıl nem histeresiz değeri
$\delta\psi_{KECSck}$	KEC bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığı

3.2. Bağıl Nem Belirsizlik Bileşenleri

Eşitlik 2'de verilen model fonksiyonda yer alan her bir girdi için belirsizlik bileşenleri aşağıda tanımlanmıştır.

Tablo 2. Model fonksiyonda yer alan belirsizlik bileşenleri ve açıklamaları

$u\left(\psi_{RefSrt}\right)$
Referans cihazın kalibrasyon sertifikasında verilen belirsizlik değeridir. Referans cihazın son kalibrasyon sertifikasında ölçüm yapılan değerler için hesaplanan ölçüm belirsizliği k=2 kapsam faktörü ve %95 güvenirlik seviyesi ile verilmiştir. Normal dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{RefKym}\right)$
Referans cihazın yıllık kaymasından kaynaklanan belirsizlik değeridir. Referans cihazın ardışık iki kalibrasyon sertifikalarında yer alan değerler arasındaki fark alınarak hesaplanır. Dikdörtgen dağılımdır.
Cihazın yeni alındığı veya önceki sertifikanın olmadığı durumlarda üreticisi tarafından beyan edilen değer kullanılır. Normal dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{RefCzn}\right)$
Referans cihazın okuma çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik değeridir. Dikdörtgen dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{RefTkr}\right)$
Referans cihaz ile alınan, tekrarlanmış ölçüm sonuçlarından istatistiksel yöntemlerle belirlenmiş tekrarlanabilirlik değeridir. Normal dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{KbnDgl}\right)$
Nem kabini nem dağılımından kaynaklanan belirsizlik değeridir. Nem kabini bağıl nem karakterizasyon ölçümlerinin ilgili standartlara ve kılavuz dokümanlara uygun olarak yapılarak elde edilen ölçüm belirsizlik değeridir. Normal dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{KECTkr}\right)$
Referans cihaz ile alınan, tekrarlanmış ölçüm sonuçlarından istatistiksel yöntemlerle belirlenmiş tekrarlanabilirlik değeridir. Normal dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{KECCzn}\right)$
KEC okuma çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik değeridir. Dikdörtgen dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{KECHst}\right)$
KEC'in sabit sıcaklıktaki (30-50-70-50) %rh kalibrasyon işleminde düşük ve yüksek bağıl nem değerinden sonra ölçülen 50 %rh bağıl nem değerleri arasındaki farktan kaynaklanan belirsizlik değeridir. Dikdörtgen dağılımdır.

$u\left(\delta\psi_{KECSck}\right)$
KEC bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığından kaynaklanan belirsizlik değeridir. Sabit bağıl nem değerinde üç (3) farklı sıcaklık değerinde kalibrasyon yapıldığı durumlarda bu bileşen dikkate alınır. Dikdörtgen dağılımdır.

- **Referans Cihazın Sertifikada Verilen Bağıl Nem Belirsizlik Değeri (ψ_{RefSrt})**
  Referans cihazın son kalibrasyon sertifikasında 50 %rh bağıl nem değeri için ölçülen değer 50,00 %rh ve ölçüm belirsizliği %95 güvenirlikte (k=2) 0,8 %rh olarak verilmektedir. Bu durumda;

  Standart belirsizlik : $u\left(\psi_{Ref}\right)$ = 0,8 %rh × (1/2) = 0,4 %rh
  Duyarlılık katsayısı : $c\left(\psi_{Ref}\right)=\frac{\partial c_{KEC}}{\partial\psi_{Ref}}$ = 1

- **Referans Cihaz Yıllık Bağıl Nem Kayma Değeri ($\delta\psi_{RefKym}$)**
  Kalibrasyon periyodu 1 yıl olarak belirlenen referans cihazın yıllık kayma belirsizliği, ardışık kalibrasyon sertifikalarındaki eş değerler arasındaki fark kullanılarak hesaplanır. Dağılımı dikdörtgen dağılımdır.

  Standart belirsizlik : $u\left(\psi_{Ref}\right)=\frac{\text{Yıllık Kayma}}{2\times\sqrt{3}}=\frac{50,0\text{-}50,2}{2\times\sqrt{3}}$ %rh = 0,06 %rh
  Duyarlılık katsayısı : $c\left(\psi_{Ref}\right)$ = 1

  Cihazın yeni alındığı veya önceki sertifikanın olmadığı durumlarda üreticisi tarafından beyan edilen değer kullanılır. Dağılımı normal dağılımdır.

- **Referans Cihaz Bağıl Nem Okuma Değerine Ait Çözünürlük (ψ_{RefCzn})**
  Referans cihazın göstergesinden aşağıdaki biçimlerde okuma yapılabilir. Çözünürlük için sayısal değerin en küçük basamağı dikkate alınır. Örnekler aşağıda verilmiştir.

  Tablo 3. Okuma çözünürlüğü hesaplamasına ait örnekler

Cihazdan okunan değer	Okuma çözünürlüğü	Dağılımı	Standart belirsizlik $u\left(\delta\psi_{RefCzn}\right)$
21 %rh ise	1 %rh / 2 = 0,5 %rh	Dikdörtgen	0,5 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,3 %rh
21,1 %rh ise	0,1 %rh / 2 = 0,05 %rh	Dikdörtgen	0,05 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,03 %rh
21,10 %rh ise	0,01 %rh / 2 = 0,005 %rh	Dikdörtgen	0,005 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,003 %rh
21,15 %rh ve 21,20 %rh arasında değişiyorsa	0,05 %rh / 2 = 0,025 %rh	Dikdörtgen	0,025 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,014 %rh

Standart belirsizlik : $u(\delta\psi_{RefCzn}) = (0{,}01\%rh / 2)/\sqrt{3} = 0{,}003$ %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\delta\psi_{RefCzn}) = 1$

- **Referans Cihaz Bağıl Nem Tekrarlanabilirlik Değeri (Zamansal Kararlılık) (ψ_{RefTkr})**

Referans cihazın bağıl nem okuma değeri, 10 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenir. Bu durumda tekrarlanan ölçüm sayısı *n* =10'dur. On (10) ölçüm sonucunun ortalama değeri Eşitlik 4 ile hesaplanır:

$$\overline{\psi_{Ref}} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\psi_{Ref_k} \quad (4)$$

$\overline{\psi_{Ref}} = 50{,}00$ %rh

Deneysel standart sapma değeri Eşitlik 5 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$s_{\psi Ref} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}\left(\psi_{Ref_k} - \overline{\psi_{Ref}}\right)^2} \quad (5)$$

$s_{\psi Ref}$ =[(1/9) [(50,00-50,00)^2 + (50,01-50,00)^2 + (49,99-50,00)^2 + (50,01-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (49,99-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2]]$^{1/2}$ %rh

$s_{\psi Ref} = 0{,}007$ %rh

Eşitlik 6 kullanılarak standart sapma belirsizliği hesaplanır:

$$u(\psi_{Ref}) = \sqrt{\frac{s_{\psi Ref}^2}{n}} \quad (6)$$

Standart belirsizlik : $u(\psi_{Ref}) = = \sqrt{0{,}007^2/10}\ \%rh = 0{,}002$ %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\psi_{Ref}) = \frac{\partial C_{Ref}}{\partial \psi_{Ref}} = 1$

- **Nem Kabini Bağıl Nem Dağılımı (ψ_{KbnDgl})**

KEC bağıl nem kalibrasyonunun yapıldığı Nem Kabininin, aşağıda verilen standartlar ve kılavuz dokümanlara uygun olarak bağıl nem karakterizasyonu ölçümleri sonucunda elde edilen nem kabin dağılımı belirsizliğidir. Aşağıdaki dokümanların güncel nüshaları kullanılmalıdır.

1. BS EN 60068-3-5:2018, Environmental Testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers
2. BS EN IEC 60068-3-6:2018, Environmental Testing - Part 3-6: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature/ humidity chambers
3. BS EN 60068-3-11:2007, Environmental Testing - Part 3-11: Supporting documentation and guidance - Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers
4. EURAMET Calibration Guide No. 20, Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, Version 5.0 (09/2017)
5. DKD Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers, Edition 07/2004, English translation 02/2009

- **KEC Bağıl Nem Tekrarlanabilirlik Değeri (ψ_{KECTkr})**

KEC'in bağıl nem okuma değeri, 10 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenir. Bu durumda tekrarlanan ölçüm sayısı *n* =10'dur. On (10) ölçüm sonucunun ortalama değeri Eşitlik 4 ile hesaplanır:

$\overline{\psi_{KEC}} = 49{,}5$ %rh

Deneysel standart sapma değeri Eşitlik 5 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$s_{\psi KEC}$ = [(1/9) [(49,5-49,5)^2 + (49,4-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,6-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,4-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,6-49,5)^2 + (49,5-49,5)^2 + (49,4-49,5)^2]]$^{1/2}$ %rh

$s_{\psi KEC}$ = 0,074 %rh

Eşitlik 6 kullanılarak standart sapma belirsizliği hesaplanır:

Standart belirsizlik : $u(\psi_{KEC}) = = \sqrt{0{,}074^2/10}\ \%rh = 0{,}024$ %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\psi_{KEC}) = \frac{\partial c_{KEC}}{\partial \psi_{KEC}} = -1$

- **KEC Bağıl Nem Okuma Değerine Ait Çözünürlük ($\delta\psi_{KECCzn}$)**

KEC göstergesinden aşağıdaki biçimlerde okuma yapılabilir. Çözünürlük için sayısal değerin en küçük basamağı dikkate alınır. Örnekler Tablo 5'de verilmiştir.

Standart belirsizlik : $u(\delta\psi_{KEC}) = \frac{0{,}1\%rh/2}{\sqrt{3}} = 0{,}03$ %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\delta\psi_{KEC}) = -1$

- **KEC Bağıl Nem Histeresiz Değeri ($\delta\psi_{KECHst}$)**

KEC'in sabit sıcaklıktaki (30-50-70-50) %rh kalibrasyon işleminde düşük ve yüksek bağıl nem değerinden sonra ölçülen 50 %rh bağıl nem değerleri arasındaki fark kullanılarak hesaplanan belirsizlik değeridir.

Dikdörtgen dağılımdır. Bu durumda;

Standart belirsizlik : $u(\delta\psi_{KECHst}) = \frac{0{,}5\ \%rh}{2\times\sqrt{3}} = 0{,}14$ %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\delta\psi_{KEC}) = -1$

- **KEC Bağıl Nem Değerinin Sıcaklık Bağımlılığı ($\delta\psi_{KECSck}$)**

KEC'in bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığından kaynaklanan belirsizlik değeridir.

Sabit bağıl nem ve üç (3) farklı sıcaklık değerinde kalibrasyon yapılırsa bu bileşen dikkate alınır. Örnek ölçüm değerleri aşağıda verilmiştir:

- 21 °C ve 50 % rh
- 23 °C ve 50 % rh
- 25 °C ve 50 % rh

Yukarıda verilen ölçüm değerlerinde KEC'den okunan bağıl nem değerlerinin aynı değerleri göstermesi beklenirken bağıl nemin sıcaklık bağımlılığı dolayısıyla bağıl nem değerleri aşağıdaki gibi ölçülebilmektedir. Aşağıdaki tabloda verilen her değer on (10) ölçümün ortalamasıdır.

Tablo 4. KEC sıcaklık kalibrasyonu sonuçları

Referans Bağıl Nem Değeri %rh	KEC Bağıl Nem Değeri %rh	Referans Sıcaklık Değeri °C	KEC Sıcaklık Değeri °C
50,00	48,3	21,00	21,2
50,00	49,5	23,00	23,2
50,00	52,7	25,00	25,2

Dikdörtgen dağılımdır. Bu durumda;

Standart belirsizlik : $u(\delta\psi_{KECSck}) = \left(\left(\frac{52,7\ \%rh - 48,3\ \%rh}{25,2\ °C - 21,2\ °C} \times 1\ °C \right) \Big/ 2 \times \sqrt{3} \right) = 0,32\ \%rh$

Duyarlılık katsayısı : $c(\delta\psi_{KEC}) = -1$

3.3. Bağıl Nem Belirsizlik Bütçesi

Kalibre edilen Bağıl Nem ve Sıcaklık Ölçer cihazının 50 %rh ve 23 °C'de yapılan kalibrasyonu için belirsizlik bütçesi tablosu Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. Bağıl nem ve sıcaklık ölçer 50 %rh ve 23 °C kalibrasyonu için belirsizlik bütçesi

Belirsizlik Bileşeni X_i		Tahmini Değer x_i	Standart Belirsizlik $u(x_i)$	Olasılık Dağılımı	Duyarlılık Katsayısı c_i	Belirsizlik Katkısı $u_i(C_x)$
ψ_{ix}	KEC okunan değer	49,5 %rh				
$\delta\psi_{RefSrt}$	Referans cihazdan okunan değer	50,00 %rh	0,80 %rh	Normal	1	0,8 %rh
$\delta\psi_{RefKym}$	Referans cihazın kayma değeri	0 %rh	0,06 %rh	Dikdörtgen	1	0,1 %rh
$\delta\psi_{RefCzn}$	Referans cihaz çözünürlük değeri	0 %rh	0,003 %rh	Dikdörtgen	1	0,0 %rh
$\delta\psi_{RefTkr}$	Referans cihaz tekrarlanabilirlik değeri	0 %rh	0,007 %rh	Normal	1	0,0 %rh
$\delta\psi_{KbnDgl}$	Kabin bağıl nem dağılımı	0 %rh	1,4 %rh	Normal	1	1,4 %rh
$\delta\psi_{KECTkr}$	KEC tekrarlanabilirlik değeri	0 %rh	0,074 %rh	Normal	-1	0,1 %rh
$\delta\psi_{KECCzn}$	KEC çözünürlük değeri	0 %rh	0,03 %rh	Dikdörtgen	-1	0,0 %rh
$\delta\psi_{KECHst}$	KEC histeresiz değeri	0 %rh	0,14 %rh	Dikdörtgen	-1	0,2 %rh
$\delta\psi_{KECSck}$	KEC bağıl nem değerinin sıcaklık bağımlılığı	0 %rh	0,32 %rh	Dikdörtgen	-1	0,4 %rh
C_x	KEC düzeltme değeri	0,5 %rh				
$u_c(C_x)$	Bileşik Belirsizlik					1,7 %rh
$U(C_x)$	**Genişletilmiş Belirsizlik**					**3,4 %rh**

- **Bileşik Belirsizlik**

Bileşik belirsizlik Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır.

$$u_c(C_x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} c_i^2\ u^2(x_i)} \qquad (7)$$

$$c_i = \frac{\partial C_x}{\partial x_i}$$

$$u_c(C_x) = \sqrt{(0,80)^2 + (0,06)^2 + (0,003)^2 + (0,007)^2 + (1,4)^2 + (0,074)^2 + (0,03)^2 + (0,14)^2 + (0,32)^2}$$

$u_c(C_x) = 1,7\ \%rh$

❑ **Genişletilmiş Belirsizlik**

Genişletilmiş belirsizlik *k* = 2 kapsam faktörü için Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır.

$$U(C_x)=k \times u_c(C_x) \quad (8)$$

$U(C_x) = 2 \times 1,7$ %rh = 3,4 %rh

3.4. Ölçüm Sonuçlarının Raporlanması

Eşitlik 1'de verilen model fonksiyon kullanılarak hesaplanan ölçüm sonucu (C_x), beyan edilen genişletilmiş belirsizliğin çözünürlüğü dikkate alınarak beyan edilmelidir.

Buna göre KEC'in düzeltme değeri, belirsizliğin çözünürlüğünde (0,1 %rh) beyan edilmelidir.

$$C_x = 50,0 \text{ %rh} - 49,5 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh} + 0 \text{ %rh}$$
$$= 0,5 \text{ %rh}$$

KEC'in kalibrasyon sonucu, düzenlenen kalibrasyon sertifikasında tablo içinde örnek verilen Tablo 6 ve Tablo 7'de verilen ifadeler ile raporlanabilir.

Tablo 6. KEC'in bağıl nem kalibrasyon sonuçlarının tablo içinde raporlanması için örnek (KEC bağıl nem ölçümü yapıyor, sıcaklık ölçümü yapmıyorsa)

Referans Hava Sıcaklık Değeri	Referans Bağıl Nem Değeri	Ölçülen Bağıl Nem Değeri	Düzeltme Değeri	Belirsizlik Değeri
°C	%rh	%rh	%rh	%rh
23,00	30,0	28,6	1,4	3,0
23,00	50,0	49,5	0,5	3,4
23,00	70,0	71,1	-1,1	3,6

Tablo 7. KEC'in bağıl nem ve sıcaklık kalibrasyon sonuçlarının tablo içinde raporlanması için örnek (KEC bağıl nem ve sıcaklık ölçümü yapıyorsa)

Referans Hava Sıcaklık Değeri	Ölçülen Hava Sıcaklık Değeri	Düzeltme Değeri	Belirsizlik Değeri	Referans Bağıl Nem Değeri	Ölçülen Bağıl Nem Değeri	Düzeltme Değeri	Belirsizlik Değeri
°C	°C	°C	°C	%rh	%rh	%rh	%rh
23,0	23,1	-0,1	0,5	30,0	28,6	1,4	3,0
23,0	23,1	-0,1	0,5	50,0	49,5	0,5	3,4
23,0	23,2	-0,2	0,5	70,0	71,1	-1,1	3,6

SONUÇ

Bağıl nem ölçer kalibrasyonu sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ve belirsizlik bileşenleri açıklanmış, örnek belirsizlik hesaplaması verilmiştir. Ülke genelindeki tüm ikinci seviye akredite laboratuvarların belirsizlik bütçelerinde KEC'e ait makalede verilen belirsizlik bileşenlerinin yer alması gerekmektedir. Bunun sonucunda ülke genelinde yapılan bağıl nem ölçümlerinin harmonizasyonuna doğru şekilde katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bağıl nem ölçümlerine ait belirsizlik parametrelerine, kullanılan cihazlara veya sistemlere özgü diğer belirsizlik bileşenleri de ayrıca ilave edilmelidir. Bu makalede verilen kalibre edilen cihaza ait belirsizlik parametreleri, her belirsizlik bütçesinde mutlaka yer almalıdır. Bazı laboratuvarlarda bu bileşenlerin bütçeye dahil edilmediği ve kapsam belirsizliklerinin olması gereken değerden daha düşük hesaplandığı görülmektedir. Laboratuvarların hazırladığı belirsizlik bütçesindeki KEC'e ait bileşenlerin eksik olması yanlış hesaplamalara yol açmaktadır. Harmonizasyon çalışmalarının diğer bir yöntemi olan laboratuvarlar arası karşılaştırma (LAK) ölçümlerinde de belirsizlik hesaplamalarında kullanılan KEC'e ait belirsizlik bileşenlerinin tüm laboratuvarlar için aynı bileşenlerden oluşmasına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] WIEDERHOLD, P. R., "Water Vapor Measurement: Methods and Instrumentation", CRC Press, 1997.
[2] LOVELL-SMITH J. W., PEARSON H., "On the Concept of Relative Humidity", Metrologia, Vol. 43, 129-134, 2006.
[3] NPL Good Practice Guide, "A Guide to the Measurement of Humidity", 1996, https://www.npl.co.uk/special-pages/guides/a-guide-to-the-measure-of-humidity-gpg103.
[4] OĞUZ AYTEKİN, S., "Bağıl Nem Ölçümlerinde Kullanılan Cihazlar, Kalibrasyonları ve Belirsizlik Hesaplamaları", TÜBİTAK UME Eğitim Dokümanı, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Seda OĞUZ AYTEKİN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik ABD'da Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak göreve başlamış, 1999 yılında Nem Laboratuvarında çalışmalarına devam etmiştir. Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı kurulumu çalışmalarının yanı sıra "Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı Eğitim" dokümanı, "Akreditasyon için Teknik Şartlar – Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı", "Kalibrasyon Periyotlarının Belirlenmesi", "Theory of Heat Pipe Blackbody", "Tungsten Şerit Lamba Ölçümü ve Karakterizasyonu", "SÜN Siyah Cisim (SÜNBB) Yapımı ve Karakterizasyonu" v.b. konularda iç ve dış yayınlar hazırlamıştır. Kontak Sıcaklık Laboratuvarı'nda da SÜN yapımı, ısılçift üretimi ve kalibrasyonu, "Sabit Nokta Dolum Sistemi Kurulumu" v.b. projelerde çalışmıştır. "Isılçift Referans EMK Tabloları" v.b. yayınlar hazırlamıştır. Nem Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak çalışmalarına devam etmektedir, EURAMET TC-T Nem Alt Grubu ve BIPM CCT-WG-Hu Nem Çalışma Grubu UME temsilcisidir. "Nem Laboratuvarı Eğitim" dokümanı, "Nem Kaynağı Karakterizasyonu ve Kalibrasyonu", "Bağıl Nem Ölçer Karakterizasyonu", "Kağıt ve Toz Malzemelerde Rutubet Ölçümleri, Örnekleme (Sampling) ve Belirsizlik Hesaplamaları" v.b. konularda iç ve dış yayınları bulunmaktadır. 2014 yılında Yeditepe Üniversitesinden Doktor unvanını "Nanosilisyum Nem Algılayıcılarının Üretimi ile Elektriksel ve Spektroskopik Karakterizasyonları" başlıklı tez çalışmasını tamamlayarak almıştır. TÜRKAK akreditasyon denetimlerinde ISO/IEC 17025 standardına göre sıcaklık ve nem alanlarında denetçi olarak görev yapmaktadır. Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanında çeşitli makaleleri ve EURAMET kapsamında katılım sağladığı uluslararası projeleri bulunmaktadır. Ayrıca Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanlarında ulusal ve uluslar arası Danışmanlık ve Eğitim hizmetleri vermektedir.

4 TERMİNAL DİJİTAL KOAKSİYEL EMPEDANS ÖLÇÜM SİSTEMİ

Enis TURHAN
Gülay GÜLMEZ

ÖZET

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde empedans standartlarını otomatik olarak ölçebilen, kurulumu ve çalıştırılması kolay ve maliyeti geleneksel ölçüm köprülerine göre daha düşük olan dört terminal ekranlı dijital bir ölçüm köprüsü tasarlanıp gerçekleştirilmektedir.

Bu ölçüm köprüsünde 1/1 ve 1/10 oran değerlerine sahip hassas oran transformatörü kullanılmaktadır. Değerleri karşılaştırılacak olan empedans standartları bu transformatöre bağlandıktan sonra dengeleme gerilimleri veri toplama kartları aracılığı ile otomatik olarak uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, empedans standartlarını 4 terminal ekranlı bağlantı ile otomatik ölçmek amacıyla veri toplama kartları kullanılarak gerçekleştirilen sayısal ölçüm köprüsü anlatılacaktır. Sistem ele alınan sınırlar altında laboratuvar ortamında kurulmuş ve yazılımı hazırlanmıştır. Sayısal ölçüm köprüsünün hazırlanmasından sonra ölçümler alınmış ve sonuçlar laboratuvarda kurulu olan geleneksel bir empedans köprüsü ile kıyaslanmıştır. Sistemle ilk ölçüm sonuçları elde edilmiş olup kapsamlı performans testlerine başlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: 4TP AC direnç, 4TP kapasitans, koaksiyel AC köprü, dijital empedans köprüsü

ABSTRACT

A four terminal pair impedance measurement bridge is being designed and realized in TUBİTAK UME. This bridge will be automated and userfriendly and low cost in comparison with traditional bridges.

A precise voltage ratio transformer with 1/1 and 1/10 ratios is used as main component in the bridge. In the measurement of two impedance standards, voltages from data acqusition cards are applied to balance the bridge.

In this paper, an automated impedance bridge is explained which uses data acqusition cards to perform automated measurements. The measurement system has been constructed in the laboratory. Measurement results have been compared with results obtained by a traditional bridge constructed in the laboratory. Preliminary results have been obtained and an extensive performance characterization for the bridge will be commenced.

Key Words: 4TP AC resistance, 4TP capacitance, coaxial AC bridge, digital assisted impedance bridge

1. GİRİŞ

Düşük frekans (DC – 100 kHz) empedans ölçümleri DC direnç, AC direnç, kapasitans ve indüktans ölçümlerini kapsar. Bu empedans birimlerinin evrensel sabitlerle olan bağlantısı (TÜBİTAK UME'de de bulunan) Quantum Hall direnç standardı (QHR) aracılığı ile sağlanmaktadır.

Quantum Hall DC direnç standardı değerini aşağıdaki formülden alır:

$$R_K = \frac{h}{e^2} \tag{1}$$

Bu formülde h, Plank sabiti, e, birim elektriksel yük sabitidir [1].

Bu şekilde elde edilen DC direnç değeri TÜBİTAK UME Empedans Laboratuvarı'nda bulunan diğer referans DC direnç standartlarına CCC (Cryogenic Current Comparator: Çok Düşük Sıcaklık Akım Karşılaştırıcı) DC Direnç karşılaştırma sistemi ile aktarılır. Bu aktarma 1/1 ve 1/10 oranlarında karşılaştırma ölçümleri ile gerçekleştirilir ve 1 Ω değerinden 10 kΩ değerine kadar olan DC direnç standartlarının izlenebilirliğini sağlar.

AC direnç biriminin DC direnç biriminden elde etmede kullanılan iki temel araç vardır. Bunlardan birincisi hesaplanabilir AC direnç standartlarıdır, bu standartların DC değerleri ölçüldükten sonra boyutları yardımıyla hesaplanan AC-DC farkları eklenerek istenen frekansta değerleri belirlenebilir. Bir başka deyişle QHR yardımıyla DC değerleri belirlenen hesaplanabilir AC dirençler aynı zamanda AC değerleri de hesaplanmış transfer standartları olarak kullanılırlar.

AC direnç birimi QHR direncinden elde edildikten sonra bu değerin 1 Ω - 100 kΩ arasındaki AC direnç değerlerine ve 1 pF – 1 mF aralığındaki kapasitans değerlerine aktarılması "Empedans Karşılaştırma Köprüleri" kullanılarak gerçekleştirilir.

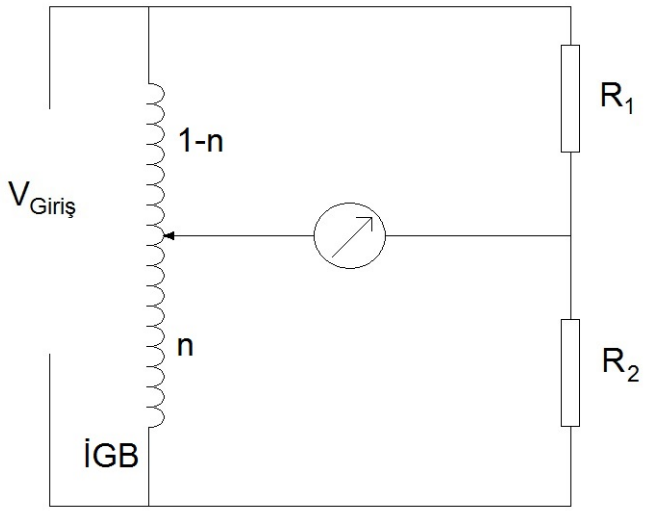
Bu köprüler yardımıyla örneğin 10 kΩ değerinde değeri belirlenen bir AC direnç değeri 1 kΩ ,10 kΩ, 100 kΩ AC direnç standartlarına 1/1 ve 1/10 karşılaştırma yöntemi ile aktarılır. Aynı şekilde 10 kΩ değerinde değeri belirlenen bir AC direnç değeri 1592 Hz ölçüm frekansında 10 nF değerine aktarılabilir. Ardından 10 nF değeri 1/1 ve 1/10 karşılaştırma köprüleri ile 1 pF – 1 mF aralığındaki kapasitans değerlerine aktarılır. Kapasitans ve AC direnç değerlerinden faydalanarak indüktans biriminin elde edilmesini sağlayan Maxwell-Wien köprüsü de bir empedans karşılaştırma köprüsüdür.

Sonuç olarak, empedans karşılaştırma köprüleri AC direnç, kapasitans ve indüktans birimlerinin elde edilmesi ve birbirileri arasında transfer edilebilmesi için kritik öneme sahip ölçüm araçlarıdır.

2. EMPEDANS ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

DC direnç karşılaştırma sistemlerinden farklı olarak empedans karşılaştırma sistemleri AC ölçüm sistemleri olduğu için indüktif gerilim bölücüler (İGB) kullanılarak yapılırlar. İndüktif gerilim bölücüler genellikle 50 Hz – 100 kHz aralığında çalışabilen çok kararlı gerilim bölücülerdir. Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranını verdiklerinden ölçüm değerleri birimsizdir ve izlenebilirlikleri gerilim bölücülerinin kendisi üzerinden elde edilir. Bunun için UME'de kurulmuş olan birinci seviye indüktif gerilim bölücü kalibrasyon sistemi kullanılır. Böylece gerilim bölücülerinin oran değerleri birinci seviyede TÜBİTAK UME'de elde edilmiş olur.

Bu oran değerleri empedansların birbirine oranlarını belirlemek için kullanılır. Bunun için kurulabilecek en basit ölçüm sistemi 2 terminalli ekranlı (koaksiyel) ölçüm sistemidir [2]. Şekil 1'de 2 terminalli ekranlı ölçüm sistemi basitleştirilmiş olarak ekranları ihmal ederek gösterilmemiştir.

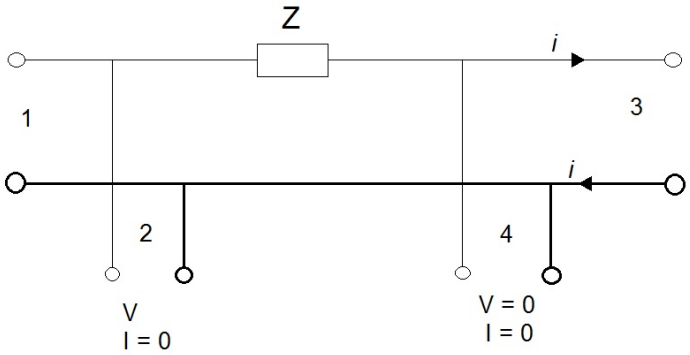


Şekil 1. 2-terminalli empedans ölçüm sistemi

Bu ölçüm sisteminde indüktif gerilim bölücü değeri denge elde edilinceye kadar değiştirilir. Denge durumunda dedektörden sıfır değeri okunur ve denge durumu için eşitlik (2) elde edilir. Basitçe, gerilim bölücü oran değeri karşılaştırılan dirençlerin oran değerlerine eşittir.

$$\frac{1-n}{n} = \frac{R_1}{R_2} \tag{2}$$

Ancak Ekranlı 2 terminalli ölçüm yöntemi düşük empedans değerlerinde yüksek doğruluk elde etmek için uygun değildir. Bu yöntem kablo direncinden ve kablo indüktansından gelen etkileri gideremediği için özellikle 10 kΩ değerinden düşük empedans değerlerinde yüksek doğrulukta ölçüm almak gerektiğinde bu yöntem uygun değildir. Bağlantı kablolarından gelen hatalar ölçülerek doğruluk arttırılabilse de özellikle 1 kΩ değerinden düşük empedans değerlerinde 10^{-6} Ω/Ω mertebesinden daha iyi bir doğruluk elde etmek oldukça zordur. Bu durumda düşük empedans değerlerinde daha yüksek doğruluk elde etmek için 4 terminalli ekranlı ölçüm sistemlerinin kullanılması gereklidir. Bu ölçüm sistemleri İGB'ler kullanılarak kurulabilen ölçüm sistemleridir ve oldukça karmaşıktır. Bunu anlamak için öncelikle 4 terminal ekranlı (terminal pair) empedans tanımını anlamak önemlidir [3]. 4 terminal ekranlı empedans tanımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. 4-terminal ekranlı empedans tanımı (koaksiyel ekran kalın çizgi ile gösterilmiştir)

Şekil 2'de tanımı verilen 4 terminal empedansın değerinin doğru olarak belirlenebilmesi için bir takım koşulların sağlanması gereklidir.

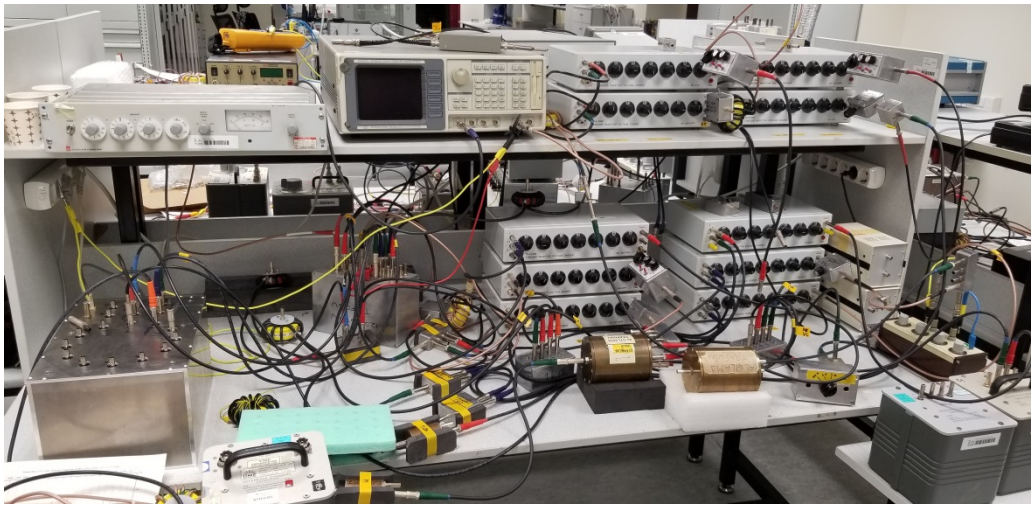
- Empedansa uygulanan akım kayıp yaşamadan ekran üzerinden geri dönmelidir.
- 2 ve 4 numaralı gerilim uçlarından akım akmamalıdır
- 4 numaralı uçta ekran ile canlı uç arasında gerilim farkı olmamalıdır.

Tüm bu şartlar sağlandığında empedans değeri uygulanan gerilim değerinin akım değerine oranına eşit olur.

$$Z = \frac{V}{i} \tag{3}$$

Geleneksel Empedans Karşılaştırma Köprüleri:

Tüm bu şartların sağlanması için kurulan ölçüm sistemi Şekil 1'de görülen sistemden çok daha karmaşık bir hal alır. Şekil 3'te UME'de kurulmuş 4 terminal ekranlı empedans sistemi görülmektedir. Tanım koşullarını sağlamak için 10 adet İGB kullanılmaktadır.



Şekil 3. UME'de bulunan4-terminal ekranlı empedans karşılaştırma sistemi (köprüsü)

Şekil 3'te görülen karşılaştırma köprüsü 1/1 ve 10/1 oranlarında karşılaştırma yapabilen bir karşılaştırma köprüsüdür. 1 kHz frekansında 1 kΩ / 1 kΩ oran karşılaştırma belirsizliği 0,1 μΩ/Ω'dan daha iyidir.

Bu tür köprüler İGB'ler kullanılarak kurulan geleneksel empedans karşılaştırma köprüleridir. Bu köprülerde 8 ile 14 adet arasında İGB kullanımı söz konusu olabilmektedir. Bu da bu sistemleri oldukça karmaşık ve pahalı sistemler haline getirmektedir. Bu köprülerde dengeleme iteratif olarak yapılmakta, her bir İGB denge durumuna ayarlanmakta ve bir tur tamamlanınca yeni iterasyon döngüsüne başlanmaktadır. Çok tecrübeli kalibrasyon personeli gerektiren bu dengeleme işlemi için tek frekansta gerekli zaman 10-15 dakika kadar olabilmektedir. 1 Ω ile 100 kΩ arasındaki tüm AC dirençlerin 1/1 ve 1/10 oranlarında 50 Hz, 100 Hz, 400 Hz, 1 kHz ve 10 kHz frekans aralığında karşılaştırılması için 66 farklı ölçüm yapmak gereklidir. Her bir ölçümün tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik değerlerini elde etmek için en az 10 ölçüm almak gerekli olduğu düşünüldüğünde sadece AC direnç ölçümleri için aralıksız en az 110 saat ölçüm almak gereklidir.

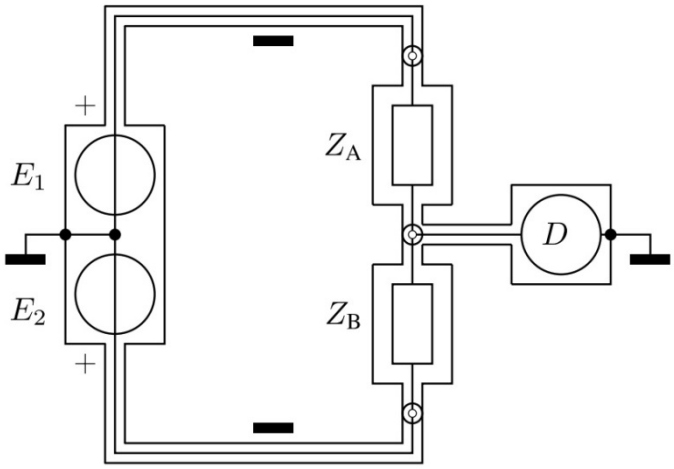
Tüm bu zorluklar geleneksel karşılaştırma köprülerinin yalnızca önde gelen metroloji enstitülerinde kurulabilmesine neden olmuştur. Ancak son yıllarda veri toplama kartları üretim teknolojilerindeki gelişmeler, daha kararlı ve gürültüsü daha az analog/sayısal örnekleme devrelerinin üretilmesi bu teknolojinin empedans karşılaştırma köprülerinde de kullanılabileceği fikrini doğurmuştur. Bu veri toplama kartlarının (data acqusition card) kullanımı aynı zamanda bu ölçüm sistemlerinin bilgisayar kontrollü ve otomatik ölçüm yapabilmesinin de önünü açmıştır.

Dijital Empedans Karşılaştırma Köprüleri:

Dijital empedans karşılaştırma köprüleri genel olarak iki grupta sınıflandırılırlar:

- Tam dijital köprüler (Full digital bridges)
- Dijital yardımlı köprüler (Digital assisted bridges)

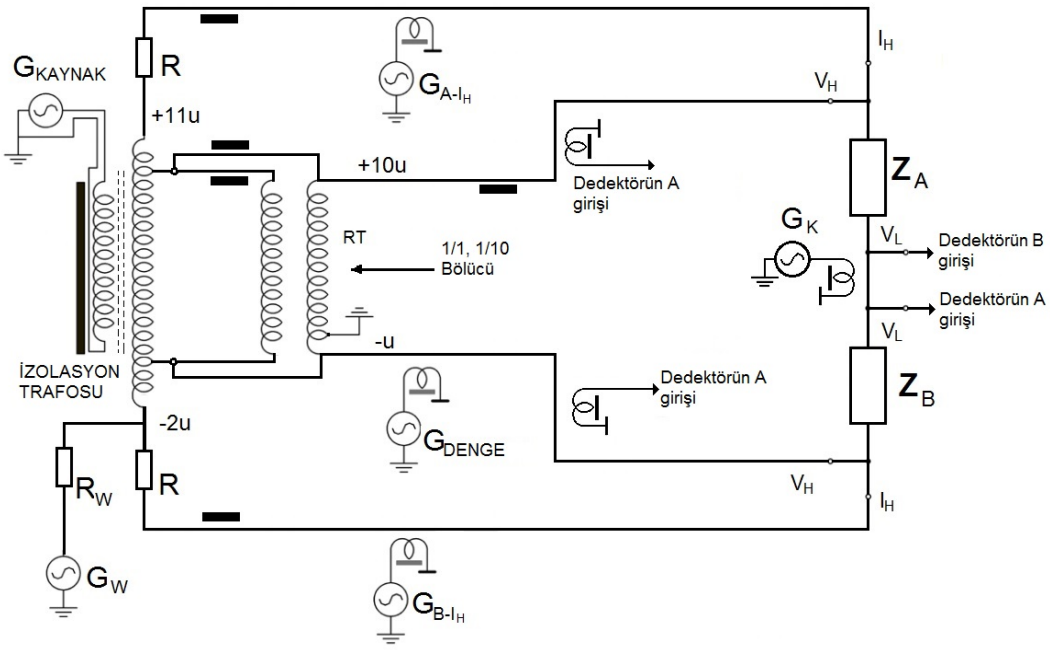
Tam dijital köprülerde hassas oran bölücü trafolar kullanmadan 1/1 ve 1/10 oranları oldukça kararlı gerilim kaynakları kullanılır, basitleştirilmiş bir 2 terminal ekranlı köprü çizimi Şekil 4'te görülmektedir [4]. Otomatik dengelemede bu gerilim kaynaklarından birinin genliği ve fazı değiştirilir. Gerilim kaynakları da bilgisayar kontrollü olduğu için tam otomatik ölçümler alınır. Ancak bu köprülerde gerilim kaynaklarının oran değerinin İGB'ler kullanılarak kalibre edilmesi çok önemlidir. 1/1 oran ölçümlerinde ölçülen empedanslar yer değiştirilerek ikinci bir ölçüm alınır ve ölçüm köprüsünün doğrusallık hatası giderilir, böylece 0,1 ppm (μV/V) değerine kadar düşük ölçüm belirsizlikleri elde edilebilir. Ancak 1/10 ölçümlerinde gerilim kaynaklarının genliklerinin 1/10 oranının ayrıca karakterize edilmesi gereklidir. Bunun için de İGB'ler kullanılır, zira 8,5 dijit bir multimetrenin AC gerilim ölçme doğruluk değerleri (hedeflenen belirsizlik değerinin 10 ppm ve aşağısında olduğu düşünülürse) yeterli değildir. Ayrıca 1/1 oran ölçümlerinden farklı olarak ölçülen empedansların uçlarının yer değiştirilmesi ile doğruluk hataları giderilemediğinden gerilim kaynaklarının doğruluk hatalarından ve ölçme köprüsünün bağlantı hatalarından kaynaklanan belirsizlik değeri ölçüm frekansı ve ölçülen büyüklüğe bağlı olmak kaydıyla 1-10 ppm arasında değişir.



Şekil 4. 2-Terminal Ekranlı Tam Dijital Köprü

Hassas oran trafoları ya da İGB'lerin 1/10 oran değerlerinin kalibrasyon belirsizlikleri 0,02 ppm değerine kadar düşebilir. Bu da özelikle 1/10 oran değerlerinde dijital köprülerde hassas oran trafoları yardımıyla ölçüm almak fikrini doğurur. Bu nedenle gerilim oranlarının 2 adet gerilim kaynağı ile sağlanması yerine bir adet gerilim bölücü ile sağlandığı "dijital yardımlı koaksiyel köprüler"e (digital assisted coaxial bridge) geçiş yapılır.

Bu köprülerde hem oran trafolarının düşük belirsizlikli ve kararlı oran değerleri hem de dengeleme mekanizmasında dijital veri kartlarının kullanım kolaylığı kullanılır. Bu şekilde kurulan köprüler de otomatik ölçüm alabilen, aynı zamanda geleneksel köprülere yakın belirsizlikle performans gösteren köprülerdir. Bu şekilde UME'de kurulan dijital yardımlı 4 terminal ekranlı köprü Şekil'5'te gösterilmiştir. Koaksiyel ekran bağlantıları şekli daha da karmaşıklaştırmamak amacıyla gösterilmemiştir.



Şekil 5. UME'de bulunan dijital ekranlı empedans karşılaştırma sistemi

3. KÖPRÜNÜN DENGELENMESİ

Köprünün dengelenmesi için kullanılan dedektör SRS 850 model bir frekans kilitlemeli kuvvetlendiricidir (Lock-in Amplifier: LIA). LIA , ana gerilim kaynağının frekansına kilitlenip yalnızca ana frekans bileşeninin çok hassas bir şekilde ölçülmesine olanak veren bir dedektördür.

Dengeleme çalışmasında ayarlı gerilim kaynakları olarak National Instruments (NI) 4461 kartları kullanılmıştır, bu kaynaklar Şekil 5'te G_W, $G_{A\text{-}IH}$, $G_{B\text{-}IH}$, G_K, G_{Denge} olarak gösterilmiştir. G_W RT'nin (hassas oran bölücü) sıfır çıkış ucu ile ekranı arasındaki gerilim farkını sıfırlamak için kullanılır. Denge durumunda RT'nin sıfır çıkış ucu toprağa bağlı iken ve değilken dedektör değerinin değişmemesi beklenir. Buna Wagner dengesi denir. Bundan sonra Z_A'nın V_H koluna bağlı dedektörden sıfır değeri görülene kadar $G_{A\text{-}IH}$ kaynağı ayarlanır, böylece Şekil 2'de görülen 4TP empedans tanımında gerilim kolundan akım akmama koşulu sağlanmış olur. Aynı şekilde $G_{B\text{-}IH}$ kaynağı da Z_B'nin V_H kolundaki dedektörde sıfır değeri görülene kadar ayarlanır. Her iki empedansın da gerilim kollarından akım akmaması ve böylece bu kollara bağlı ölçüm kablolarından bir ölçme hatası gelmemesi sağlanır.

Hata kaynaklarından bir diğeri de iki empedansın birbirine bağlandığı yerde kullanılan kablolardan gelebilecek hatalardır. Bunun için de Z_A ve Z_B'nin V_L uçları LIA'nın A ve B girişlerine bağlanır. Dedektör A-B ölçme moduna alınır. G_K kaynağı aracılığı ile empedansların VL uçlarının arasına, burada olan gerilimi kompanze edecek bir gerilim değeri aktarılır. LIA'da A-B değeri sıfır olana kadar G_K değeri ayarlanır. Buna da Kelvin dengesi denir ve empedansların birbiri arasındaki kablo bağlantılarından gelen hatanın giderilmesi için kullanılır. Son olarak LIA tekrar "A" ölçme moduna alınır ve dedektörden sıfır değeri görülene kadar G_{Denge} kaynağı ayarlanır.

Tüm bu dengeleme işlemleri tek bir döngü olarak düşünülür. Her bir denge işlemi bir önceki dengeyi az da olsa etkiler. Bu nedenle dengeleme iteratif olarak yapılır. Bu döngüdeki işlemler sırası ile 2 ya da 3 defa tekrarlanır ve genelde 3 iterasyonla son denge değeri elde edilir. Elde edilen denge denklemleri (4-5) aşağıdaki gibidir [5].

$$\frac{Z_B}{Z_A} = \sqrt{\frac{1}{(1-\delta)\cdot(n+\delta_{RT})}} \tag{4}$$

Bu eşitlikte;

δ : G_{Denge} kaynağı aracılığı ile Z_B empedansına seri olarak eklenen bağıl gerilim değeri
δ_{RT} : Hassas oran trafosunun "n" oran değerindeki oran hatasıdır.

1/1 oran değerinde Z_A/Z_B empedanslarının kabloları yer değiştirilerek bir ölçüm daha alınır ve δ' değeri elde edilir. Bu durumda yeni denge eşitliği aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{Z_B}{Z_A} = \sqrt{\frac{(1-\delta')}{(1-\delta)}} \tag{5}$$

4. ÖLÇÜM DEĞERLERİ

TÜBİTAK UME'de kurulan bu 4 terminal ekranlı empedans karşılaştırma sistemi ile kapsamlı direnç ve kapasitör ölçümleri gerçekleştirilecektir. Şu ana kadar yalnızca ilk değerlendirme ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu ilk ölçümlerde oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bu ölçümlerde 10 kΩ ve 1 kΩ değerinde AC direnç standartları 1 kHz ölçüm frekansında ilk önce geleneksel köprü ile ölçülmüş, sonra da dijital otomatik ölçüm köprüsü ile ölçülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. 10 kΩ / 1 kΩ AC Dirençlerin Oran Değerleri @1 kHz

	Ölçülen Oran Değeri (Ω/Ω)	**Standart Sapma (Ω/Ω)**	**Standart Sapma (Bağıl)**
Geleneksel Köprü	10,0009098	0,0000003	$0{,}03\cdot10^{-6}$
Dijital Otomatik Köprü	10,0009091	0,0000007	$0{,}07\cdot10^{-6}$
Fark	0,0000007		
Fark (Bağıl)	$0{,}07\cdot10^{-6}$		

Otomatik köprüde dengeleme gerilim kaynakları için başlangıç koşulları oluşturulmadığında (yani dengeleme için kullanılan gerilim kaynaklarının başlangıç değerleri sıfır olarak alındığında) dijital otomatik sistem 7-8 dakika içinde dengeye gelmektedir. İlk ölçümde elde edilen denge değerleri kullanıldığında ise dengeleme zamanı 3 dakikanın altına düşmektedir. Ölçülen standartların kararlı oldukları göz önüne alındığında her bir oran değerindeki yaklaşık denge değerleri bir kere elde edildiğinde, o denge değerleri o ölçüm için her zaman kullanılabilmektedir.

SONUÇ

TÜBİTAK UME Empedans Laboratuvarı'nda 1/1 ve 1/10 oran değerlerinde kapasitans ve AC direnç karşılaştırmasını otomatik olarak gerçekleştirebilecek otomatik dijital 4 terminal ekranlı bir empedans karşılaştırma sistemi kurulmuştur. Bu sistemle ilk performans ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Geleneksel analog köprü ve dijital köprü ile 1 kHz frekansında gerçekleştirilen 10 kΩ / 1 kΩ AC direnç ölçüm sonuçları arasında $0{,}07\cdot10^{-6}$ (ppm) kadar fark olduğu görülmüştür.

Bundan sonra köprüsünün tasarlandığı tüm aralık içinde hem AC direnç hem de kapasitans değerlerinde 10 kHz'e kadar frekanslarda geniş kapsamlı bir karakterizasyon işlemi yapılacaktır. Elde edilecek sonuçlara göre hem köprü ölçüm doğruluğunun geliştirilmesi hem de otomatik ölçüm alma zamanının daha da azaltılması için düzeltici ve geliştirici faaliyetler gerçekleştirilecektir.

NOT

Bu çalışma kısmen, Avrupa Metroloji Yenilikçi ve Araştırma Programı (The European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)) programına katılan ülkeler tarafından finanse edilmiş olup 17RPT04 VersICaL (A versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges) kodlu proje içerisinde gerçekleştirilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Nick Fletcher, Gert Rietveld, James Olthoff, Ilya Budovsky, and Martin Milton, "Electrical Units in the New SI: Saying Goodbye to the 1990 Values", NCSLI Measure, Vol. 9, Iss. 3, 2014
[2] 2 Terminal Ekranlı Sayısal Empedans Karşılaştırma Köprüsü ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı 30 Kasım-1 Aralık 2018 Sayfa : 369-370
[3] Cutkosky, R. D., "Four·terminal·pair networks as precIsion admittance and impedance standards", Commun. and Electronics 70, 19- 22, Jan. 1964
[4] Luca Callegaro et al., "Experiences With a Two-Terminal-Pair Digital Impedance Bridge", IEEE Trans. on Instrum. and Meas., vol. 64, no. 6, June 2015
[5] Frédéric Overney et al., "Broadband Fully Automated Digitally Assisted Coaxial Bridge For High Accuracy Impedance Ratio Measurements", 2016 Metrologia 53 918

ÖZGEÇMİŞ

Enis TURHAN

1975 yılında Balıkesir'de doğdu. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1996 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde araştırmacı olarak çalışmaktadır. Empedans metrolojisi, primer seviyede indüktans, kapasitans AC direnç, DC Direnç, indüktif gerilim bölücü ölçüm sistemlerinin gerçekleştirilmesi alanlarında çalışmaktadır. 2008 yılından beri Türk Akreditasyon Kurumu'nda Elektrik alanında teknik denetçi olarak görev almaktadır.

Gülay GÜLMEZ

1969 yılında Karaman'da doğdu. 1992 yılnda Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1992 yılından beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde araştırmacı olarak çalışmaktadır. Empedans metrolojisi, primer seviyede indüktans, kapasitans AC direnç , DC Direnç , indüktif gerilim bölücü ölçüm sistemlerinin gerçekleştirilmesi alanlarında çalışmaktadır. 20 nin üzerinde makalesi mevcuttur. TCEM Teknik komitesinde empedans alanında teknik denetçi olarak görev almaktadır aynı zamanda Türk Akreditasyon Kurumu'nda Elektrik alanında teknik denetçi ve baş denetçi olarak görev almaktadır.

TSE TORK LABORATUVARI TARAFINDAN 0,2 N·m İLE 1000 N·m ÖLÇÜM ARALIĞINDA STATİK TORK ÖLÇÜMLERİNİN GERÇEKLENMESİ

Çetin DOĞAN
Osman AKKOYUNLU
Uğur YÜCESAN
Barış TUĞCU

ÖZET

Bu çalışmada, TÜBİTAK UME tarafından yürütülen 107G135 numaralı TÜBİTAK KAMAG proje ile Türk Standartları Enstitüsü bünyesine kazandırılan 0,2 N·m ile 1000 N·m ölçüm aralığındaki tork kalibrasyon makinalarına ve bunların ulusal tork metrolojisine olan yansımalarına yer verilmiştir.

Bu amaçla belirtilen aralıkta ulusal tork metroloji ağının güçlendirilmesi ve yaygınlaştırılması, sanayimizin rekabet gücünün artırılmasına yönelik çalışmalar ve verilen hizmetler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tork kalibrasyonu, Tork kalibrasyon makineleri, tork ölçme cihazlarının kalibrasyon.

ABSTRACT

In this study, TUBITAK KAMAG project number 107G135 carried out by TUBITAK UME has included torque calibration machines in the measurement range of 0.2 N · m to 1000 N · m and their reflections on national torque metrology.

For this purpose, strengthening and expansion of the national torque metrology network, efforts to increase the competitiveness of our industry and services provided within the specified range were discussed.

Key Words: Torque calibration, Torque calibration machines, Calibration of torque measuring devices.

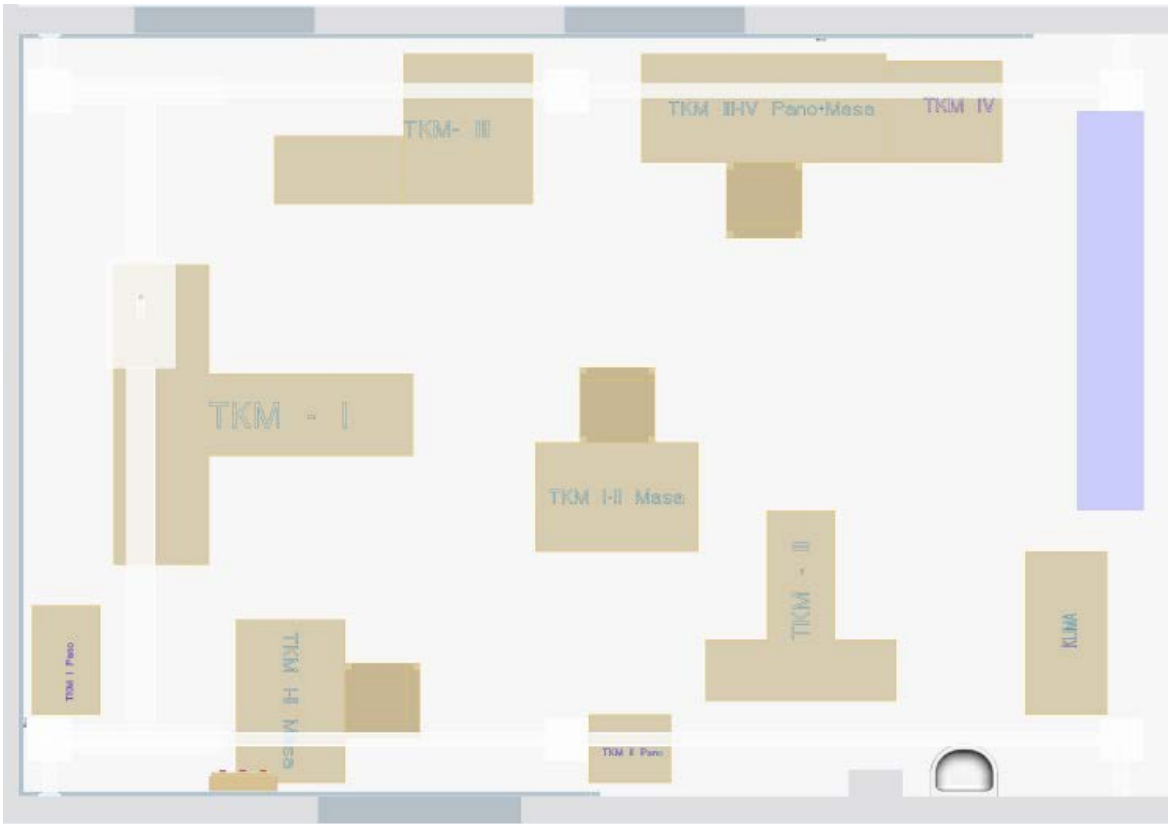
1. GİRİŞ

Sanayide tork ölçümleri, yaygın olarak üretim ve proses kontrol alanlarında kullanılır. Ayrıca, ürünlere yönelik araştırma ve yeni teknolojiler geliştirme aşamasında firmaların AR-GE birimleri tarafından tork ölçümlerine sıklıkla başvurulmaktadır. Tork ölçüm ve uygulamaları, özellikle otomotiv gibi çok parçalı ürünlerin imal edildiği, cıvata ve somunlarla yapılan montajlamanın yoğun olduğu alanlarda, yaygın ve etkin bir kullanıma sahiptir. Otomotiv sanayindeki hemen hemen tüm prosesler yaklaşık olarak % 35 oranında cıvatalama işlemlerini içerir. Bu işlemler için sıklıkla tork el aletleri kullanılır. TSE tork laboratuvarı 0,2 N·m ile 1000 N·m ölçüm aralığında ulusal tork metroloji ağının güçlendirilmesi ve yaygınlaştırılması, sanayimizin rekabet gücünün artırılması, tork alanında hassas kalibrasyon ihtiyacının karşılanması amacıyla TÜBİTAK KAMAG projesi ile 2011 yılında endüstrinin hizmetine sunulmuştur. Aynı yıl gerçekleştirilen akreditasyon denetimiyle birlikte TÜRKAK tarafından tork el aleti, tork dönüştürücü, referans tork anahtarı ve tork el aleti kalibrasyon düzeneği konularında akredite edilmiştir.

2. YERLEŞİM PLANI VE ÇEVRE ŞARTLARI

TSE tork kalibrasyon laboratuvarı çevre şartları hassas klimayla sürekli kontrol altında tutulmaktadır. Güncel tork standartlarına uygun olarak sıcaklık değeri 21 °C ± 1 °C aralığında 0,1 °C hassasiyetle ve nem değeri 45 %rh ± 10 %rh aralığında 1 %rh hassasiyetle ölçülmektedir. İzlenebilirliği sağlanmış sıcaklık ve nem ölçer cihazı kullanılarak, 15 dakikada bir sıcaklık ve nem değerleri kaydedilmektedir. Laboratuvara gelen cihazlar, en az 24 saat laboratuvar şartlarında kondüsyonlanır.

Laboratuvar yerleşim planı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Laboratuvar Yerleşim Planı

3. KULLANILAN REFERANS CİHAZLAR

Proje kapsamında TSE Tork Kalibrasyon Laboratuvarına kazandırılan cihazlar ve bu cihazlarla verilen hizmetler aşağıda belirtilmiştir.

50 N·m ve 1000 N·m'lik Ölü Ağırlıklı Tork Kalibrasyon Makinaları:

Makinanın çalışma alanı, tork ölçme cihazlarının statik kalibrasyonunu kapsamaktadır. Makine, tork ölçme cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan ulusal ve uluslararası tork standartlarına göre kalibrasyon hizmeti sunabilmektedir. Özellikle birincil seviye tork ölçümleri için uygundur.

Tork birimini, doğrudan kütle ve uzunluk birimine izlenebilir olarak gerçeklemektedir. Torkun tanımından yola çıkarak, havalı bir yatak üzerine oluşturulmuş bir manivela ile ona asılmış yer çekimi ve havanın kaldırma kuvveti etkisi altındaki kütlelerden yararlanmaktadır. Kuvveti oluşturmak için kullanılan kütleler, birbirlerine sıralı olarak asılmaktadır. Kütleler, hem sağ yönlü hem de sol yönlü torkları oluşturabilmek için manivelanın her iki yanına da konuşlandırılmıştır.

50 N·m ve 1000 N·m'lik Referans Tork Dönüştürücülü Tork Kalibrasyon Makinaları:

Cihazlar esas olarak referans tork anahtarlarının statik kalibrasyonu için tasarlanmış olup, bunun yanında tork ölçme cihazlarının ve tork el aletlerinin kalibrasyonlarının da yapılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle ikincil seviye ve/veya endüstriyel uygulamalar için uygundur ve tork cihazlarının kalibrasyonlarında kullanılan ulusal ve uluslararası tork standartlarına göre kalibrasyon hizmeti sunabilmektedir.

Tork birimini, referans tork dönüştürücüsü üzerinden sağlamaktadır. Torku oluşturmak için yüksek redüksiyonlu bir elektro servo motoru kullanılmaktadır. Tork anahtarlarının kalibrasyonu için sabit bir tork kolu üzerinde kayan hareketli bir destek noktasından yararlanılmıştır. Kalibrasyon esnasında sürtünmelerin azaltılması için havalı yatak kullanılmaktadır.

Laboratuvarda kullanılan referans cihaz ve makinalar aşağıda belirtilmiştir.

- 1000 N·m'lik Ölü Ağırlıklı Tork Kalibrasyon Makinası, TKM I (Nominal kapasiteleri 50 N·m' den büyük ve 1000 N·m 'ye kadar olan tork dönüştürücüleri için statik tork kalibrasyon hizmetinin verilmesi)
- 50 N·m 'lik Ölü Ağırlıklı Tork Kalibrasyon Makinası, TKM II (Nominal kapasiteleri 5 N·m' den büyük ve 50 N·m 'ye kadar olan tork dönüştürücüleri için statik tork kalibrasyon hizmetinin verilmesi)
- 1000 N·m 'lik Referans Tork Dönüştürücülü Tork Kalibrasyon Makinası, TKM III (Nominal kapasiteleri 50 N·m' den büyük ve 1000 N·m 'ye kadar olan referans tork anahtarları ile tork el aletlerinin kalibrasyon hizmetinin verilmesi)
- 50 N·m'lik Referans Tork Dönüştürücülü Tork Kalibrasyon Makinası, TKM IV (Nominal kapasiteleri 5 N·m' den büyük ve 50 N·m 'ye kadar olan referans tork anahtarları ile tork el aletlerinin kalibrasyon hizmetinin verilmesi)
- Tork El Aleti Kalibrasyon Düzeneklerinin Yerinde Kalibrasyon Sistemi, TKM V (Nominal kapasiteleri 5 N·m, 10 N·m, 20 N·m, 50 N·m, 100 N·m, 200 N·m, 500 N·m ve 1000 N·m olan referans tork anahtarları ile bu hizmetin verilmesi)

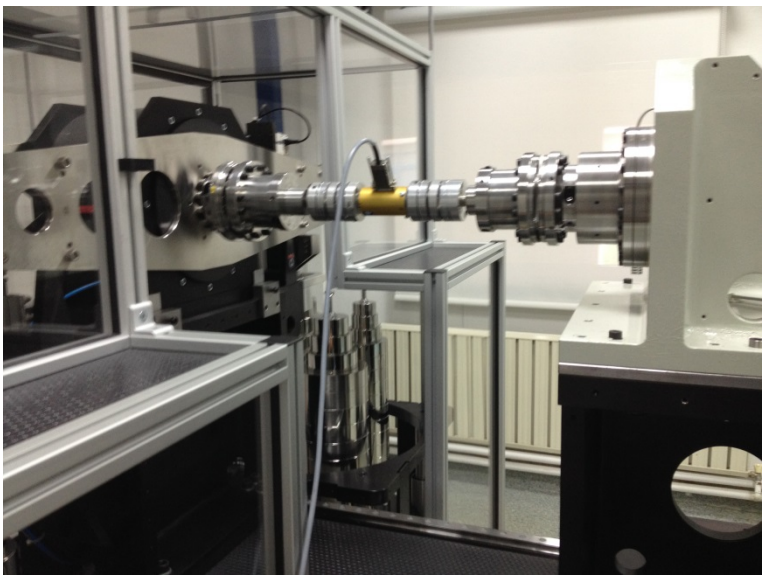
Bazı kuruluşların portatif olarak kullandığı tork cihazlarının kalibrasyonu için bünyelerinde uygun ölçüm masası bulunmaması ve gelen yoğun talepler sonrası, 2015 yılında TÜBİTAK UME tarafından projelendirilerek imal edilen tork kalibrasyon standı TSE Tork kalibrasyon laboratuvarına teslim edilmiştir. Tork kalibrasyon masası, kuruluşların farklı yapıdaki birçok cihazının monte edilmesine olanak sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. (Resim- 5)

- Tork El Aleti Kalibrasyon Düzeneklerinin Kalibrasyonu İçin Tork Kalibrasyon Standı, TKM VI (Nominal kapasiteleri 5 N·m, 10 N·m, 20 N·m, 50 N·m, 100 N·m, 200 N·m, 500 N·m ve 1000 N·m olan referans tork anahtarları ile bu hizmetin verilmesi)

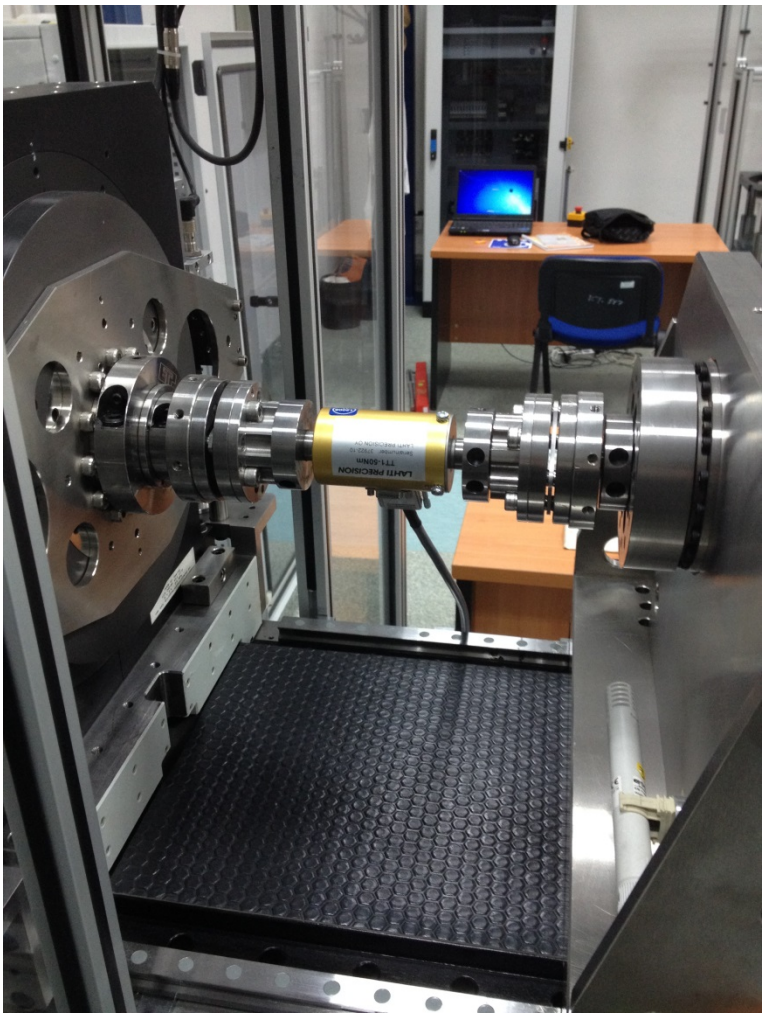
Tork laboratuvarı,

- Tork El Aletleri cihazlarının kalibrasyonu konusunda 0,2 N·m ≤ M ≤ 1000 N·m ölçüm aralığında ISO 3310-1 ve ISO 3310-2 standartlarına göre % 0,2 ölçüm yeteneği ile TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir.
- Tork El Aletleri Kalibrasyon Düzeneği cihazlarının kalibrasyonu konusunda 0,2 N·m ≤ M ≤ 1000 N·m ölçüm aralığında DKD-R-3-8 standardına göre % 0,2 ölçüm yeteneği ile TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir.
- Referans Tork Anahtarı cihazlarının kalibrasyonu konusunda 0,2 N·m ≤ M ≤ 1000 N·m ölçüm aralığında ISO DKD-R-3-7 standardına göre % 0,02 ölçüm yeteneği ile TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir.
- Tork Dönüştürücü cihazlarının kalibrasyonu konusunda 0,2 N·m ≤ M ≤ 1000 N·m ölçüm aralığında DIN51309 standartlarına göre % 0,01 ölçüm yeteneği ile TÜRKAK tarafından akredite edilmiştir.

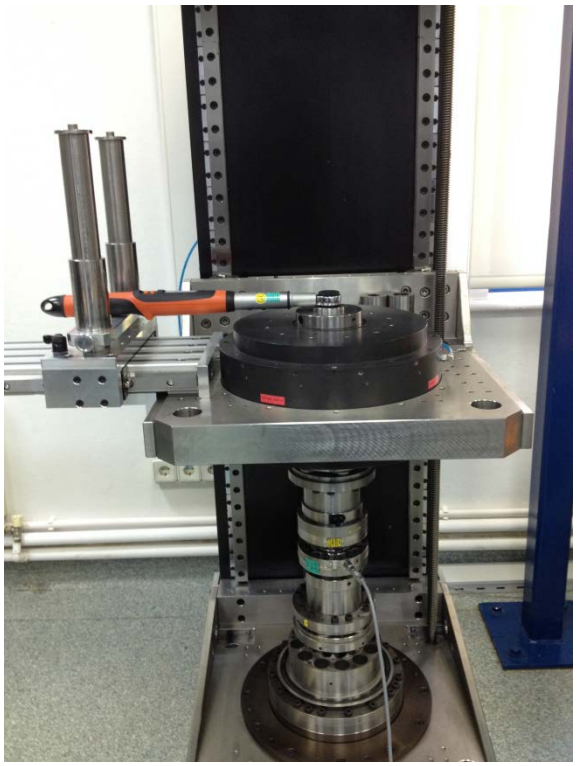
TSE Tork Kalibrasyon Laboratuvarına ait görseller aşağıda belirtilmiştir.



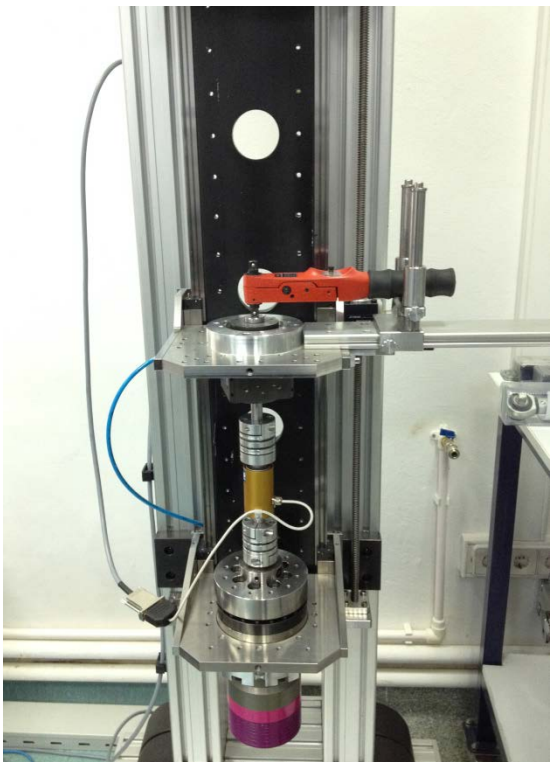
Resim 1. 1000 N·m'lik Ölü Ağırlıklı Tork Kalibrasyon Makinası



Resim 2. 50 N·m'lik Ölü Ağırlıklı Tork Kalibrasyon Makinası



Resim 3. 1000 N·m ’lik Referans Tork Dönüştürücülü Tork Kalibrasyon Makinası

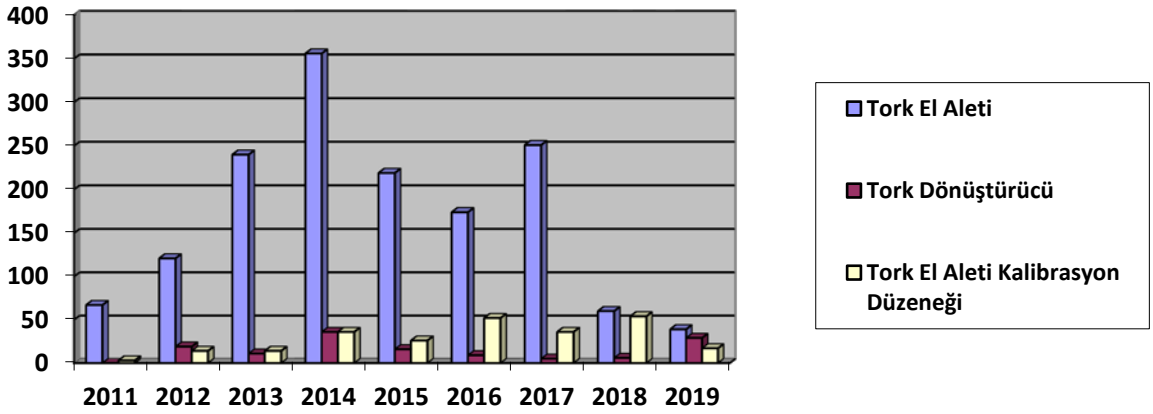


Resim 4. 50 N·m ’lik Referans Tork Dönüştürücülü Tork Kalibrasyon Makinası

Resim 5. Tork El Aleti Kalibrasyon Düzeneklerinin Kalibrasyonu İçin Tork Kalibrasyon Standı

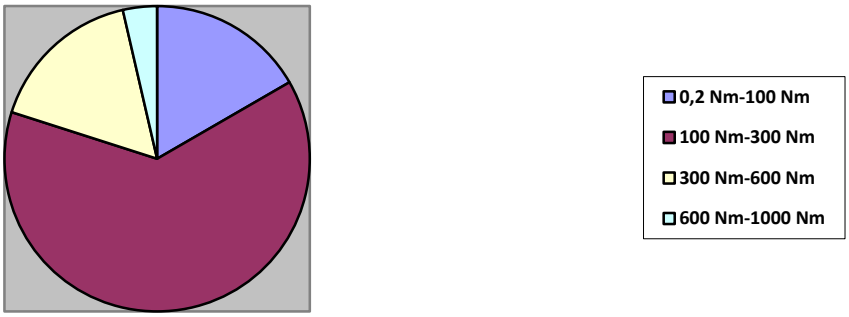
5. KALİBRE EDİLEN CİHAZLARA AİT İSTATİSTİKİ BİLGİLER

Tork kalibrasyonları konusunda 9 yıldır sanayiye hizmet veren TSE tork kalibrasyon laboratuvarlarına müşteriler tarafından kalibrasyon için gönderilen ya da yerinde kalibrasyonları yapılan tork cihazlarının yıllara göre dağılımı Şekil 2'de belirtilmiştir.



Şekil 2. Kalibrasyonları Yapılan Tork Cihazlarının Yıllara Göre Dağılımı

TSE tork kalibrasyon laboratuvarında 2011 yılından günümüze kadar kalibrasyonları yapılan tork cihazlarının ölçüm aralıklarına göre dağılımı Şekil 3'te belirtilmiştir.



Şekil 3. Kalibrasyonları Yapılan Tork Cihazlarının Ölçüm Aralıklarına Göre Dağılımı

3. VERİLEN HİZMETLER

TSE Tork Kalibrasyon Laboratuvarı 2011 yılından günümüze sanayimize hizmet vermeye devam etmektedir.

- Kurulan laboratuvar ile birlikte tork metrolojisi alanında dört TSE personeli uzmanlaşmıştır.
- Sanayimizde kullanılan tork ile ilgili cihazların izlenebilirlikleri, düşük ölçüm belirsizlikleriyle akredite sertifika verilerek sağlanmıştır.
- Bugüne kadar farklı sektörlerden birçok kuruluşa ait 2328 adet tork cihazının kalibrasyonu yapılmış ve akredite logolu sertifikaları teslim edilmiştir.
- Aynı zamanda tork metrolojisi ile ilgili TSE bünyesinde planlı programlarla teorik ve pratik eğitimler düzenlenmektedir.
- Gelen talepler doğrultusunda firma yerinde teorik ve uygulamalı eğitimler düzenlenmektedir.
- TSE Tork Kalibrasyon Laboratuvarı, Akredite laboratuvarların TS EN ISO 17025 standardına göre karşılaştırma ihtiyaçları için pilot laboratuvar görevini üstlenmektedir.

SONUÇ

TSE Tork Kalibrasyon Laboratuvarı, sanayimizin özellikle hassas tork kalibrasyon cihazlarının kalibrasyonu ihtiyacını düşük ölçüm belirsizlikleriyle sağlamaktadır. Bu özelliğiyle laboratuvarlar arası karşılaştırma ölçümlerinde pilot laboratuvar olarak kullanılmakta, yurt içindeki kalibrasyon laboratuvarlarının ölçüm birlikteliğini ve ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini sağlamaktadır. Tork metrolojisi alanında yetişmiş olan personellerle sanayinin eğitim ihtiyacı karşılanmaktadır. Kuruluşlar tarafından kalibrasyon için gönderilen tüm cihazlar analiz edildiğinde, sanayide kullanılan her üç tork cihazından ikisinin 100 N·m ile 300 N·m arasında nominal değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] TSE Tork El Aleti Kalibrasyonu Eğitim Notları
[2] TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Tanıtım Kataloğu
[3] TSE Kalibrasyon Takip Yazılımı

ÖZGEÇMİŞ

Uğur YÜCESAN

1978 yılı Ankara doğumludur. 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2003 yılında Türk Standartları Enstitüsü Makine ve Malzeme Laboratuvarında Deney Personeli olarak göreve başlamıştır. 2006 yılında Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Boyutsal Kalibrasyon Laboratuvarı Bölüm Sorumlusu olarak atanmıştır. Ayrıca 2011 yılında 107G135 numaralı TÜBİTAK KAMAG projesi kapsamında kurulan Tork Kalibrasyon Laboratuvarı Bölüm Sorumluluğu görevine getirilmiştir. 2014 yılından itibaren Boyut ve Mekanik Kalibrasyon Teknik Şefi olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda boyutsal ve tork kalibrasyonu alanlarında TÜRKAK denetçisi olarak görev almaktadır.

Çetin DOĞAN

1966 yılında Sivas'da doğan Çetin DOĞAN, 1992 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisansını tamamladı. 1996 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsünde Araştırmacı olarak çalışmaya başladı ve 2000-2006 yılları arasında TÜBİTAK-UME bünyesindeki "Tork Ölçüm ve Standardları Laboratuvarının" kurulmasında ve "1000 N·m Kapasitelik Ulusal Referans Tork Standardı Makinesinin" gerçekleştirilmesi projesinde görev aldı. Halen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Osman AKKOYUNLU

1971 yılında Afyon'da doğan Osman AKKOYUNLU, 1995 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden Fizikçi olarak mezun oldu. 2000 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Yüksek Lisansını tamamladı. Çalışma hayatına, 1995 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümünde Araştırma Asistanı olarak başladı. 1999 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsünde Araştırmacı olarak çalışmaya başladı ve 2000-2006 yılları arasında TÜBİTAK-UME bünyesindeki "Tork Ölçüm ve Standardları Laboratuvarının" kurulmasında ve "1000 N·m Kapasitelik Ulusal Referans Tork Standardı Makinesinin" gerçekleştirilmesi projesinde görev aldı. Halen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Barış TUĞCU

1985 yılı Ankara doğumludur. 2009 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2018 yılında ise Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Mühendis unvanını almıştır. Çalışma hayatına 2010 yılında Türk Standardları Enstitüsü Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nde başlamıştır. 2013 yılından beri Mekanik ve Kütle Kalibrasyonu Laboratuvarları'nda bölüm sorumlusu olarak görev yapmaktadır. 2016 yılında TÜBİTAK KAMAG projeleri kapsamında faaliyete geçen Kuvvet ve Sertlik Kalibrasyon Laboratuvarlarının kuruluşunda görev almış ve aynı laboratuvarların bölüm sorumluluğu görevine devam etmektedir. 2015 yılından beri terazi, kütle, tork ve malzeme test makinelerinin kalibrasyonu alanlarından TÜRKAK denetçisi olarak görev almaktadır.

PİSTONLU BASINÇ STANDARTLARINDA BOYUTSAL ÖLÇÜMLER YÖNTEMİ İLE EFEKTİF ALAN DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Ahmet TÜRK
Murat AKSULU

ÖZET

Bu çalışmada 9,8 cm^2 nominal alana sahip piston-silindir ünitesinin efektif alanı, boyutsal ölçümler yöntemi ile belirlenmiştir. Boyutsal ölçümler form ölçümleri (yuvarlaklık ve doğrusallık) ve mutlak çap ölçümleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Form ölçümleri ve mutlak çap ölçümlerinde düşük belirsizlik elde edebilmek için alanında uzmanlaşmış cihazlar kullanılmıştır. İlk olarak hem piston hem de silindir için doğrusallık ve yuvarlaklık ölçümleri yapılmıştır. Yuvarlaklık ve doğrusallık ölçümlerinin kesiştiği noktalarda mutlak çap değerleri ölçülmüştür. Piston ve silindirin geometrik kalibrasyonundan sonra, tüm boyutsal ölçümlerden elde edilen veriler, en küçük kareler metoduna dayanan bir yöntem kullanılarak birleştirilmiştir. Böylelikle, hem piston hem de silindire ait yarıçap değerleri elde edilmiştir Elde edilen yarıçap değerleri kullanılarak piston-silindir ünitesinin efektif alan değeri ve bu değere ait belirsizlik hesaplanmıştır. Efektif alan değerinin hesaplanmasında Dadson Teorisi kullanılmıştır.
Sonuç olarak, boyutsal ölçümler yöntemi kullanılarak elde edilen efektif alan değeri ile cross-float adı verilen geleneksel yöntem sonucunda elde edilen efektif alan değeri arasındaki fark 17 ppm'dir. Bu değer, boyutsal ölçümler yöntemi ile cross-float yönteminin birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca daha iyi sonuçlar elde edebilmek için daha düşük belirsizliğe sahip ölçüm cihazlarının kullanılması gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Efektif Alan, Pistonlu Basınç Standartları, Boyutsal Ölçümler, Dadson Teori.

ABSTRACT

In this study, effective area of the piston-cylinder unit which has 9,8 cm2 nominal area is calculated by using dimensional measurement method. Dimensional measurements were performed in two steps; form measurements (straighness and roundness) and absolute diameter measurements. Specialized instruments were used in the form and absolute diameter measurements in order to get minimum possible uncertainty. After finishing geometric calibration of piston-cylinder unit, a method based on least square method was performed to obtain radius values from the deviation values, for both piston and cylinder. Effective area of piston-cylinder unit was calculated by using those radius values and Dadson Theory.
As a result, the difference between the calculated effective areas of same piston-cylinder unit, by means of dimensional measurement method and cross-float method, is 17 ppm. This value indicates that dimensional measurement method may be used to calculate effective area of piston-cylinder unit. In addition, it is required to perform dimensional measurements with the instruments possessing lower uncertainty values to get better results with cross-float method.

Key Words: Effective Area, Pressure Balance, Dimensional Measurements, Dadson Theory.

1. GİRİŞ

Pistonlu basınç standartları yüksek metrolojik özelliklerinden dolayı basınç metrolojisinde sıklıkla kullanılan referans cihazların başında gelmektedir. Bu cihazlar ile üretilen basınç yüksek doğruluk ve düşük belirsizlik değerine sahiptir. Pistonlu basınç standartları içerisinde yer alan akışkan üzerinde oluşan basıncın hassas bir şekilde hesaplanabilmesi ve izlenebilirlik zincirinin sağlanabilmesi için piston-silindir ünitesinin efektif alanının yüksek doğrulukla belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu amaçla basınç metrolojisinde çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir.

Bu yöntemlerden ilki cross-float adı verilen karşılıklı akışa dayalı yöntemdir. Karşılıklı akışa dayalı yöntemde efektif alanı çok iyi derecede belirlenmiş olan referans pistonlu basınç standardına ihtiyaç vardır. Bu yöntemde efektif alanı belirlenmek istenilen pistonlu basınç standardı, referans pistonlu basınç standardı ile deneysel ortamda karşılaştırılarak kalibre edilmiş olur. Ülkelerin metroloji enstitüleri tarafından izlenebilirlik zincirinin oluşturulmasında sıklıkla kullanılan bu yöntem oldukça güvenilirdir ve hassas sonuçlar vermektedir. Ancak izlenebilirlik zincirinin sağlanmasında referans bir pistonlu basınç standardına ihtiyaç olması bu yöntemin en önemli eksikliklerindendir. Ayrıca uzun kalibrasyon süresi, çevresel şartlara ve operatöre bağımlılık bu yöntemin diğer dezavantajları arasında gösterilebilir.

Efektif alan belirlemede kullanılan bir diğer yöntem boyutsal ölçümler yöntemidir. Ulusal metroloji enstitüleri genellikle 0,05 MPa – 1 MPa basınç aralığında ölçüm yapan piston-silindir ünitelerinin efektif alan değerlerini boyutsal ölçümler yöntemi ile hesaplamaktadırlar [1]. Bu yöntemde efektif alanı belirlenmek istenilen piston-silindir ünitesine ait detaylı geometrik ölçümler alanında uzmanlaşmış cihazlar kullanılarak gerçekleştirilir. Geometrik ölçümler sonucunda elde edilen boyutsal verilerden en küçük kareler yöntemine dayalı matematiksel işlemlerle piston ve silindire ait yarıçap değerleri hesaplanır. Hesaplanan yarıçap değerleri ve Dadson teori kullanılarak piston-silindir ünitesine ait efektif alan değeri elde edilir. Boyutsal ölçümler metodunda referans pistonlu basınç standardına ihtiyaç yoktur. Literatürde yapılan çalışmalar, bu yöntemle elde edilen efektif alan değeri ile karşılıklı akışa dayalı yöntemle elde edilen efektif alan değerleri birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir [2].

Sadece cross-float yöntemini kullanan ülkelerin metroloji enstitüleri, izlenebilirlik zincirinin en tepesindeki pistonlu basınç standardının efektif alan değerinin belirlenmesi noktasında dışa bağımlıdırlar. Bu nedenle boyutsal ölçümlerle efektif alan belirlenmesi ulusal metroloji enstitüleri için dışa bağımlılığın sonlandırılması ve prestij açısından anahtar rol oynamaktadır.

Bu çalışmada TÜBİTAK UME basınç laboratuvarının izlenebilirlik zincirinde yurt dışına bağımlılıktan kurtulabilmesi için boyutsal ölçümler yöntemi ile 9,8 cm^2 nominal efektif alana sahip pistonlu basınç standardı kalibre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı piston için daha önceden yapılmış cross-float sonuçları ile karşılaştırıldığında her iki yöntem sonucunda elde edilen değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

2. PİSTON-SİLİNDİR ÜNİTESİ

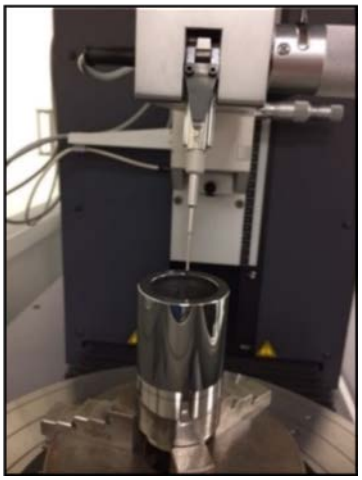
Boyutsal ölçümlerde, pnömatik ortamda çalışabilen 35 mm nominal çapa ve 9,8 cm2 nominal efektif alana sahip piston-silindir ünitesi kullanılmıştır. 765 seri numarasına sahip olan piston-silindir ünitesi DH Instruments (DHI, USA) tarafından tungsten karbür malzemesinden üretilmiştir. Piston boyu 53,2 mm, silindir boyu ise 35,3 mm'dir. Piston-silindir ünitesi maksimum 0,5 MPa çalışma kapasitesine sahiptir.

3. BOYUTSAL ÖLÇÜMLER

Boyutsal ölçümlerle piston-silindir ünitesinin efektif alanının hesaplanabilmesi için öncelikle hem piston hem de silindire ait boyutsal ölçümlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Boyutsal ölçümler form ölçümleri ve mutlak çap ölçümleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1. Form Ölçümleri

Form ölçümlerinde Mahr MFU 800 cihazı kullanılarak hem piston hem de silindir için doğrusallık ve yuvarlaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hem piston ve hem de silindir için 45°lik açılarda 8 adet doğrusallık ölçümü alınmıştır. Doğrusallık ölçümlerinde profil noktaları arası mesafe 0,1 mm olup pistona ait doğrusallık profilleri 532, silindire ait doğrusallık profilleri ise 353 noktadan oluşmaktadır. Piston için eşit aralıklı 8 farklı yükseklik seviyesinde, silindir için ise yine eşit aralıklı 6 farklı yükseklik seviyesinde yuvarlaklık ölçümleri yapılmıştır. Tüm yuvarlaklık profillerinde noktalar arası mesafe 0,1° olup bir profil toplam 3600 noktadan oluşmaktadır. Yuvarlaklık ölçümlerine ait genişletilmiş belirsizlik (k=2) 50 nm, doğrusallık ölçümlerine ait genişletilmiş belirsizlik (k=2) 100 nm'dir. Şekil 1'de piston-silindir ünitesine ait yuvarlaklık ölçümü görülmektedir.



Şekil 1. MahrForm MFU 800 ile yapılan yuvarlaklık ölçümü.

3.2. Mutlak Çap Ölçümleri

Doğrusallık ve yuvarlaklık profilleri, silindirik yüzeylerdeki izafi sapma miktarı olup (yüzeydeki bir noktanın diğerine göre radyal sapması) tek başına bu yüzeylerin gerçek yarıçap değerleri hakkında bilgi vermezler. Bu nedenle form ölçümlerine ilave olarak, doğrusallık ve yuvarlaklık profillerinin kesişim noktalarında mutlak çap ölçümleri gerçekleştirilir. Bu çalışmada piston için toplamda 32 çap ölçüm verisi, silindir için ise 24 çap ölçüm verisi alınmıştır. Mutlak çap ölçüm verileri CMM cihazında yapılmış olup bu ölçümlere ait genişletilmiş belirsizlik değeri 500 nm'dir.

4. BOYUTSAL ÖLÇÜM VERİLERİNDEN YARIÇAP DEĞERLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Boyutsal ölçüm verilerinden silindirik yüzeylere ait yarıçap değerinin elde edilmesinde en küçük kareler metoduna dayalı matematiksel bir dizi işlem gereklidir [3]. Bu yöntemde doğrusallık izafi sapma profilleri piston-silindir ünitesi boyunca uzanan doğru denklemlerine eklenerek doğrusallık yarıçap denklemleri elde edilir. Yuvarlaklık izafi sapma profilleri ise piston-silindir ekseni boyunca farklı kesitlerdeki çember denklemlerine eklenerek yuvarlaklık yarıçap denklemleri elde edilir. Doğrusallık yarıçap ($r_{doğrusallık,i}$) ve yuvarlaklık yarıçap ($r_{yuvarlaklık,j}$) denklemleri (1) ve (2) numaralı formüllerde verilmiştir. Denklemlerde S_i i.doğrusallık profiline ait izafi sapma değerleri, R_j ise j.yuvarlaklık profiline ait izafi sapma değerleridir.

$$r_{doğrusallık,i} = S_i(x) + a_i + b_i \cdot x \quad (1)$$

$$r_{yuvarlaklık,j} = R_j(\theta) + P_j + w_j \cdot \cos(\theta) + v_i \cdot \sin(\theta) \quad (2)$$

Burada bilinmeyenler a_i, b_i, P_j, w_j ve v_j'dir. Yuvarlaklık yarıçap denklemleri, doğrusallık yarıçap denklemleri ve mutlak çap değerlerinin kesiştiği noktalardaki farkların kareleri toplamı minimize edilerek yuvarlaklık ve doğrusallık yarıçap denklemlerinde yer alan bilinmeyenler çözülür:

$$\chi^2 = \sum_{i,j}(\Delta_{ij}^2 + \mu_{ij}^2 + \nu_{ij}^2 + \sigma_{ij}^2 + \tau_{ij}^2) \rightarrow \min \quad (3)$$

Burada;

Δ_{ij} : Doğrusallık ve yuvarlaklık profilleri kesişme noktalarında radyal koordinat fark

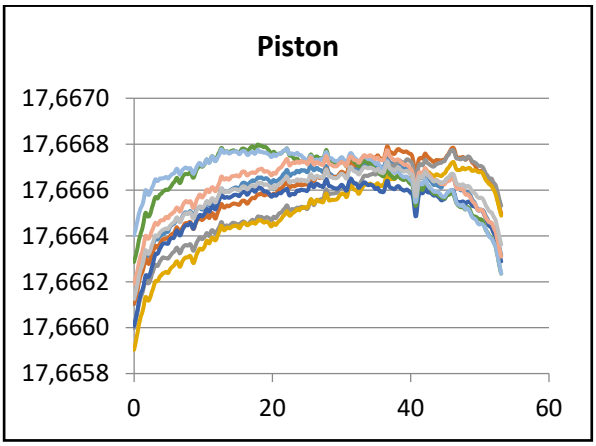
μ_{ij} : Doğrusallık profilleri ve referans olmayan çap ölçümleri kesişme noktalarında radyal koordinat farkı

ν_{ij} : Yuvarlaklık profilleri ve referans olmayan çap ölçümleri kesişme noktalarında radyal koordinat farkı

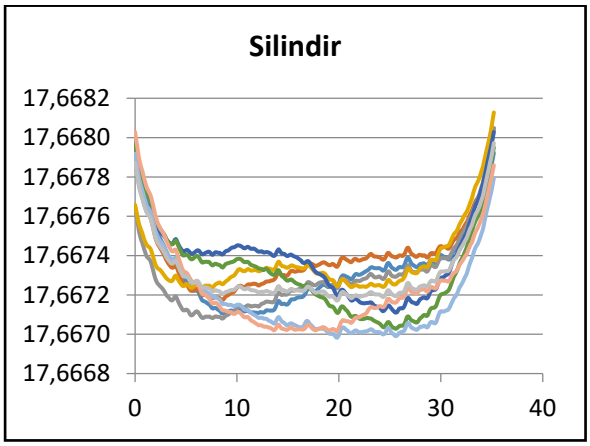
σ_{ij} : Doğrusallık profilleri ve referans çap ölçümleri kesişme noktalarında radyal koordinat farkı

τ_{ij} : Yuvarlaklık profilleri ve referans çap ölçümleri kesişme noktalarında radyal koordinat fark

Çözülen bilinmeyenlerin doğrusallık ve yuvarlaklık yarıçap denklemlerinde yerine konulması sonucunda, piston ve silindire ait tüm doğrusallık ve yuvarlaklık izafi sapma profilleri gerçek yarıçap ve gerçek eğim değerine sahip olarak elde edilmiş olur. Bu profillerden piston ve silindire ait doğrusallık profilleri Şekil 2a ve Şekil 2b' de verilmiştir.

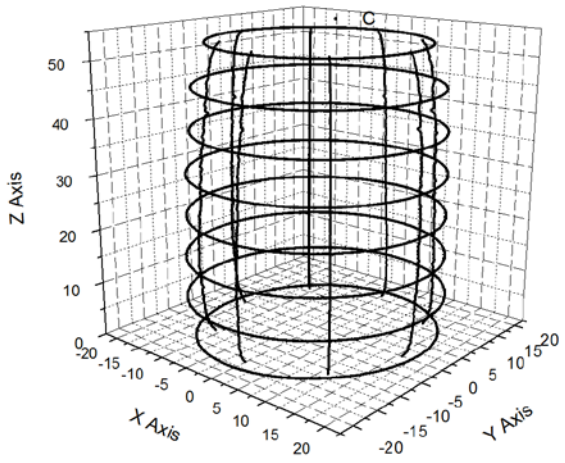


Şekil 2a. Piston doğrusallık yarıçap profilleri.

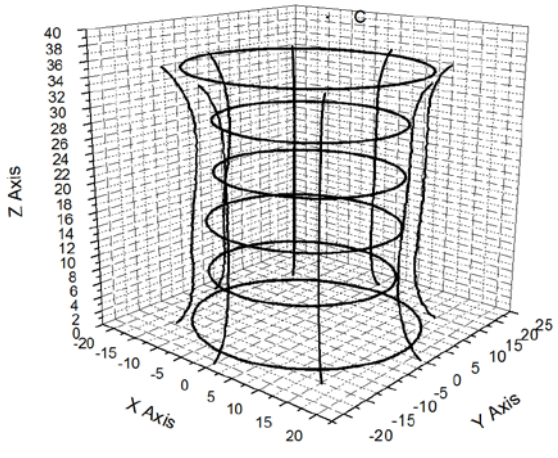


Şekil 2b. Silindir doğrusallık yarıçap profilleri.

Piston ve silindire ait kuş kafesi modelleri Şekil 3a ve Şekil 3b'de sırasıyla verilmiştir.



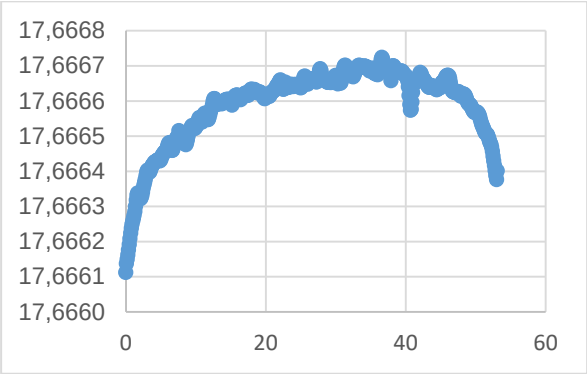
Şekil 3a. Piston için kuş kafesi modeli.



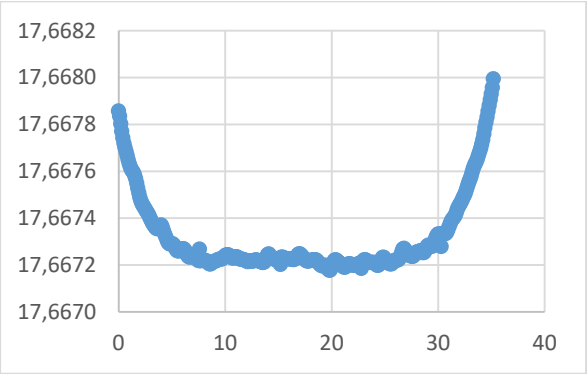
Şekil 3b. Silindir için kuş kafesi modeli.

Yukarıda verilen kuş kafesi modelleri; tüm radyal sapmalar, doğrusallık profil eğimleri ve yuvarlaklık profillerinin merkezlerinin birbirine göre radyal sapmaları 5000 kat abartılarak görselleştirilmiştir. Bu modellere göre piston orta kısımlarına doğru, silindir ise uç kısımlarına doğru genişlemektedir.

Şekil 4a ve Şekil 4b'de, sırasıyla, piston ve silindire ait ortalama yarıçap değerleri grafikler halinde verilmiştir. Piston için maksimum ortalama yarıçap değeri 17,666724 mm, minimum ortalama yarıçap değeri ise 17,666112 mm'dir. Piston tüm yarıçap değerlerinin ortalaması 17,666589 mm ve yarıçap değerlerinin standart sapma değeri 0,000109 mm'dir. Silindir için maksimum ortalama yarıçap değeri 17,667994 mm, minimum yarıçap değeri ise 17,667176 mm'dir. Silindir tüm yarıçap değerlerinin ortalaması 17,667314 mm ve standart sapma değeri 0,000160 mm'dir.



Şekil 4a. Piston ortalama yarıçap değerleri.



Şekil 4b. Silindir ortalama yarıçap değerleri.

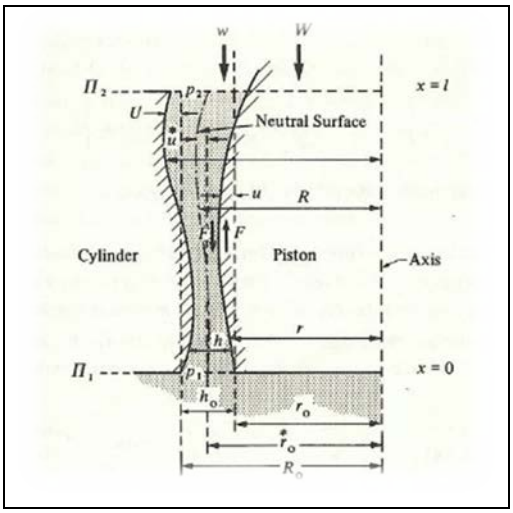
5. YARIÇAP DEĞERLERİNİN YENİ KOORDİNAT DÜZLEMİNE AKTARILMASI

Silindirik yüzeylerin yarıçap değerlerinin hesaplanmasından sonra silindirik yüzeylere ait yuvarlaklık yarıçap değerleri kullanılarak bu yüzeylerin merkezleri belirlenir. Belirlenen yeni merkez üzerine oturtulan koordinat düzlemine göre yarıçap değerleri tekrar hesaplanır. Bu hesaplamaların yapılmasında [4] 'de belirtilen Murty yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamaların sonucunda doğrusallık ve yuvarlaklık profillerindeki yarıçap değerlerinin değiştiği ancak ortalama yarıçap değerlerindeki değişmenin 1 ppm den az olduğu görülmüştür.

6. EFEKTİF ALAN DEĞERİNİN HESAPLANMASI

İdeal olmayan bir piston-silindir ünitesine ait şematik gösterim Şekil 5'te verilmiştir. Dadson teoriye göre ideal olmayan piston-silindir ünitelerinin atmosfer basıncındaki efektif alan değeri (4) numaralı formül ile hesaplanır [5]. Bu formülde x piston-silindir ünitesinin eksenel koordinatını temsil etmektedir. r, R ve h, sırasıyla, herhangi bir x noktasındaki piston yarıçapına, silindir yarıçapına ve piston-silindir arasındaki radyal açıklık değerine, r_0, R_0 ve h_0 ise, sırasıyla, x = 0 noktasındaki piston yarıçapına, silindir yarıçapına ve piston-silindir arasındaki radyal açıklık değerlerine karşılık gelmektedir. U silindirin R_0 değerinden sapma miktarı olup $U = R - R_0$ şeklinde, u ise pistonun r_0 değerinden sapma miktarı olup $u = r - r_0$ şeklinde hesaplanır. Ayrıca $h_0 = R_0 - r_0$ ve $h = R - r$ formülleri ile bulunur.

765 seri numaralı piston-silindir ünitesine ait efektif alan değerinin hesaplanabilmesi için (4) numaralı formül Labwiev 2015 ortamında oluşturulmuştur. Formülde yer alan integral hesaplamalarında veriler eşit aralıklı olduğundan dolayı Simpsons 3/8 sayısal integrasyon kuralı uygulanmıştır.



Şekil 5. İdeal Olmayan Piston-Silindir Ünitesi [5].

$$A_0 = \pi r_0^2 \left\{ 1 + \frac{h_0}{r_0} + \frac{1}{r_0} \frac{\int_0^l (u+U)/h^3 \, dx}{\int_0^l 1/h^3 \, dx} \right\} \tag{4}$$

Labview ortamında yapılan efektif alan hesaplaması için her x noktası için algoritmaya bir yarıçap değerinin verilmesi gerekmektedir. Ancak piston ve silindir her x noktasında en az 8 yarıçap değerine sahiptir. Yuvarlaklık profillerinin yapıldığı noktalarda ise bu değer 3608 tanedir. Bu nedenle her x noktasına karşılık gelen tüm yarıçap değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ortalama yarıçap değerleri (4) numaralı formülde yerine konulduğunda elde edilen alan değeri 980,557546 mm^2'dir.

7. EFEKTİF ALAN BELİRSİZLİK DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Efektif alana ait belirsizliğin hesaplanması için öncelikle yarıçap belirsizlik değeri hesaplanmıştır. Yapılan ölçümlerde form ölçümlerine ait belirsizlik 50 nm ve mutlak çap ölçümlerine ait belirsizlik ise 500 nm'dir.

Bu belirsizlik değerleri (5) numaralı formülde yerine konulduğunda elde edilen yarıçap belirsizlik değeri $5{,}1 \times 10^{-7}$ m'dir.

$$\mathrm{u(r)} = \sqrt{u\left(r_{doğrusallık}\right)^2 + u\left(r_{yuvarlaklık}\right)^2 + u(r_{mutlak})^2} \tag{5}$$

Elde edilen yarıçap belirsizlik değeri piston-silindir ünitesinin ortalama yarıçap değerlerine eklenir ve (4) numaralı formülde yerine konularak efektif alan değerinin en büyük değeri hesaplanır. Daha sonra yarıçap belirsizlik değeri ortalama yarıçaplardan çıkarılır ve (4) numaralı formülde yerine konularak efektif alan değerinin en küçük değeri hesaplanır. Maksimum ve minimum efektif alan değerlerinin arasındaki farkın 2'ye bölünmesi sonucunda efektif alana ait belirsizlik değeri bulunur. Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum efektif alan değeri 980.61364 mm^2, minimum efektif alan değeri 980.50154 mm^2 ve efektif alan belirsizlik değeri ise 0,056051 mm^2 olarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

765 seri numaralı cihaza ait üretici sertifikasında yer alan efektif alan değeri ile boyutsal ölçümler sonucunda elde edilen efektif alan değeri arasında 17 ppm fark vardır.

KAYNAKLAR

[1] Molinar G., Rebaglia B., Sacconi A., Legras J. C., Vailleau G. P., Schmidt J. W., Stoup J. R., Flack D. R., Sabuga W., Jusko O, (1999), "CCM key comparison in the pressure range 0.05 MPa to 1 MPa (gas medium, gauge mode). Phase A1: Dimensional measurements and calculation of effective area", Metrologia, 36, 657-662.
[2] Legras J. C., Sabuga W., Molinar G., Schmidt J. W., (1999), "CCM key comparison in the pressure range 50 kPa to 1000 kPa (gas medium, gauge mode). Phase A2: Pressure Measurements", Metrologia, 36, 663.
[3] Sabuga W., Priruenrom T., (2007), "An approach to the evaluation of dimensional measurements on pressure measuring piston-cylinder assemblies", IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 and 1st TC22 International Conference, 1-8, Merida, Mexico, 27-30 November
[4] Murty T. S. R., Rao S. Y., (1981), "A Simple Approach for Evaluation of Cylinder Surfaces", Annals of the CIRP, 30 (1981), 441-444.DIN 4109, "Schallschutz im Hochbau; Anforderung und Nachweise", 1989.
[5] Dadson R. S., Lewis S. L., Peggs G. N., (1982), "The Pressure Balance: Theory and Practice", London: HMSO.
[6] Ayyıldız G., Koçaş İ., (2005), "Piston Silindir Ünitesi Efektif Alanının Boyutsal Ölçümlerle Belirlenmesi", TMMOB Makina Mühendisleri Odası VI. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, 117-122, Eskişehir, Türkiye, 17-18 Kasım.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet TÜRK

1984 Bozüyük doğumludur. 2007 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Öğretmenliği bölümünden dereceyle mezun olmuştur. 2014 yılında TÜBİTAK UME Basınç laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2018 yılında uzman araştırmacı ünvanını almıştır. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden Yüksek lisans derecesiyle mezun olmuştur.

Murat AKSULU

1990 yılında İTÜ Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Lisans derecesi, 2008 yılında Doktora derecesi almıştır. 1996 yılında TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Boyutsal Laboratuarında araştırıcı olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 yılında uzman araştırıcı, 2013 yılında başuzman araştırıcı unvanını almıştır. Ana çalışma konusu Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve Form ölçümleridir. Boyutsal metroloji alanında çeşitli Avrupa birliği projelerinde, TÜBİTAK 1001 projesinde ve TÜBİTAK iç projelerinde çalışmıştır. Halen boyutsal laboratuarında başuzman araştırıcı olarak çalışmaktadır

İKLİMLENDİRME KABİNLERİNİN BAĞIL NEM KARAKTERİZASYON ANALİZLERİ ve BELİRSİZLİK HESAPLAMALARI

Seda OĞUZ AYTEKİN

ÖZET

İklimlendirme kabinlerinin nem karakterizasyonu ölçümleri, nem ölçümü yapan akredite tüm laboratuvar ve kurumlar için gerekli bir işlemdir. İklimlendirme kabinlerinin nem karakterizasyonu belirsizlik hesaplamalarının tüm laboratuvar ve kurumlar tarafından aynı parametreler kullanılarak hesaplanması ülke genelinde nem ölçümlerindeki uyumun sağlanmasını mümkün kılacaktır.

Nem karakterizasyonu ölçüm ve analizleri aşağıda verilen standartlar ve kılavuz dokümanlar dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. Aşağıda verilen dokümanların güncel nüshaları kullanılmalıdır.

1. BS EN 60068-3-5:2018, Environmental Testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers
2. BS EN IEC 60068-3-6:2018, Environmental Testing - Part 3-6: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature/ humidity chambers
3. BS EN 60068-3-11:2007, Environmental Testing - Part 3-11: Supporting documentation and guidance - Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers
4. EURAMET Calibration Guide No. 20, Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, Version 5.0 (09/2017)
5. DKD Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers, Edition 07/2004, English translation 02/2009

Bu çalışmada, nem kabinlerinin nem karakterizasyonu belirsizlik bileşenleri detayları ile anlatılmış ve örnek hesaplamalar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağıl nem, Belirsizlik, İklimlendirme Kabini, Nem karakterizasyonu.

ABSTRACT

Humidity characterization measurements of humidity controlled chambers, e.g. climatic chambers are necessary for all accredited laboratories and institutions that perform humidity measurement and/or calibrations. Calculation of the humidity characterization measurement uncertainty of the humidity controlled chambers by all laboratories and institutions using the same parameters will enable the harmonization of the humidity measurements throughout the country.

Measurement and analysis of humidity characterization should be carried out in accordance with the standards and guidance documents given below. New versions of the documents must be used.

1. BS EN 60068-3-5: 2018, Environmental Testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature chambers
2. BS EN IEC 60068-3-6: 2018, Environmental Testing - Part 3-6: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature / humidity chambers
3. BS EN 60068-3-11: 2007, Environmental Testing - Part 3-11: Supporting documentation and guidance - Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers

4. EURAMET Calibration Guide No. 20, Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, Version 5.0 (09/2017)
5. DKD Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers, Edition 07/2004, English translation 02/2009

In this study, uncertainty components of humidity characterization measurement of humidity controlled chambers are explained in detail and sample calculations are given.

Key Words: Climatic chamber, Humidity characterization, Relative humidity, Uncertainty.

1. GİRİŞ

Nem kabinlerinin hava sıcaklık ve nem karakterizasyonu nem kalibrasyonu yapan ikinci seviye akredite laboratuvarlar için yapılması gereken en önemli ölçümdür ve belirsizlik bütçelerinde mutlaka yer almalıdır. Ancak yapılan denetimler esnasında çoğunlukla karakterizasyon ölçümlerinin yapılmadığı, yapıldığı durumlarda ise ölçüm ve hesaplamalarda çok büyük yanlışlıklar yapıldığı görülmektedir. TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı olarak iklimlendirme kabinlerinin nem karakterizasyonu konusunda eğitim ve danışmanlık hizmeti vermekteyiz ancak konunun öneminin ilgili kurumlar tarafından yeterince dikkate alınmadığı görüşündeyiz. Bu nedenle, nem ölçümü konusunda çalışan ve nem karakterizasyonu yapan veya yapmak isteyen kişilere yardımcı olmak üzere bu makale hazırlanmıştır.

2. BAĞIL NEM KARAKTERİZASYONU

Bağıl nem karakterizasyonu için kullanılan BS EN 60068-3-5, BS EN IEC 60068-3-6 ve BS EN 60068-3-11 standartları dikkate alındığında BS EN 60068-3-5 ve BS EN IEC 60068-3-6 standartlarına göre 2000 l altındaki kabinler için dokuz (9) adet termometre ve nem ölçer iklimlendirme veya nem kaynağı kabini içine standartta belirtildiği şekilde yerleştirilir. Nem hesaplamaları için gerekli nem ölçer cihazının sensörü merkezi konuma yerleştirilir. Dokuz farklı konumdaki sıcaklık ölçümlerinden hesaplanan sıcaklık farklılıklarından ve kabin içindeki mutlak nem değerinin sabit olduğu kabul edilerek dokuz farklı konumdaki bağıl nem değerleri hesaplanır. Ölçümler yapılırken istenen belirsizlik değerine göre kullanılacak cihazlar dikkatle seçilmelidir. Hesaplamalar sırasında da kullanılan su buhar basıncı eşitsizliklerinin belirsizlik değerleri ölçüm sonucunda istenen belirsizlik değeri dikkate alınarak seçilmelidir.

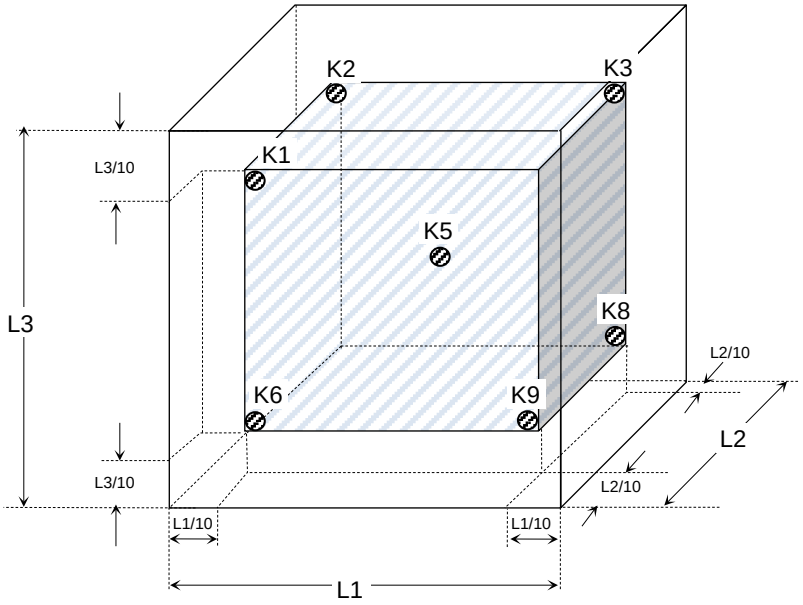
BS EN 60068-3-5'e göre iklimlendirme kabini iç hacmi 1000 litre'nin altında ise termometrelerin yerleştirileceği mesafe kabin iç duvarlarından L/10 ve en küçük mesafe 50 mm kurallarını sağlanacak şekilde olmalıdır.

BS EN 60068-3-5'e göre iklimlendirme kabini iç hacmi 1000 litre ile 2000 litre aralığında ise termometrelerin yerleştirileceği mesafe kabin iç duvarlarından L/10 ve en küçük mesafe 100 mm kurallarını sağlanacak şekilde olmalıdır.

İklimlendirme kabini karakterizasyon ölçümleri IEC 60068-1, BS EN 60068-3-1, IEC 60068-2 standartlarına göre gerçekleştirilmeli ve bu standartlarda yer alan şartlar ve ölçüm isterleri sağlanmalıdır.

Bağıl nem karakterizasyonu için 2000 litre hacme kadar, kabinlerdeki sıcaklık sensörlerinin yerleşim düzenleri standartta belirtildiği şekilde olmalıdır. Merkeze bir adet nem ölçer yerleştirilmelidir. Nem ölçer bağıl nem ölçer, çiy-noktası nem ölçer, ıslak ve kuru hazneli nem ölçer olabilir. Sıcaklık sensörleri seçiminde ise BS EN 60068-3-5 standardı dikkate alınmalıdır.

Ölçümler sırasında nem kaynağı kararlı duruma geldikten sonra aynı aralıklarla olmak şartıyla 30 dakika süresince dakikada bir olmak üzere 30 adet ölçüm kaydedilir. Otuz dakika süresince alınan ölçümlerde, dokuz noktadaki her standart sapma değeri hesaplanır ve en yüksek değer zamansal dalgalanma (fluctuation) olarak belirsizlik bütçesine dahil edilir.



Şekil 1. Nem kabini karakterizasyon sensör konumları

Otuz ölçüm alındı ise her dakikadaki dokuz farklı konumdaki sensörden okunan değerlerin ortalaması alınır. En yüksek ve en düşük değerlerin farkı konumsal dalgalanma (gradient) olarak belirsizlik bütçesine dahil edilir.

Merkez konumdaki sensörden diğer konumlardaki sensörlerden okunan değerlerin farkı alınır. Fark değerleri arasındaki en yüksek değer uzaysal değişim (variation in space) olarak hesaplamalara dahil edilir. [1-8]

3. BAĞIL NEM KARAKTERİZASYONU BELİRSİZLİK BİLEŞENLERİ ve HESAPLAMALARI

Belirsizlik hesaplamalarında tekrarlanabilirlik bileşeni olarak kullanılacak standart sapma değeri sıfır (0) olarak hesaplandığı durumlarda okuma çözünürlüğünden kaynaklı olduğu dikkate alınarak çözünürlük değeri tekrarlanabilirlik bileşeni olarak belirsizlik hesaplamalarına dahil edilmelidir. Tekrarlanabilirlik değeri olarak sıfır (0) alınmamalıdır.

Sıcaklık ve su buhar basıncı hesaplamalarında kullanılacak duyarlılık katsayıları her bağıl nem ve sıcaklık değeri için farklılık göstermektedir. Bu nedenle her değer için ayrıca hesaplanmaları gerekmektedir. BS EN 60068-3-11 standardında verilen duyarlılık katsayıları örnek olarak hesaplanmıştır ve sadece 40 °C ve 85 %rh bağıl nem değerine özgü duyarlılık katsayılarıdır.

3.1. Bağıl Nem Model Fonksiyonları

Kullanılan ölçüm metodu dikkate alınarak belirlenen ölçüm model fonksiyonu Eşitlik 1'de verilmiştir.

Ölçümlerde referans ölçüm cihazı olarak Bağıl Nem ve Sıcaklık Ölçer veya Çiy-Noktası Nem Ölçer kullanıldığı durumlarda aşağıda verilen eşitlikte belirtilen belirsizlik bileşenleri ile belirsizlik hesaplaması yapılır.

$$C_{KEC} = (\psi_{ref} + \delta\psi_{RefSrt} + \delta\psi_{RefKym} + \delta\psi_{RefCzn} + \delta\psi_{RefTkr}) - (\psi_{KEC} + \delta\psi_{KECFlc} + \delta\psi_{KECBNGrd} + \delta\psi_{KECSBBGrd} + \delta\psi_{KECSck} + \delta\psi_{KECCzn} + \delta\psi_{KECOSS} + \delta\psi_{KECYük} + \delta\psi_{KECYük}) \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

3.2. Bağıl Nem Belirsizlik Bileşenleri

Eşitlik 1'de verilen model fonksiyonda yer alan her bir girdi için belirsizlik bileşenleri aşağıda tanımlanmıştır.

- **Referans Cihazın Sertifikada Verilen Bağıl Nem Belirsizlik Değeri (ψ_{RefSrt})**
  Referans cihazın son kalibrasyon sertifikasında 50 %rh bağıl nem değeri için ölçülen değer 50,00 %rh ve ölçüm belirsizliği %95 güvenirlikte (k=2) 0,8 %rh olarak verilmektedir. Bu durumda;

  Standart belirsizlik : $u(\psi_{Ref})$ = 0,8 %rh × (1/2) = 0,4 %rh

  Duyarlılık katsayısı : $c(\psi_{Ref}) = \frac{\partial C_{KEC}}{\partial \psi_{Ref}} = 1$

- **Referans Cihaz Yıllık Bağıl Nem Kayma Değeri ($\delta\psi_{RefKym}$)**
  Kalibrasyon periyodu 1 yıl olarak belirlenen referans cihazın yıllık kayma belirsizliği, ardışık kalibrasyon sertifikalarındaki eş değerler arasındaki fark kullanılarak hesaplanır. Dağılımı dikdörtgen dağılımdır.

  Standart belirsizlik : $u(\psi_{Ref}) = \frac{\text{Yıllık Kayma}}{2\times\sqrt{3}} = \frac{50{,}0\text{-}50{,}2}{2\times\sqrt{3}}$ %rh = 0,06 %rh

  Duyarlılık katsayısı : $c(\psi_{Ref})$ = 1

  Cihazın yeni alındığı veya önceki sertifikanın olmadığı durumlarda üreticisi tarafından beyan edilen değer kullanılır. Dağılımı normal dağılımdır.

- **Referans Cihaz Bağıl Nem Okuma Değerine Ait Çözünürlük (ψ_{RefCzn})**
  Referans cihazın göstergesinden aşağıdaki biçimlerde okuma yapılabilir. Çözünürlük için sayısal değerin en küçük basamağı dikkate alınır. Örnekler aşağıda verilmiştir.

  Tablo 1. Okuma çözünürlüğü hesaplamasına ait örnekler

Cihazdan okunan değer	Okuma çözünürlüğü	Dağılımı	Standart belirsizlik $u(\delta\psi_{RefCzn})$
21 %rh ise	1 %rh / 2 = 0,5 %rh	Dikdörtgen	0,5 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,3 %rh
21,1 %rh ise	0,1 %rh / 2 = 0,05 %rh	Dikdörtgen	0,05 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,03 %rh
21,10 %rh ise	0,01 %rh / 2 = 0,005 %rh	Dikdörtgen	0,005 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,003 %rh
21,15 %rh ve 21,20 %rh arasında değişiyorsa	0,05 %rh / 2 = 0,025 %rh	Dikdörtgen	0,025 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,014 %rh

  Standart belirsizlik : $u(\delta\psi_{RefCzn}) = (0{,}01\%rh / 2)/\sqrt{3} = 0{,}003$ %rh

  Duyarlılık katsayısı : $c(\delta\psi_{RefCzn})$ = 1

- **Referans Cihaz Bağıl Nem Tekrarlanabilirlik Değeri (Zamansal Kararlılık) (ψ_{RefTkr})**

Referans cihazın bağıl nem okuma değeri, 10 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlenir. Bu durumda tekrarlanan ölçüm sayısı *n* =10'dur. On (10) ölçüm sonucunun ortalama değeri Eşitlik 2 ile hesaplanır:

$$\overline{\psi_{Ref}} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\psi_{Ref_k} \quad (2)$$

$\overline{\psi_{Ref}}$ = 50,00 %rh

Deneysel standart sapma değeri Eşitlik 3 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$s_{\psi Ref} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}\left(\psi_{Ref_k} - \overline{\psi_{Ref}}\right)^2} \quad (3)$$

$s_{\psi Ref}$ =[(1/9) [(50,00-50,00)^2 + (50,01-50,00)^2 + (49,99-50,00)^2 + (50,01-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (49,99-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2 + (50,00-50,00)^2]]$^{1/2}$ %rh

$s_{\psi Ref}$ = 0,007 %rh

Eşitlik 4 kullanılarak standart sapma belirsizliği hesaplanır:

$$u(\psi_{Ref}) = \sqrt{\frac{{s_{\psi Ref}}^2}{n}} \quad (4)$$

Standart belirsizlik : $u(\psi_{Ref}) = = \sqrt{0{,}007^2/10}$ *%rh* = 0,002 %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\psi_{Ref}) = \frac{\partial C_{Ref}}{\partial \psi_{Ref}}$ = 1

- **Nem Kabini Bağıl Nem Zamansal Dalgalanma (Fluctuation) (ψ_{KECFlc})**

Ölçümler sırasında nem kaynağı kararlı duruma geldikten sonra 30 dakika süresince on (10) adet veya aynı aralıklarla olmak şartıyla daha fazla miktarda, örneğin 30 dakika süresince dakikada bir olmak üzere 30 adet, ölçümler kaydedilir. Otuz dakika süresince alınan ölçümlerde, dokuz noktadaki her standart sapma değeri hesaplanır ve en yüksek değer zamansal dalgalanma (fluctuation) olarak belirsizlik bütçesine dahil edilir.

- **Nem Kabini Bağıl Nem Konumsal Dalgalanma (Gradient) ($\psi_{KECBNGrd}$)**

Otuz ölçüm alındı ise her dakikadaki dokuz farklı konumdaki sensörden okunan değerlerin ortalaması alınır. En yüksek ve en düşük değerlerin farkı konumsal dalgalanma (gradient) olarak belirsizlik bütçesine dahil edilir.

- **Nem Kabini Su Buhar Basıncı Konumsal Dalgalanma (Gradient) ($\psi_{KECSBBGrd}$)**

Otuz ölçüm alındı ise her dakikadaki dokuz farklı konumdaki sensörden okunan sıcaklık değerleri kullanılarak su buhar basıncı elde edilir ve ortalama değerleri hesaplanır. En yüksek ve en düşük değerlerin farkı konumsal dalgalanma (gradient) olarak belirsizlik bütçesine dahil edilir.

- **Nem Kabini Sıcaklık Etkisi (ψ_{KECSck})**

Merkez noktada hesaplanan sıcaklık belirsizliğinin bağıl nem değeri üzerindeki etkisi hesaplanır ve bütçeye dahil edilir.

- **Nem Kabini Çözünürlük (ψ_{KECCzn})**

Karakterizasyonu yapılan nem kabini göstergesinden aşağıdaki biçimlerde okuma yapılabilir. Çözünürlük için sayısal değerin en küçük basamağı dikkate alınır. Örnekler aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Okuma çözünürlüğü hesaplamasına ait örnekler

Cihazdan okunan değer	Okuma çözünürlüğü	Dağılımı	Standart belirsizlik $u(\delta\psi_{RefCzn})$
21 %rh ise	1 %rh / 2 = 0,5 %rh	Dikdörtgen	0,5 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,3 %rh
21,1 %rh ise	0,1 %rh / 2 = 0,05 %rh	Dikdörtgen	0,05 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,03 %rh
21,10 %rh ise	0,01 %rh / 2 = 0,005 %rh	Dikdörtgen	0,005 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,003 %rh
21,15 %rh ve 21,20 %rh arasında değişiyorsa	0,05 %rh / 2 = 0,025 %rh	Dikdörtgen	0,025 %rh / $\sqrt{3}$ = 0,014 %rh

Standart belirsizlik : $u(\delta\psi_{RefCzn}) = (0{,}01\%rh / 2)/\sqrt{3} = 0{,}003$ %rh

Duyarlılık katsayısı : $c(\delta\psi_{RefCzn}) = 1$

- **Nem Kabini Tüm Değerlerin (Overall) Standart sapma değeri (ψ_{KECOSS})**

  Karakterizasyonu yapılan nem kabininden otuz dakika boyunca dokuz farklı konumda okunan sıcaklık değerleri kullanılarak hesaplanan bağıl nem değerlerinin (270 değer) standart sapma değeri hesaplanır ve belirsizlik bütçesine dahil edilir.

  Dağılımı normal dağılımdır.

- **Nem Kabini Yükleme etkisi ($\psi_{KECY\ddot{u}k}$)**

  Karakterizasyonu yapılan nem kabini yükleme yapılmadan ölçümler alındı ise belirsizlik değeri sıfır (0) olarak alınır. Yükleme yapılarak ölçümler istendiği takdirde boş ve dolu iken alınan ölçümler arsındaki fark belirsizlik bütçesine aktarılır.

  Dağılımı dikdörtgen dağılımdır.

- **Nem Kabini Radyasyon etkisi (ψ_{KECRdy})**

  Karakterizasyonu yapılan nem kabinindeki radyasyon etkisini hesaplamak için merkez noktaya emisivite değeri yüksek olacak şekilde hazırlanmış ikinci termometre ile yapılan ölçümler dikkate alınır. Merkezde bulunan iki termometreden okunan değerler arasındaki fark hesaplanarak belirsizlik bütçesine dahil edilir.

  Dağılımı dikdörtgen dağılımdır.

3.3. Bağıl Nem Belirsizlik Bütçesi

Kalibre edilen Bağıl Nem ve Sıcaklık Ölçer cihazının 11 %rh ve 23 °C'de yapılan karakterizasyon ölçümü için belirsizlik bütçesi tablosu Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Bağıl nem ve sıcaklık ölçer 11 %rh ve 23 °C karakterizasyonu için belirsizlik bütçesi

Belirsizlik Kaynakları				**Kısmi belirsizlikler**					**Duyarlılık Katsayıları**		**Kısmi Varyanslar**		
Tanımı	Sembol	Tah. değeri	Birimi	Sembol	Değr.	Birimi	Dağl.Fnk	Çarpanı	Sembol	Değr.	Birimi	Değeri	Birimi
Referans bağıl nem ölçer	ψ	11,000	%rh										
Kalibrasyon belirsizliği	$\delta\psi_{refkal}$		%rh	$u\delta\psi_{refkal}$	0,52	%rh	Normal	0,50	$C\delta\psi_{refkal}$	1,00E+00	-	6,76E-02	$\%rh^2$
Tekrarlanabilirlik	$\delta\psi_{refrep}$		%rh	$u\delta\psi_{refrep}$	0,019	%rh	Normal	1,00	$C\delta\psi_{refkal}$	1,00E+00	-	3,48E-04	$\%rh^2$
Kayma	$\delta\psi_{refkayma}$		%rh	$u\delta\psi_{refkayma}$	-0,60	%rh	Dikdörtgen	0,58	$C\delta\psi_{refkayma}$	1,00E+00	-	1,20E-01	$\%rh^2$
Kalibre edilen cihaz	ψ	11,00	%rh										
Bağıl nem fluctuation	$\delta\psi_{KECfluc}$		%rh	$u\delta\psi_{KECfluc}$	0,076	%rh	Normal	1,00	$C\delta\psi_{KECfluc}$	1,00E+00	-	5,82E-03	$\%rh^2$
Bağıl nem gradient	$\delta\psi_{KECgrad}$		%rh	$u\delta\psi_{KECgrad}$	0,052	%rh	Normal	1,00	$C\delta\psi_{KECgrad}$	1,00E+00	-	2,66E-03	$\%rh^2$
Buhar basıncı gradient	$\delta\psi_{KECgrad}$		Pa	$u\delta\psi_{KECgrad}$	13,371	Pa	Normal	1,00	$C\delta\psi_{KECsıc}$	3,54E-02	%rh /Pa	2,24E-01	$\%rh^2$
Sıcaklık etkisi	$\delta\psi_{KECsıc}$		°C	$u\delta\psi_{KECsıc}$	0,42	°C	Normal	0,50	$C\delta\psi_{KECsıc}$	7,08E-01	%rh /°C	2,21E-02	$\%rh^2$
Çözünürlüğü	$\delta\psi_{KECçöz}$		%rh	$u\delta\psi_{KECçöz}$	0,01	%rh	Dikdörtgen	0,577	$C\delta\psi_{KECçöz}$	1,00E+00	-	8,33E-06	$\%rh^2$
Tekrarlanabilirlik	$\delta\psi_{KECtekrar}$		%rh	$u\delta\psi_{KECtekrar}$		%rh	Normal	1,00	$C\delta\psi_{KECtekrar}$	1,00E+00	-	0,00E+00	$\%rh^2$
Overall mean stdsapma	$\delta\psi_{KECoverall}$		%rh	$u\delta\psi_{KECoverall}$	0,005	%rh	Normal	1,000	$C\delta\psi_{KECyük}$	1,00E+00	-	2,31E-05	$\%rh^2$
Yükleme etkisi	$\delta\psi_{KECyük}$		%rh	$u\delta\psi_{KECyük}$	0,00	%rh	Dikdörtgen	0,577	$C\delta\psi_{KECyük}$	1,00E+00	-	0,00E+00	$\%rh^2$
Radyasyon etkisi	$\delta\psi_{KECrad}$		%rh	$u\delta\psi_{KECrad}$	0,06	%rh	Dikdörtgen	0,577	$C\delta\psi_{KECrad}$	1,00E+00	-	1,38E-03	$\%rh^2$
								TOPLAM VARYANS			u_{RH}^2 =	0,44	$\%rh^2$
Düzeltme Değeri	$\Delta\psi$	**0,00**	%rh					**Standart Belirsizlik**			u_{RH} =	0,67	%rh
Sertifika Değeri	ψ = (	**11,00**	**±**	**1,33**	) %rh			**Genişletilmiş Belirsizlik, k=2**			U_{RH} =	1,33	%rh

- **Bileşik Belirsizlik**

Bileşik belirsizlik Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanır.

$$u_c(C_x)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} c_i^2\, u^2(x_i)} \quad (5)$$

$$c_i=\frac{\partial C_x}{\partial x_i}$$

$$u_c(C_x)=\sqrt{(0{,}80)^2+(0{,}06)^2+(0{,}003)^2+(0{,}007)^2+(1{,}4)^2+(0{,}074)^2+(0{,}03)^2+(0{,}14)^2+(0{,}32)^2}$$

$u_c(C_x)$=0,67 %rh

- **Genişletilmiş Belirsizlik**

Genişletilmiş belirsizlik k = 2 kapsam faktörü için Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanır.

$$U(C_x)=k\times u_c(C_x) \quad (6)$$

$U(C_x)$ = 2 × 0,67 %rh = 1,33 %rh

SONUÇ

Nem kabinlerinin karakterizasyonu ölçümlerinde makalede verilen standartlar ve kılavuz dokümanlar dikkate alınarak ölçümler ve hesaplamalar yapılmalıdır. Bu kapsamda, nem kabini karakterizasyon ölçümleri sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ve örnek belirsizlik hesaplaması verilmiştir.

Ülke genelindeki tüm ikinci seviye akredite laboratuvarların nem kabini karakterizasyonu ölçümlerini ilgili standartlara göre yapmaları ve belirsizlik bütçelerinde makalede verilen belirsizlik bileşenlerinin yer alması gerekmektedir. Bu makalede verilen nem kabinine ait karakterizasyon ölçümlerine özgü belirsizlik parametreleri, her belirsizlik bütçesinde mutlaka yer almalıdır. Ölçümlere ait belirsizlik parametrelerine, kullanılan referans cihazlara veya sistemlere özgü diğer belirsizlik bileşenleri de ayrıca ilave edilmelidir. Bazı laboratuvarlarda bu bileşenlerin bütçeye dahil edilmediği ve kapsam belirsizliklerinin olması gereken değerden daha düşük hesaplandığı görülmektedir. Laboratuvarların hazırladığı belirsizlik bütçelerindeki bileşenlerin eksik veya hatalı olması yanlış hesaplamalara yol açmaktadır.

Nem kabini kullanıcılarının makale ve ilgili standartlar çerçevesinde yapacakları ölçüm ve belirsizlik hesaplamaları sonucunda bağıl nem ölçümlerinin harmonizasyonuna doğru şekilde katkı sağlanması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] BS EN 60068-3-5: 2018, Environmental Testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature chambers
[2] BS EN IEC 60068-3-6: 2018, Environmental Testing - Part 3-6: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature / humidity chambers
[3] BS EN 60068-3-11: 2007, Environmental Testing - Part 3-11: Supporting documentation and guidance - Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers
[4] EURAMET Calibration Guide No. 20, Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures, Version 5.0 (09/2017)
[5] DKD Guideline DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers, Edition 07/2004, English translation 02/2009
[6] IEC 60068-1, Environmental testing - Part 1: General and guidance, 2014
[7] BS EN 60068-3-1, Environmental testing - Part 3: Background information – Section 1: Cold and dry heat tests, 1999
[8] OĞUZ AYTEKİN, S., “İklimlendirme Kabinleri Karakterizasyon Ölçümleri ve Belirsizlik Hesaplamaları”, TÜBİTAK UME Eğitim Dokümanı, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Seda OĞUZ AYTEKİN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik ABD'da Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak göreve başlamış, 1999 yılında Nem Laboratuvarında çalışmalarına devam etmiştir. Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı kurulumu çalışmalarının yanı sıra “Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı Eğitim” dokümanı, “Akreditasyon için Teknik Şartlar – Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı”, “Kalibrasyon Periyotlarının Belirlenmesi”, “Theory of Heat Pipe Blackbody”, “Tungsten Şerit Lamba Ölçümü ve Karakterizasyonu”, “SÜN Siyah Cisim (SÜNBB) Yapımı ve Karakterizasyonu” v.b. konularda iç ve dış yayınlar hazırlamıştır. Kontak Sıcaklık Laboratuvarı'nda da SÜN yapımı, ısılçift üretimi ve kalibrasyonu, “Sabit Nokta Dolum Sistemi Kurulumu” v.b. projelerde

çalışmıştır. “Isılçift Referans EMK Tabloları” v.b. yayınlar hazırlamıştır. Nem Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak çalışmalarına devam etmektedir, EURAMET TC-T Nem Alt Grubu ve BIPM CCT-WG-Hu Nem Çalışma Grubu UME temsilcisidir. “Nem Laboratuvarı Eğitim” dokümanı, “Nem Kaynağı Karakterizasyonu ve Kalibrasyonu”, “Bağıl Nem Ölçer Karakterizasyonu”, “Kağıt ve Toz Malzemelerde Rutubet Ölçümleri, Örnekleme (Sampling) ve Belirsizlik Hesaplamaları” v.b. konularda iç ve dış yayınları bulunmaktadır. 2014 yılında Yeditepe Üniversitesinden Doktor unvanını "Nanosilisyum Nem Algılayıcılarının Üretimi ile Elektriksel ve Spektroskopik Karakterizasyonları" başlıklı tez çalışmasını tamamlayarak almıştır. TÜRKAK akreditasyon denetimlerinde ISO/IEC 17025 standardına göre sıcaklık ve nem alanlarında denetçi olarak görev yapmaktadır. Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanında çeşitli makaleleri ve EURAMET kapsamında katılım sağladığı uluslararası projeleri bulunmaktadır. Ayrıca Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanlarında ulusal ve uluslar arası Danışmanlık ve Eğitim hizmetleri vermektedir.

TÜBİTAK UME'DE NEM METROLOJİ PROJELERİ KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Seda OĞUZ AYTEKİN

ÖZET

Bu çalışmada, TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı'nın Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği EURAMET koordinasyonunda Avrupa Metroloji Araştırma Programı - EMRP ve Avrupa Yenilik ve Araştırma Metroloji Programı – EMPIR çerçevesinde katılım sağladığı projelerin detayları, elde edilen kazanımlar ve sonuçlar verilmiştir.

Nem ve rutubet metrolojisi alanında METefnet – "Malzemede Rutubet Ölçümleri", MeteoMet2 – "Meteoroloji için Metroloji" ve HUMEA – "Nem Ölçümlerinde Avrupa Araştırma Kabiliyetlerinin Genişletilmesi" projeleri katılım sağlanan projelerdir.

Anahtar Kelimeler: EMPIR, EMRP, EURAMET, Nem metrolojisi, Proje, Rutubet metrolojisi.

ABSTRACT

In this study, the details, achievements and results of the projects that TÜBİTAK UME Humidity Laboratory participated in the framework of the European Metrology Research Program - EMRP and the European Innovation and Research Metrology Program - EMPIR under the coordination of EURAMET - The European Association of National Metrology Institutes are given.

METefnet – "Moisture Measurements in Materials", MeteoMet2 – "Metrology for Meteorology" and HUMEA – "Expanding European Research Capabilities in Humidity Measurements" are the humidity and moisture metrology projects participated in.

Key Words: Humidity metrology, EMPIR, EMRP, EURAMET, Moisture metrology, Project.

1. GİRİŞ

Avrupa metroloji araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin entegrasyonu ve koordinasyonu Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği EURAMET tarafından yürütülmektedir. EURAMET'in misyonu Avrupa için bütünleşik, uygun maliyetli ve uluslararası rekabetçi bir ölçüm altyapısı geliştirmek ve yaymaktır. EURAMET, üye ülkeleri ulusal gereksinimlerini karşılama ve dengeli bir Avrupa ölçüm altyapısının oluşturulması konularında desteklemektedir. Buna ek olarak, EURAMET ve üye ülkeler için en büyük önceliklerden biri metrolojinin topluma faydalarını arttırmak ve aktarmaktır.

Bu hedeflere ulaşmak için kurulan Avrupa Metroloji Araştırma Programı (EMRP) ve Avrupa Yenilik ve Araştırma Metroloji Programı (EMPIR) ile 2019 yılına kadar 100'den fazla araştırma projesi tamamlanmıştır. EMPIR girişimi, Avrupa Birliği Horizon 2020 Araştırma ve Yenilik Programı EMPIR ile katılımcı devletler tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir. [1, 2].

Nem Metrolojisi alanında katılım sağlanan projeler aşağıda yer almaktadır:

1. METefnet – “Malzemede Rutubet Ölçümleri” (2013-2016) [3]
2. MeteoMet2 – “Meteoroloji için Metroloji” (2014-2017) [4]
3. HUMEA – “Nem Ölçümlerinde Avrupa Araştırma Kabiliyetlerinin Genişletilmesi” (2016-2019) [5]

2. EMRP ve EMPIR PROJE DETAYLARI

TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı'nın EURAMET kapsamında 2006 ile 2019 yılları arasında katılım sağladığı projelerin detayları aşağıda özetlenmiştir.

2.1 EMRP METefnet – “Malzemede Rutubet Ölçümleri” (2013-2016)

Üretim hattındaki malzemede veya nihai üründeki uygun düzeydeki rutubet miktarının kontrolü ve ölçümünün enerji, zaman ve çevre etkisi yadsınamaz. Ancak günümüzde kullanılan ölçüm ve kalibrasyon teknikleri karmaşık ve birbiri ile uyumlu değildir. 1300’den fazla basılı standart olmasına rağmen ölçüm yapılan büyüklüğün farklı olması, eksik belirsizlik hesaplamaları ve yetersiz izlenebilirlik, bu proje kapsamında yapılacak araştırmaların temelini oluşturmaktadır.

Uluslararası ölçüm sistemine izlenebilir etkin ve daha uygun yöntemler ile bu farklılıkların ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

Projeye MIKES - Finlandiya, BRML - Romanya, CETIAT - Fransa, CMI - Çek Cumhuriyeti, DTI - Danimarka, INRIM - İtalya, NPL - İngiltere, TUBITAK - Türkiye, UL – Slovenya ve UT -Estonya metroloji enstitüleri katılım sağlamıştır.

TÜBİTAK UME, katı yakıt olarak kullanılan sıkıştırılmış talaş, farklı gramajlarda mukavva ve toz formunda malzemeler ile proje ortaklarının da yer aldığı karşılaştırmalara katılım sağlamıştır. Karşılaştırma sonuçlarında elde edilen başarı dikkate alındığında numune seçimi ve örnekleme konularında yapılan çalışmalara istinaden hazırlanan ölçüm prosedür ve talimatlarının uygun olduğu görülmüştür.

Projenin tamamlanması sonrasında, TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı tarafından kağıt ve kağıt ürünlerinin rutubet miktarı kalibrasyonları ile rutubet ölçümleri eğitimi hizmetleri verilmeye başlanmıştır.

2.2 EMRP MeteoMet2 – “Meteoroloji için Metroloji” (2014-2017)

Temel İklim Değişkeni (TİD), Dünya ikliminin karakterizasyonuna kritik olarak katkıda bulunan fiziksel, kimyasal veya biyolojik bir değişkendir. TİD'ler atmosferdeki su buharını, yüzey ve derin deniz sıcaklığını, okyanus tuzluluğunu, hava sıcaklığını, yağış ve toprak nemini içerir. Bu proje çalışmasından önce, anılan etkenlerin uzun vadeli, yüksek kaliteli gözlemleri mevcut değildi. Ancak toplumun iklim değişikliğinden giderek daha fazla etkilenmesi nedeniyle bu etkenlerin hayati önem taşıdığı görülmüştür. Bu proje, iklim TİD’lerini farklı koşullar altında izlemek için kullanılan sensörlerin performansını araştırmak, yeni ölçüm yöntemleri ve standartları üretmek amacıyla başlatılmıştır. Sonuçlar, tarım, enerji ve ulaştırma gibi Avrupa endüstrilerine fayda sağlayacak ve halk sağlığına yönelik tehdidi azaltacak olan temel iklim değişkenlerinin izlenmesini iyileştirecektir.

Bu proje kapsamında toprak rutubet miktarı ölçümlerinin güvenilirliğini etkileyen faktörleri incelemek ve bu ölçümlerin iyileştirilmiş SI izlenebilirliği ihtiyacını ve potansiyelini araştırmak için Türkiye ve Finlandiya metroloji enstitüleri işbirliğinde ölçümler yapılmıştır. Toprak rutubet miktarı ölçümleri hem laboratuvarda hem de sahada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda beş farklı toprak rutubet ölçer kullanılmıştır. Referans ölçümler, kütle kaybı yöntemi ve toplam 21 farklı numune kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, numune alma işlemlerinin ölçüm belirsizliğine büyük ölçüde etkisi olduğunu göstermiştir. Ayrıca örnek sıkıştırma etkisinin daha fazla çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu proje kapsamında gerçekleştirilen diğer çalışmada, meteoroloji istasyonlarında kullanılan bağıl nem ve hava sıcaklık ölçerlerin histeresis belirsizlik bileşeni hesaplaması için ölçümler ve analizler Türkiye ve Fransa metroloji enstitüleri işbirliğinde yapılmıştır.

Meteorolojik ölçümlerde kullanılan bağıl nem ve hava sıcaklık sensörlerinin "radyasyon koruması" kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda histeresis etkisini incelenmek amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hazırlanan rapor ile histerezis belirsizlik parametresinin tahmini hakkında teknik bilgi ve rehberlik sağlanmıştır.

2.3 EMPIR HUMEA – "Nem Ölçümlerinde Avrupa Araştırma Kabiliyetlerinin Genişletilmesi" (2016-2019)

Bu projenin genel amacı, katılımcı metroloji enstitülerinin (NMI / DI) nem ölçümleri alanındaki ölçüm ve araştırma yeteneklerini geliştirmek veya genişletmektir. Konsorsiyumdaki metroloji enstitüleri müşterilerinden nem ölçümündeki belirsizliklerin düşürülmesi konusunda geri bildirim almaktadırlar. Bu durum, bağıl nem ve çiy-noktası ölçümlerindeki belirsizliğin iyileştirilmesi için acil bir ihtiyacı ortaya çıkarmıştır.

Bu projenin en önemli bilimsel ve teknik amaçları aşağıda özetlenmiştir:

1. Projeye katılan gelişmekte olan ülkelerdeki metroloji enstitülerinde nem ölçümü alanındaki mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları belirlemek.

2. Bağıl nem cihazlarının kalibrasyonu için bir iç kabinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu yoluyla nem alanındaki ölçüm belirsizliklerini iyileştirmek. Hedef belirsizlikler, 10 %rh ile 95 %rh bağıl nem aralığı için 0.3 %rh ile 2 %rh arasındadır.

3. Katılımcıların ölçüm becerilerini ve geliştirilen prosedürleri desteklemek ve doğrulamak için iç kabini kullanarak bağıl nem ölçümleri alanında laboratuvarlar arası karşılaştırmayı gerçekleştirmek.

Proje kapsamında belirsizliklerin iyileştirilmesi amacıyla tasarımı ve karakterizasyonu yapılan iç kabinin, belirsizliklerin iyileştirilmesi amacıyla kullanımının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca iç kabin kullanılarak laboratuvarlar arası karşılaştırma tamamlanmıştır. Ayrıca, TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı strateji dokümanı, projede yer alan gelişmekte olan ülkelerin metroloji enstitüleri ile paylaşılarak projeye katkı sağlanmıştır.

SONUÇ

Bu bildiride EURAMET koordinasyonunda EMRP ve EMPIR çerçevesinde 2013 ile 2019 yılları arasında TÜBİTAK UME Nem Laboratuvarı tarafından katılım sağlanan projelerin detayları, elde edilen kazanımlar ve sonuçlar özet olarak verilmiştir.

Projeler nem ve rutubet miktarı ölçümlerinde metroloji enstitüleri tarafından belirlenen problemlerin çözümlenmesi amacıyla ortak işbirliği çerçevesinde geliştirilmiş ve başarıyla tamamlanmıştır. Projelerden elde edilen bilgiler kalibrasyon, eğitim ve danışmanlık hizmetleri olarak paydaşlarımıza ulaştırılmaya çalışılmaktadır.

Projeler hakkında detaylı bilgilere, projelerin internet sayfalarından ulaşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] https://www.euramet.org/
[2] https://msu.euramet.org/calls.html
[3] https://www.metef.net/
[4] https://www.meteomet.org/
[5] http://www.humea-empir.org/

ÖZGEÇMİŞ

Seda OĞUZ AYTEKİN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik ABD'da Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak göreve başlamış, 1999 yılında Nem Laboratuvarında çalışmalarına devam etmiştir. Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı kurulumu çalışmalarının yanı sıra “Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı Eğitim” dokümanı, “Akreditasyon için Teknik Şartlar – Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı”, “Kalibrasyon Periyotlarının Belirlenmesi”, “Theory of Heat Pipe Blackbody”, “Tungsten Şerit Lamba Ölçümü ve Karakterizasyonu”, “SÜN Siyah Cisim (SÜNBB) Yapımı ve Karakterizasyonu” v.b. konularda iç ve dış yayınlar hazırlamıştır. Kontak Sıcaklık Laboratuvarı'nda da SÜN yapımı, ısılçift üretimi ve kalibrasyonu, “Sabit Nokta Dolum Sistemi Kurulumu” v.b. projelerde çalışmıştır. “Isılçift Referans EMK Tabloları” v.b. yayınlar hazırlamıştır. Nem Laboratuvarı'nda Başuzman Araştırmacı olarak çalışmalarına devam etmektedir, EURAMET TC-T Nem Alt Grubu ve BIPM CCT-WG-Hu Nem Çalışma Grubu UME temsilcisidir. “Nem Laboratuvarı Eğitim” dokümanı, “Nem Kaynağı Karakterizasyonu ve Kalibrasyonu”, “Bağıl Nem Ölçer Karakterizasyonu”, “Kağıt ve Toz Malzemelerde Rutubet Ölçümleri, Örnekleme (Sampling) ve Belirsizlik Hesaplamaları” v.b. konularda iç ve dış yayınları bulunmaktadır. 2014 yılında Yeditepe Üniversitesinden Doktor unvanını "Nanosilisyum Nem Algılayıcılarının Üretimi ile Elektriksel ve Spektroskopik Karakterizasyonları" başlıklı tez çalışmasını tamamlayarak almıştır. TÜRKAK akreditasyon denetimlerinde ISO/IEC 17025 standardına göre sıcaklık ve nem alanlarında denetçi olarak görev yapmaktadır. Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanında çeşitli makaleleri ve EURAMET kapsamında katılım sağladığı uluslararası projeleri bulunmaktadır. Ayrıca Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanlarında ulusal ve uluslar arası Danışmanlık ve Eğitim hizmetleri vermektedir.

STANDART OLMAYAN AĞIRLIKLARIN KALİBRASYONU

M. Barış TUĞCU
Semih YAZICI
Uğur YÜCESAN

ÖZET

Günümüzde üretim, deney ve ölçümün her alanında kullanılan ağırlıkların değerlerinin doğru bir şekilde bilinebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple Uluslararası Yasal Metroloji Organizasyonu (OIML) tarafından metrolojik ve teknik gereksinimleri tanımlanmış olan ağırlık standartları mevcuttur. OIML tarafından belirlenmiş olan bu standartlar, tavsiye niteliğinde olsa da dünya genelinde tam olarak uygulanmamaktadır. Ancak 74/148/EEC Avrupa Direktifi ile ülkemizin de kabul ettiği Avrupa yasaları tarafından kabul edilmiştir. OIML tarafından tanımlanmamış nominal değeri bilinen veya bilinmeyen ağırlıkların kalibrasyon ve doğrulaması ise kabul görmüş bir prosedür dahilinde yapılmamaktadır. Bu çalışmada, NISTIR 6969 dokümanı temel alınarak, ağırlık merkezi tahmin edilebilen, yoğunluğu sabit ve homojen olan ağırlıkların kalibrasyonlarına yönelik bir prosedür tanımlanmıştır. Prosedür doğrultusunda E1 sınıfı referans ağırlıklar ile gerçekleştirilen örnek kalibrasyon ve hesaplamaların, OIML R111 dokümanı ile uyumlu olduğu, bu dokümanda verilen malzeme bilgileri ve çevrim sayıları ile uyarlı olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçların ülkemiz dahilinde kütle kalibrasyonu hizmeti veren kuruluş ve laboratuvarlar tarafından faydalı olacağı, uygulamalar arasındaki farklılık ve kopukluğun giderilmesi yönünde bir adım atılacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Standart olmayan ağırlıklar, Nominal değeri belli olmayan ağırlıklar, Kütle kalibrasyonu.

ABSTRACT

Today, it is of great importance to know the values and accuracy of weights used in all areas such as production, test and measurement. For this reason, there are weight standards which the metrological and technical requirements defined by the International Organization for Legal Metrology (OIML). These standards, set by the OIML, are not fully implemented worldwide, since they are just for recommendation. However, the European directive 74/148 / EEC has been adopted by the European laws of which Turkey is a member. Calibration and verification of non-OIML weights not defined by OIML is not performed within an accepted procedure. In this study, based on NISTIR 6969 document, a procedure for calibrating the weights of which the center of gravity is predictable, the density is constant and homogeneous is defined. In accordance with the procedure, sample calibration and calculations with E1 class reference weights were observed to be in compliance with the OIML R111 document and it was observed that the material information and cycle numbers given in this document were appropriate. It is thought that the results will be useful by organizations and laboratories providing mass calibration services in our country, and a step will be taken towards eliminating the differences and disparities between applications.

Keywords: Nonstandard weights, Weights without nominal value, Mass calibration.

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere kütle birimi kilogramın tanımı 2018 yılına kadar maddi bir ölçüte bağlı kalınarak Uluslararası Kilogram Prototipi (IPK) aracılığı ile yapılıyordu. Referans standardı % 90 Platin ve % 10 İridyum alaşımından, 39 mm yüksekliğinde ve 39 mm çapında silindir şeklinde imal edilmiş olan, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nda (BIPM) üç cam fanus içerisinde muhafaza edilen ve erişimi Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi'nin (CIPM) sıkı denetimiyle kontrol edilen Kilogram birimi "IPK'nin kütlesine eşittir" şeklinde tanımlanmaktaydı. Bu tanım yapılırken IPK kütlesinde hiçbir değişimin olmadığı varsayılmış, değişimin test edilebilirliği mümkün olmamakla birlikte, kilogram birimi için izlenebilirlik yalnızca BIPM tarafından sağlanabilmiştir.

TÜBİTAK UME'nin de yer aldığı ve 14-16 Kasım 2018 tarihlerinde Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun (BIPM) evsahipliğinde Fransa'nın Versailles kentinde gerçekleştirilen 26. Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansında (CGPM) içerisinde kilogramın da yer aldığı dört temel birimin tanımlarındaki değişiklikler oybirliğiyle kabul edilmiştir. Buna göre kilogram biriminin yeni tanımı Planck sabiti sayısal değeri h = 6,626070015 × 10-34 kg m^2 s^{-1} alınarak yapılmıştır. Bu tanımda SI birimlerinden metre ışığın vakumdaki hızı (c) ile saniye ise Sezyum-133 atomunun ince yapı seviyeleri arasındaki geçiş frekansı (∆ν_Cs) ile tanımlanmaktadır. Dolayısıyla kilogram yeni tanımı metre ve saniye ile ilişkilendirilmiştir. Yeni tanımla birlikte değeri evrensel bir sabit ile belirlenmiş olan kilogram biriminin izlenebilirliğinin BIPM tarafından verilmesi zorunluluğu ortadan kalkmıştır [1].

Kütle kalibrasyonunda referans doküman olarak kullanılan OIML R111-1 veya ASTM E617 gibi rehber ve standartlar, kalibrasyonu yapılacak olan ağırlığa ait şekil, imalat, malzeme, manyetiklik, yoğunluk, yüzey koşulları, ayar ve işaretleme hususlarını barındıran çeşitli teknik gereksinim ve şartlar barındırmaktadır. Ancak üretimin kimi aşamaları ve bazı deneylerde, bahsi geçen standartların kapsamında olmayan çok farklı şekil ve özellikte ağırlıklar kullanılmaktadır. Bu ağırlıklara ait çeşitli örnekler, Şekil 1'de gösterilmiştir.

a. Yarıklı çelik ağırlıklar

b. Kavrama kollu ağırlıklar

c. Kancalı ağırlıklar

d. Çubuk ağırlıklar

Şekil 1. Standart olmayan ağırlık çeşitleri

Bu tip ağırlıkların konvansiyonel kütle değerlerinin belirlenebilmesi için öncelikle aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir:

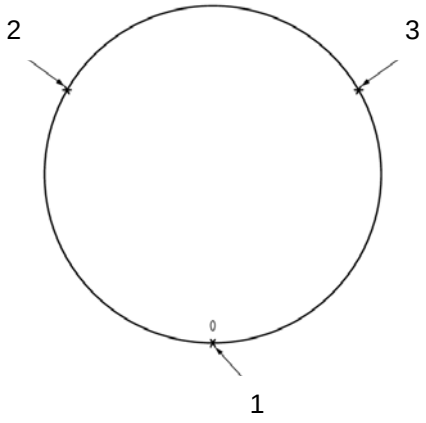
1.1 Test Ağırlığının Ağırlık Merkezi

Kütle kalibrasyonu esnasında referans veya test ağırlıklarının ağırlık merkezlerinin doğru tespit edilmesi, ölçüm sonuçlarının güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Standart ağırlıklar için bunun tespiti oldukça kolaydır, zira bu tip ağırlıklar üretim esnasında ilgili rehber veya standardın bu şartını sağlamak durumundadır ve ağırlığın tam ortasında olduğu kabul edilmektedir.

$\delta(x,y,z)$ yoğunluğuna sahip herhangi bir katı maddenin G'nin ağırlık merkezi $(\bar{x},\bar{y},\bar{z})$, üçlü integral alınarak aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$\bar{x} = \frac{1}{M}\iiint_G x\delta(x,y,z)dV,$$
$$\bar{y} = \frac{1}{M}\iiint_G y\delta(x,y,z)dV,$$
$$\bar{z} = \frac{1}{M}\iiint_G z\delta(x,y,z)dV$$

Bu matematiksel yöntem, maliyet ve zaman açısından kalibrasyonu yapılan her ağırlık için kullanıma uygun değildir. Bu sebeple kullanılabilecek bir yöntem, test ağırlığının Şekil 2'de gösterildiği gibi kuvvet kalibrasyonuna benzer bir şekilde en az 3 çevrime tabi tutulması ve her bir çevrimde belirlenmiş bir noktası terazi kefesi üzerinde 120º döndürülerek ölçümlerin alınmalısıdır [2].



Şekil 2. Test ağırlığının terazi kefesi üzerinde konumlandırılacağı pozisyonlar

Elde edilen ölçüm sonuçlarının ortalaması, hesaplamalarda test ağırlığının değeri olarak kullanılmalıdır. Bu yöntem ile ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için kullanılan terazinin tekrarlanabilirliği bilinmeli, gerekirse düzeltme yapılmalıdır.

1.2 Test Ağırlığının Yoğunluğu

Kalibrasyona başlamadan önce test ağırlığının yoğunluğu tespit edilmeli, alaşımın malzemesi biliniyorsa OIML R111-1 Tablo B.7'deki yoğunluk ve yoğunluk belirsizliği değerleri kullanılmalıdır. Aynı zamanda test ağırlığının yoğunluğunun hacim içerisinde homojen bir şekilde dağılmış olması gerekmektedir [3].

2. KONVANSİYONEL KÜTLE HESABI

Kullanılan ağırlıkların sınıfları TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nün referans standartları olan E_1 sınıfı (1 g – 10 kg), E_2 sınıfı (10 kg – 20 kg) ve F_1 sınıfı (20 kg – 60 kg) ağırlık setleridir. Standart olmayan ağırlıkların kalibrasyonuna ilişkin bu yöntemde yaklaşım, 1 g ve üzeri ağırlıklar kullanılarak yapılmaktadır (örn. terazide 26,125809 g gösteren bir test ağırlığına karşılık 1 adet 20g, 1 adet 5 g ve 1 adet 1 g ağırlık referans ağırlık olarak kabul edilmektedir). Daha küçük ağırlıkların kullanılması gerçeğe daha yakın bir ölçüm sonucu edilmesini sağlayacaktır ancak kullanılan referans ağırlık adedi arttığı için ölçüm belirsizliği de bir miktar büyüyecektir. Ölçümler açısından asıl zorluk, 1 g'dan küçük ağırlıkların terazi kefesi üzerine diğer ağırlıklar ile birlikte konmasının toplam ağırlık merkezini bozma ihtimalidir zira bu ağırlıkların merkezi bir şekilde yerleştirilmesi daha güç olacaktır.

Bu tip bir kalibrasyon işleminde Bölüm 1.1'de bahsedildiği üzere en az 3 adet ABBA (RTTR) çevrimi yapılması güvenilir bir ölçüm sonucu için minimum çevrim sayısı olarak kabul edilmelidir. Hedeflenen hassasiyet ve ölçüm belirsizliği değerine göre bu sayı arttırılabilir.

Kalibrasyon öncesi ve esnasında kaydedilmesi gereken bilgiler şunlardır:

- Referans ağırlıkların konvansiyonel kütle değerleri toplamı (ilgili kalibrasyon sertifikalarından)
- Referans ağırlıkların ölçüm belirsizliği değerleri toplamı (ilgili kalibrasyon sertifikalarından)
- Referans ağırlıkların kayma değerlerinin toplamı
- Referans ağırlıkların kayma değerlerinin belirsizliği
- Test ve referans değerler arasındaki tartım farkı
- Ortam sıcaklık değeri
- Ortam nem değeri
- Ortam basınç değeri
- Test ağırlığına ait yoğunluk değeri
- Test ağırlığının yoğunluğunun ölçüm belirsizliği değeri
- Kullanılan terazinin çözünürlüğü
- Kullanılan terazinin performansından gelen belirsizlik değeri
- Kullanılan terazinin köşe yükü hatası

Kalibrasyonu yapılacak olan test ağırlığının konvansiyonel kütlesi, aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenir [4]:

$$m_{ct} = \frac{M_D\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}\right)}$$

Burada,

$$M_D = m_{cr} + \Delta m_c$$

m_{cr} referans ağırlıkların konvansiyonel kütle değeri
Δm_c tartım farkı
ρ_a havanın yoğunluğu
ρ_r referans ağırlıkların yoğunluğu
ρ_t test ağırlığının yoğunluğu

Bu çalışmada havanın yoğunluğu hesabı için sadeleştirilmiş CIPM eşitliği kullanılmaktadır [3]:

$$\rho_a = \frac{[(0{,}348444 \times P) - h(0{,}00252 \times t - 0{,}020582)]}{(273{,}15 + t)}$$

Elde edilen hava yoğunluğuna ait belirsizlik değeri, her bir değişkenin ρ_a'ya göre kısmi türevlerinin alınarak ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$u_{\rho_a} = 2 \times \sqrt{u_t{}^2 + u_P{}^2 + u_h{}^2}$$

Test ağırlığına ait toplam ölçüm belirsizliği ise, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$u_{m_{ct}} = 2\sqrt{u_{m_{cr}}^2 + u_{mcrD}^2 + u_{\rho_a}^2 + u_{\rho_r}^2 + u_{\rho_t}^2 + u_{\delta d}^2 + u_e^2}$$

Burada,

$u_{m_{cr}}$ Referans ağırlıkların sertifika belirsizliği (izin verilebilen en büyük hata miktarları)
u_{mcrD} Referans ağırlıkların kaymasından gelen ölçüm belirsiliği,
u_{ρ_a} Havanın yoğunluğunun belirsizliği
u_{ρ_r} Referans ağırlıkların yoğunluğunun belirsizliği
u_{ρ_t} Test ağırlığının yoğunluğunun belirsizliği
$u_{\delta d}$ Terazinin çözünürlüğünden gelen belirsizlik
u_e Terazinin doğrusallık ve merkezden sapmadan gelen belirsizlik

Aşağıda örnek bir konvansiyonel kütle ve ölçüm belirsizliği hesabı verilmiştir:

Ön bilgiler:

m_{cr}	:	682	*g*
u_{mcr}	:	0,371	*mg*
Δm_c	:	0,1254	*g*
Sıcaklık	:	21,4	*ºC*
Nem	:	46,4	*%rh*
Basınç	:	1019,24	*mbar*
Test ağırlığı yoğ.	:	8000	*kg/m3*
Test ağ. yoğ. bel.	:	30	*kg/m3*
Terazi çözünürlüğü	:	0,0002	*g*

Tablo 1. Hava Yoğunluğu Belirsizlik Bütçesi

Miktar	**Tahmini Değer**		**Standart Belirsizlik**		**Olasılık Dağılımı**	**Hassasiyet**		**Belirsizlik Katkısı**	
X_i	x_i		$U(x_i)$			c_i		$U_i(y)$	
p	1019,24	*mbar*	2,5	*mbar*	normal	0,001182971	*kg/m³ /mbar*	0,00295743	*kg/m³*
hr	46,4	*%Rh*	0,75	*%Rh*	normal	-0,00011321	*kg/m³ /%Rh*	8,4907E-05	*kg/m³*
T	21,4	*°C*	0,25	*°C*	normal	-0,00447261	*kg/m³ /°C*	0,00111815	*kg/m³*
δf_a	0	*kg/m³*	0,000138619	*kg/m³*	dikdört-gensel	1		0,00013862	*kg/m³*
ρ_a	1,200478045	*kg/m³*	k = 1					0,00316592	*kg/m³*
ρ_a	1,200478045	*kg/m³*	k = 2					0,00633184	*kg/m³*

Tablo 2. Konvansiyonel Kütle Değeri ve Belirsizlik Bütçesi

$m_{ct} \approx M_D(1-\rho_a/\rho_B)/(1-\rho_a/\rho_x)$ *									
Miktar	**Tahmini Değer**		**Standart Belirsizlik**		**Olasılık Dağılımı**	**Hassasiyet**		**Belirsizlik Katkısı**	
X_i	x_i		$U(x_i)$			c_i		$U_i(y)$	
mcr	682,1254	*g*	0,1292101	*mg*	normal	0,001		0,000129	*g*
δmcr_D	0	*mg*	0,074599486	*mg*	dikdörtgensel	0,001		0,000075	*g*
ρ_a	0,00120048	*g/m3*	1,20048E-06	*g/m3*	normal	-0,5364	$\frac{g}{m^3/g}$	0,000001	*g*
ρ_r	7,95	*g/m3*	7,950	*g/m3*	normal	1,2958E-05	$\frac{g}{m^3/g}$	0,000103	*g*
ρ_t	8	*g/m3*	0,14	*g/m3*	normal	-0,00127969	$\frac{g}{m^3/g}$	0,000179	*g*
δd	0,0002	*g*	8,16497E-05	*g*	dikdörtgensel	*1*		0,000082	*g*
e	0,00016	*g*	4,6188E-05	*g*	dikdörtgensel	*1*		0,000046	*g*
Δm_c	0,1254	*g*	0,0002	*g*	normal	*1*		0,000200	*g*
m_{ct}	682,250156	*g*	k = 1					0,000337	*g*
m_{ct}	682,250156	*g*	k = 2					0,000675	*g*
* $M_D = mcr + \Delta mc$									

SONUÇ

Oluşturulan bu metoda göre TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Kütle Kalibrasyon Laboratuvarı'nda referans ağırlık olarak E1 sınıfı ağırlık seti seçilerek, laboratuvar kapsamı olan 1 g – 60 kg aralığı için bu hesaplamalar dört adet komparatör terazi dikkate alınarak yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre en düşük ölçüm belirsizlikleri her bir aralık için aşağıda verildiği gibi bulunmuştur:

Tablo 3. TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Kütle Kalibrasyon Laboratuvarı'na Ait Standart Olmayan Ağırlıklar için En İyi Ölçüm Belirsizliği Değerleri

Ölçüm Aralığı	**Referans Ağırlık Sınıfı**	**Komparatör Terazi**	**Ölçüm Belirsizliği (k=2)**
1 g ≤ m ≤ 31 g	E_1	Sartorius, CCE 36	0,02 mg
31 g < m ≤ 510 g	E_1	Sartorius, CCE 1005	0,05 mg
510 g < m ≤ 5100	E_1	Sartorius, CCE 5004	0,44 mg
5100 g < m ≤ 10000 g	E_1	Mettler Toledo, XP 64003L	5,8 mg
10000 g < m ≤ 20000 g	E_2	Mettler Toledo, XP 64003L	19,8 mg
20000 g < m ≤ 60000 g	F_1	Mettler Toledo, XP 64003L	117 mg

Sonuçların, OIML R111-1'de verilen E_2, F_1 ve M_1 sınıfı ağırlıkların sahip olabileceği en küçük hata miktarları değerlerinden daha büyük olması beklenmektedir. Tablo 3'te verilmiş ölçüm belirsizliği değerlerinin de bu beklentiye uygun olduğu görülmektedir. Bu, test ağırlıklarına ait yoğunluk ve yoğunluk belirsizliği, merkezden sapma ve terazi performansı gibi değişkenlerin, standart ağırlıklara ait değişkenlere göre daha büyük olması sebebiyle beklenen bir durumdur ve sonuçların uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Açıklanan bu yöntem ile birlikte ülkemizde kütle kalibrasyonu alanında hizmet veren kuruluş ve laboratuvarların standart olmayan ağırlıkların kalibrasyonu faaliyetini kapsamlarına alması, var olan kapsamlar arasında görülen uyumsuzlukların ise ortadan kalkması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Sheikh, K., "The kilograms's makeover is almost complete", Scientific American, 2016.
[2] European Committee For Standardization, "EN ISO 376 – Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines", 2011.
[3] International Organization of Legal Metrology, "OIML R111-1 Weights of classes E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3} and M_3, Part 1: Metrological and technical requirements", 2011.
[4] Harris L., George, "NISTIR Selected Laboratory and Measurement Practices and Procedures to Support Basic Mass Calibrations", NIST, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

M. Barış TUĞCU

1985 yılı Ankara doğumludur. 2009 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2018 yılında ise Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Çalışma hayatına 2010 yılında Türk Standardları Enstitüsü Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nde başlamıştır. 2013 yılından beri Mekanik ve Kütle Kalibrasyonu Laboratuvarları'nda bölüm sorumlusu olarak görev yapmaktadır. 2016 yılında TÜBİTAK KAMAG projeleri kapsamında faaliyete geçen Kuvvet ve Sertlik Kalibrasyon Laboratuvarlarının kuruluşunda görev almış ve aynı laboratuvarların bölüm sorumluluğu görevine devam etmektedir. 2015 yılından beri terazi, kütle, tork ve malzeme test makinelerinin kalibrasyonu alanlarından TÜRKAK denetçisi olarak görev almaktadır.

Semih YAZICI

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2014 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında Türk Standardları Enstitüsü Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nde mekanik ve kütle kalibrasyon laboratuvarında çalışmaya başlamıştır. 2016 yılından itibaren sertlik ve kuvvet laboratuvarlarında görev almış, aynı tarihten itibaren Hacim Kalibrasyon Laboratuvarı'nın bölüm sorumluluğu görevini sürdürmektedir.

Uğur YÜCESAN

1978 yılı Ankara doğumludur. 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. 2003 yılında Türk Standartları Enstitüsü Makine ve Malzeme Laboratuvarında Deney Personeli olarak göreve başlamıştır. 2006 yılında Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Boyutsal Kalibrasyon Laboratuvarı Bölüm Sorumlusu olarak atanmıştır. Ayrıca 2011 yılında 107G135 numaralı TÜBİTAK KAMAG projesi kapsamında kurulan Tork Kalibrasyon Laboratuvarı Bölüm Sorumluluğu görevine getirilmiştir. 2014 yılında beri Boyut ve Mekanik Kalibrasyon Teknik Şefi olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda 2011 yılından beri boyutsal ve tork kalibrasyonu alanlarında TÜRKAK denetçisi olarak görev almaktadır.

YÜKSEK DOĞRULUKLU SAYISAL MANOMETRE YARDIMIYLA KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Ahmet TÜRK
Abdullah HAMARAT
Yasin DURGUT

ÖZET

Bu çalışmada pistonlu basınç standartlarının efektif alan değerinin belirlenmesinde yüksek doğruluklu sayısal manometreden yararlanılmıştır. Sayısal manometre transfer standardı olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, hem referans hemde test pistonlu basınç standardı nominal olarak aynı basınç değerine yüklenmiş, daha sonra referans ve test cihazların ürettikleri basınç değerleri sırasıyla sayısal manometreden Labview programı kullanılarak okunmuştur. Yöntem olarak referans cihazın ürettiği basıncın test cihazın ürettiği basınçtan daha az olması sağlanmıştır. Referans cihazın efektif alan değeri bilindiğinden aradaki basınç farkını dengelemek için referans cihaz üzerine konulması gereken ilave kütle program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Programın verdiği ilave kütle referans cihaz üzerine konularak her iki cihazın dengeye gelip gelmediği lazer düşme hızlarıyla kontrol edilmiştir. Sonuçların lazer düşme hızı sistemi ile belirlenen geleneksel yöntem ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Efektif Alan, Pistonlu Basınç Standartları, Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntem.

ABSTRACT

In this study, digital manometer was used to determine the effective area of pressure balances. Both of reference and test piston-cylinder units were nominally loaded to the same pressure value. As a method, it is provided that the pressure produced by the reference device is less than the pressure produced by the test device. Since the effective area value of the reference device is well-known, the additional mass that must be placed on the reference device in order to compensate for the pressure difference is automatically calculated by the program. The additional mass given by the program was placed on the reference device and the laser fall rates were checked to see whether both devices were in equilibrium or not. Results are agree with each other.

Key Words: Effective Area, Pressure Balance, Cross-Float.

1. GİRİŞ

Pistonlu basınç standartları basınç metrolojisinde sıklıkla kullanılan referans cihazlardandır. Yüksek metrolojik özelliklerinden dolayı düşük belirsizlik ve yüksek doğruluk gerektiren basınç ölçümlerinde kullanılırlar. Pistonlu basınç standartlarının en önemli parçası piston-silindir ünitesidir. Silindir içerisinde serbestçe hareket edebilen piston üzerine konulan kalibreli kütleler yardımı ile istenilen basınç değeri oluşturulur. Elde edilen bu basınç değeri pistonun içerisinde yüzdüğü akışkan vasıtasıyla istenilen noktaya aktarılır.

Pistonlu basınç standartları basıncın tanımı ilkesine göre çalışır. Kalibreli kütlelerin oluşturduğu kuvvet, piston-silindir ünitesinin efektif alanı üzerinde basınca neden olur. Basınç hesabındaki en önemli parametrelerin başında piston-silindir ünitesinin efektif alan değeri gelmektedir. Bu nedenle, piston-silindir ünitesinin efektif alan değerinin çok hassas bir şekilde hesaplanması gereklidir.

Basınç metrolojisinde efektif alan değerinin hesaplanması için kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin başında cross-float adı verilen karşılıklı akışa dayalı yöntem gelmektedir. Ancak geleneksel karşılıklı akışa dayalı yöntem oldukça uzun kalibrasyon süresi, operatöre bağımlılık, operatör kaynaklı hatalara açık olması vb. gibi nedenlerden dolayı zor bir kalibrasyon yöntemidir. Literatürde bu yönteme alternatif olabilecek yüksek metrolojik özelliklere sahip basınç dönüştürücüler kullanılarak geleneksel yöntemle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir [1][2].

2. KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEM

Karşılıklı akışa dayalı yöntemde referans pistonlu basınç standardı ile test (altındaki) pistonlu basınç standardı aynı hatta bağlanır. Her iki pistonlu basınç standardı üzerine aynı basınca karşılık gelen kütleler nominal olarak yüklenir. Bu basınç altında cihazlar yeteri kadar bekletilip sıcaklık dengesi sağlandıktan sonra, cihazlar arasındaki vana kapalı durumda iken her iki piston-silindir ünitesinin doğal düşme hızları lazer yardımıyla ölçülür. Bu düşme hızı piston ve silindir arasındaki açıklığın profili ile doğrudan ilgili olduğu için, düşme hızları cihazlar için karakteristik bir özelliktir. Her iki cihazın doğal düşme hızları ölçüldükten sonra, cihazlar arasındaki vana açılır. Genellikle bu durumda, referans ve test pistonun oluşturduğu basınçlar hassas olarak aynı olmadıklarından dolayı denge durumundan bahsedilemez. Basıncın daha fazla olduğu taraf doğal düşme hızından belirgin bir farkla daha hızlı düşerken, diğer piston ya daha yavaş düşer ya da yükselmeye başlar. Bu durum iki cihaz arasındaki denge durumunun oluşmadığı anlamına gelir.

Böyle bir durumda yükselen ya da daha az düşen cihazın üzerine ilave kütleler konularak denge sağlanmaya çalışılır. Genellikle bu kütleler miligramlar mertebesindedir. Dengenin sağlandığı durumda cihazların düşme hızları doğal düşme hızlarına eşittir ya da çok yakındır. Bu durumda hem referans hem de test cihazın aynı hatta oluşturduğu basınçlar eşittir. Bu basınç eşitliği kullanılarak test cihazının o noktadaki efektif alan değeri (1) numaralı formül kullanılarak hesaplanır.

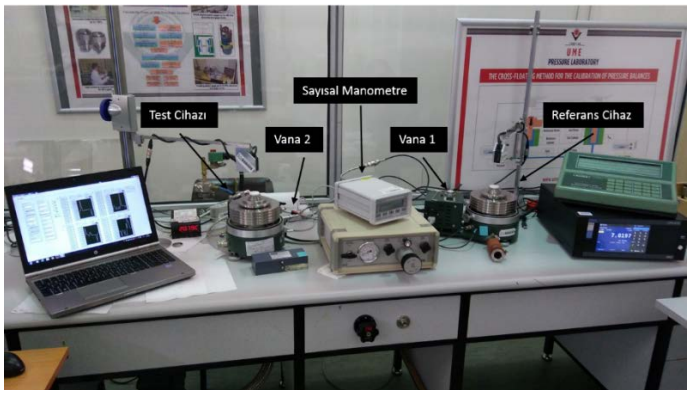
$$\frac{F_{ref}}{A_{ref}} = \frac{F_{test}}{A_{test}} + \Delta h \cdot \Delta \rho \cdot g \tag{1}$$

Karşılıklı akışa dayalı yöntemde artan ve azalan yönlerde 5 çevrim alınır ve her çevrimde test cihazının maksimum çalışma basıncını kapsayacak şekilde en az 6 farklı basınç noktasında ölçümler gerçekleştirilir. Ölçümler sonucunda hesaplamalar yapılarak, test cihazının her basınç noktasındaki efektif alan değerleri hesaplanır. En küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanan efektif alan değerlerinin basınca bağlı denklemi elde edilir. Burada genellikle 1. dereceden denklem tercih edilir. Bazı durumlarda ise 2. dereceden denklem tercih edilebilir [3]. Elde edilen bu denklemler kullanılarak pistonlu basınç standardının 1 atm basınç ve 20 ºC sıcaklıktaki efektif alan değeri ve basınç distorsiyon katsayısı elde edilir.

Efektif alan ve basınç distorsiyon katsayısı değerlerinin deneysel verilerin matematiksel olarak uygun metotlar kullanılarak elde edilmesinden sonra, bu değerlere ait belirsizlik hesaplamaları yapılarak test altındaki piston-silindir ünitesinin kalibrasyonu tamamlanmış olur.

3. SAYISAL MANOMETRE YARDIMI İLE KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEM ÖLÇÜM DÜZENEĞİ

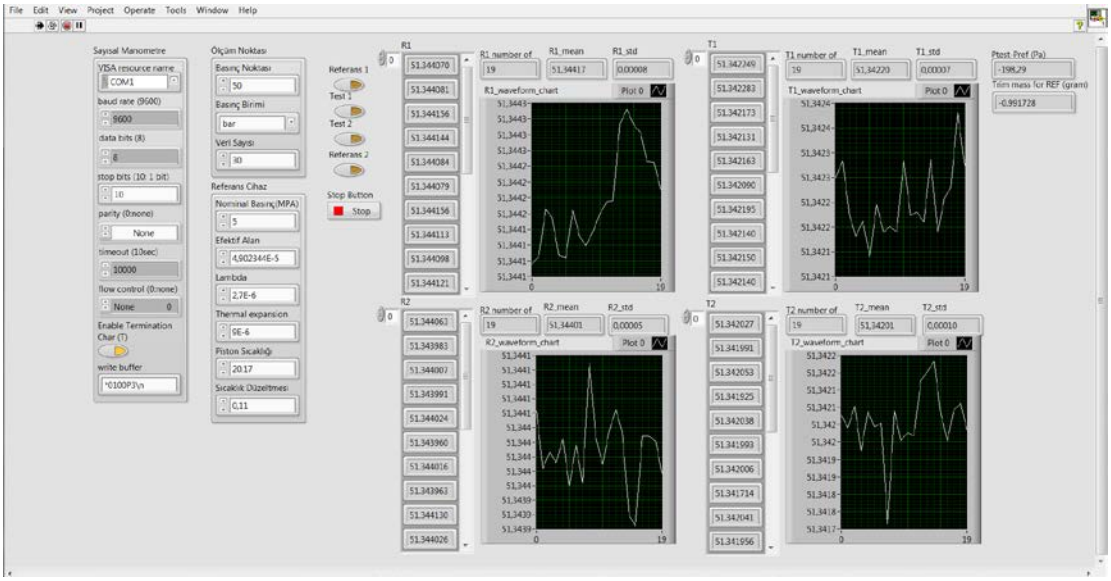
Sayısal manometre yardımı ile piston-silindir ünitesinin kalibrasyonuna ait görsel Şekil 1' de verilmiştir. Düzenekte iki adet vana, 1 adet sayısal manometre, referans cihaz, test cihazı, test piston ve referans piston için sıcaklık ölçerler, 2 adet kütle seti, hassas kütle seti, lazer düşme hızı ölçüm sistemi, mekanik bağlantı aparatları ve bilgisayar programı kullanılmıştır.



Şekil 1. Sayısal manometre yardımı ile karşılıklı akışa dayalı yöntem.

Düzenekte kullanılan sayısal manometre Paroscientific Model 745 olup 70 bar maksimum ölçüm kapasitesine sahiptir. Cihazın doğruluğu ise üretici firma tarafından %0,008 FS olarak beyan edilmiştir. Cihaz üzerinde RS-232 çıkışı mevcuttur. Sayısal manometreden veriler bilgisayar ortamına seri port üzerinden aktarılmıştır.

Düzenekte kullanılan vanalar mekanik vana olup sayısal manometre ile referans ve test cihaz arasındaki basınç iletimini kurmak ve kesmek amacıyla kullanılmışlardır. Sayısal manometre referans cihaz tarafından üretilen basıncı ölçerken 1 numaralı vana açık konumda, 2 numaralı vana ise kapalı konumdadır. Sayısal manometre test cihaz tarafından üretilen basıncı ölçerken 2 numaralı vana açık konumda, 1 numaralı vana ise kapalı konumdadır. Karşılıklı akışa dayalı yöntemin uygulanmasında ise her iki vanada açık durumdadır.



Şekil 2. Labview program.

Sayısal manometre yardımı ile karşılıklı akışa dayalı yöntemin gerçekleştirilmesinde Şekil 2'de verilen program kullanılmıştır. Program Labview 2015 ortamında oluşturulmuştur. Program sayısal manometre ile seri port üzerinden VISA protokolünü kullanarak haberleşmektedir. Programa sayısal manometre ile haberleşebilmek için gerekli olan baud rate, stop bit, parity vb. gibi komutların kullanıcı tarafından girilmesi gereklidir. Diğer taraftan ölçüm yapılan basınç noktası, basınç birimi, her basınç noktasında sayısal manometreden kaç adet basınç değerinin örnekleneceği, kullanılan referans cihazın efektif alan değeri, basınç distorsiyon katsayısı, lineer genleşme katsayısı ve piston sıcaklığının girilmesi gereklidir.

Lazer düşme hızı ölçüm sistemi piston-silindir ünitelerinin doğal düşme hızlarının ölçülmesinde ve bilgisayar programı tarafından belirlenen hassas kütlelerin sisteme eklenmesinden sonraki düşme hızlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Lazer sistemi kullanılarak yeni yöntem ile klasik yöntemin ne kadar uyumlu olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

4. SAYISAL MANOMETRE YARDIMI İLE KARŞILIKLI AKIŞA DAYALI YÖNTEM

Bu yöntemde öncelikle referans ve test pistonlu basınç standartları nominal olarak aynı basınca yüklenir. Sayısal manometre yardımıyla hem referans hem de test cihazdan okunan basınçlar göz ile karşılaştırılır. Referans pistonlu basınç standardının gösterdiği basınç değerinin test pistonlu basınç standardının gösterdiği basınçtan daha az olması gerekir. Aksi takdirde test cihazı üzerine ilave kütleler konularak test cihazın ürettiği basıncın referans cihazdan daha fazla olması sağlanır. Bu durumun sağlanmasından sonra kapalı durumda olan her iki vanadan sayısal manometre ile referans cihaz arasında yer alan 1 numaralı vana açılır. Basınç değerinin istikrarlı hale gelmesi için 30 saniye beklenir. Bekleme süresi cihazdan cihaza farklılık gösterebilir. Bekleme süresi sonunda bilgisayar programı kullanılarak sayısal manometreden referans cihazın ürettiği basınç değerleri toplanır. Program toplam 30 adet basınç verisini her 2 saniyede bir basınç verisi alacak şekilde ayarlanmıştır. Referans cihazdan istenilen sayıda veri alınmasından sonra program otomatik olarak veri almayı sonlandıracaktır.

Daha sonra 1 numaralı vana kapatılarak, test cihazı ile sayısal manometre arasındaki 2 numaralı vana açık konuma getirilir. Tekrar hattaki basıncın dengelenmesi için 30 saniye beklenir. Bu süre sonunda bilgisayar programı kullanılarak bu kez sayısal manometreden test cihazının ürettiği basınç değerleri toplanır. 3. adımda 2 numaralı vana kapatılıp tekrar açılır. Bekleme süresinden sonra sayısal manometreden test cihazının oluşturduğu basınç değerleri toplanır. Son olarak 4. adımda 2 numaralı vana kapatılarak referans cihaz ve sayısal manometre arasındaki 1 numaralı vana açık konuma getirilir [1]. Bekleme süresinden sonra referans cihazın oluşturduğu basınç değerleri sayısal manometreden toplanır. Elde edilen basınç değerleri program tarafından kullanılarak referans ve test cihazı arasındaki basınç farkı hesaplanır. Bu basınç farkına karşılık gelen hassas kütle program tarafından hesaplanarak kullanıcı ara yüzünde gösterilir. Böylelikle o basınç noktası için ölçümler tamamlanmış olur.

Yapılan ölçümlerde her basınç noktasında program tarafından verilen hassas kütle değerleri referans pistonlu basınç standardına eklendikten sonra test ve referans cihaz arasındaki vanalar açılarak denge durumu lazer ile kontrol edilmiştir. Dengenin sağlanmadığı durumlarda ilave kütleler kullanılarak sistem dengeye getirilmiştir. Böylelikle hem sayısal manometre yöntemi hem de lazer düşme sistemi yöntemi karşılaştırılmıştır.

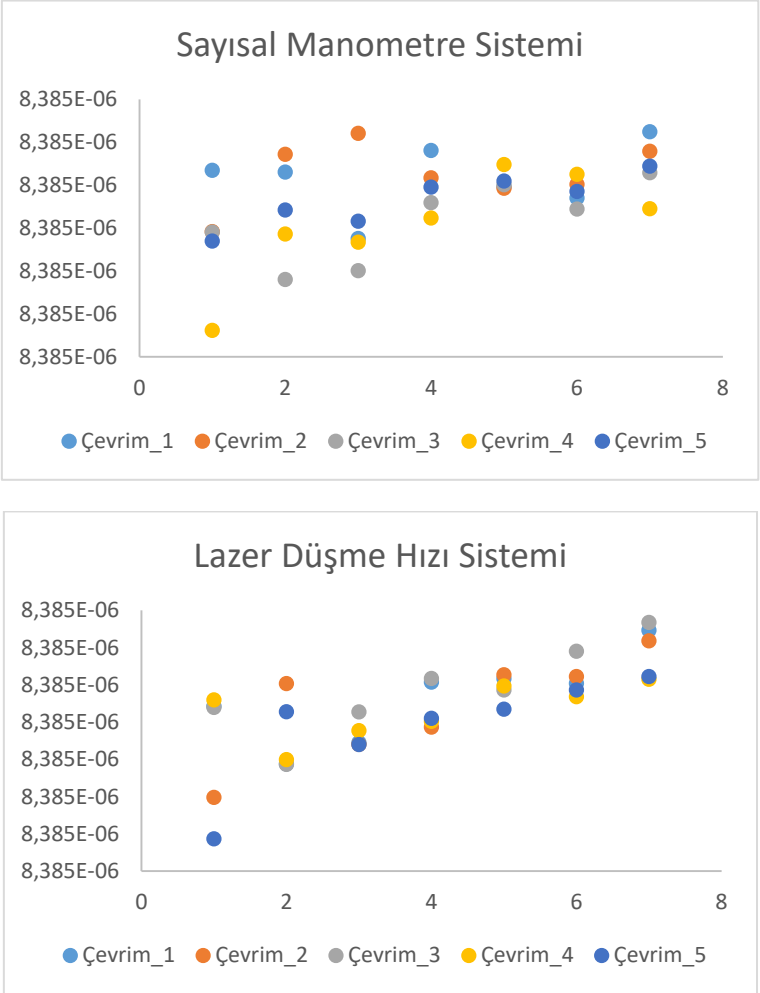
Ölçümler esnasında sayısal manometreden alınan verilerin standart sapma değerleri incelenmiştir. Standard sapma değerlerinin genellikle 10 Pascal değerinden az çıktığı görülmüştür. Standard sapmanın beklenenden çok yüksek çıktığı birkaç durum gözlemlenmiştir. Bu durumlarda o nokta için aynı prosedür izlenerek ölçüm istenilen standart sapma elde edilinceye kadar tekrarlanmıştır.

Yüksek doğruluklu sayısal manometre yardımıyla yapılan kalibrasyon işlemi 5 çevrim ve her çevrimde 7 basınç noktasında gerçekleştirilmiştir. Aynı prosedür geleneksel yöntem içinde uygulanmıştır. Tablo 1' de her iki yöntem ile yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda elde edilen efektif alan, belirsizlik ve E_n değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Efektif Alan Değerleri.

Sayısal Manometre İle Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntem			Lazer Düşme Sistemi İle Karşılıklı Akışa Dayalı Yöntem			E_n
Nominal Değer	Hesaplanan Ortalama Efektif Alan	Alan Belirsizliği	Nominal Değer	Hesaplanan Ortalama Efektif Alan	Alan Belirsizliği	
MPa	x 10^{-4} m^2	x 10^{-4} m^2	MPa	x 10^{-4} m^2	x 10^{-4} m^2	
1	0,08385420	0,00000235	1	0,08385364	0,00000194	0,18
2	0,08385431	0,00000211	2	0,08385369	0,00000178	0,22
3	0,08385427	0,00000209	3	0,08385370	0,00000176	0,21
4	0,08385439	0,00000207	4	0,08385382	0,00000176	0,21
5	0,08385441	0,00000210	5	0,08385389	0,00000175	0,19
6	0,08385438	0,00000204	6	0,08385392	0,00000175	0,17
7	0,08385447	0,00000208	7	0,08385404	0,00000176	0,16

Tablo 1 incelendiğinde sayısal manometre yardımıyla karşılıklı akışa dayalı yöntemde elde edilen efektif alan değerleri ve belirsizlikleri, lazer düşme hızı yöntemi ile elde edilen efektif alan değerleri ve belirsizlik değerlerinden daha yüksektir.



Şekil 3. Basınç-Efektif Alan Grafikleri.

Tablo 1'de verilen efektif alan değerlerine ait grafikler ise Şekil 3'te verilmiştir. Grafiklere göre cihazın yüksek basınç değerlerindeki tekrarlanabilirliği düşük basınç değerlerindeki tekrarlanabilirliğinden daha iyidir. Diğer taraftan her iki grafik incelendiğinde lazer düşme hızı sistemi ile elde edilen efektif alan değerlerinin birbirleri ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Lazer sistemi ile elde edilen efektif alan değerlerinin artan basınçla orantılı olarak arttığı gözlenirken, diğer yöntemde ise efektif alan değerlerinin artan basınçla bazen azaldığı durumlarda gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Her iki yöntemle elde edilen her basınç noktasındaki efektif alan değerlerine ait E_n hesaplamaları (Tablo 1), sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. E_n değerinin en yüksek olduğu basınç noktasındaki efektif alan değerleri arasındaki fark yaklaşık 7 ppm, E_n değerinin en düşük olduğu noktada ise yaklaşık 5 ppm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara dayanarak her iki yöntemin birbiri ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Kobata T., Olson A. D., (2005), "Accurate determination of equilibrium state between two pressure balances using a pressure transducer", Metrologia 42 (2005) S231–S234

[2] Scherschligt J., Olson D., Yang Y., (2016) "Pressure Balance Cross-Calibration Method Using a Pressure Transducer as Transfer Standard", NCSL Int Meas. 2016

[3] EURAMET (2011), Calibration of Pressure Balances, EURAMET cg 3, European Association of National Metrology Institutes.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet TÜRK

1984 Bozüyük doğumludur. 2007 yılında Boğaziçi Üniversitesi Fizik Öğretmenliği bölümünden dereceyle mezun olmuştur. 2014 yılında TÜBİTAK UME Basınç laboratuvarında araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştır. 2018 yılında uzman araştırmacı ünvanını almıştır. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden Yüksek lisans derecesiyle mezun olmuştur.

Abdullah HAMARAT

1975 Yenice/Çanakkale doğumludur. 1996 yılında İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2002 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bölümü' nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 1997-2002 yılları arasında özel sektörde enerji, teknik servis, proje yöneticiliği gibi çeşitli alanlarda çalışmıştır. 2002-2007 yılları arasında TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı olarak çalışmıştır. 2007-2018 yıllarında özel sektör proje yöneticisi, laboratuvar teknik müdürü ve laboratuvar müdürü görevlerinde bulunmuştur. Haziran 2018' den bu yana TÜBİTAK-UME Basınç Laboratuvarı' nda araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Yasin DURGUT

1975 Akşehir doğumludur. 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yine aynı yıl Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü İngilizce hazırlık Programı'nı bitirmiştir. Sonrasında Alcatel Telekomünikasyon A.Ş.'de 2000-2004 yılları arasında çeşitli telekomünikasyon projelerinde çalışmıştır. Durgut, 2006 yılında ise Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nü bitirmiştir. 2016 yılında Fizikte doktora çalışmasını dinamik basınç ölçüleri konusunda tamamlayarak doktor ünvanı almıştır. Yasin Durgut, proje yöneticisi PMP (Project Management Professional) sertifika derecesine sahiptir. 2004 yılından bu yana TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Basınç Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmaya devam etmektedir. Çeşitli dergilerde, ulusal ve uluslararası konferans ve kongrelerde yirminin üzerinde yayını bulunmaktadır. Aktif olarak Turkak'ta basınç alanında TS EN ISO/IEC 17025 kapsamında denetçilik faaliyetlerini sürdürmektedir.

tmmob makina mühendisleri odası

MMO KALMEM

Kalibrasyon Laboratuvarı ve Metroloji Eğitim Merkezi

Tarafsız, Dürüst, Kaliteli ve Güvenilir Kalibrasyon Hizmeti... Sanayinin Hizmetinde...

TÜRKAK Kalibrasyon TS EN ISO/IEC 17025 AB-0070-K

TÜRKAK Test TS EN ISO/IEC 17025 AB-1235-T

MMO KALMEM Ara teknik eleman ve Mühendislere yönelik olarak, Genel Metroloji ile Uygulamalı Kalibrasyon konularında eğitimler düzenlemektedir.

KÜTLE - TERAZİ LABORATUVARI

Analitik Terazi
Hassas Terazi
Kantarlar
Etalon Kütle
(M_1,M_2,M_3)

TORK - KUVVET LABORATUVARI

Tork Anahtarı
El Tipi Kuvvet Ölçer

BASINÇ LABORATUVARI

Sayısal, Mekanik
Manometre
Mutlak Basınç Ölçer
Vakum Ölçer
Basınç Kalibratörü
Basınç Anahtarı
Basınç Transducer
Basınç Transmitter
Fark Basınç Ölçer
Barometrik Basınç Ölçer

HACİM LABORATUVARI

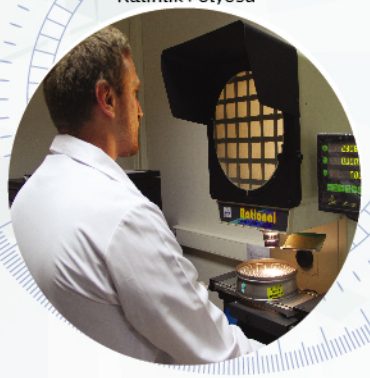
Pistonlu Pipet
Pistonlu Büret
Dispenser
Balon Jole
Ölçülü Silindir
Piknometre
Pipet(Taksimatlı)
Pipet(Tek Ölçülü)
Büret

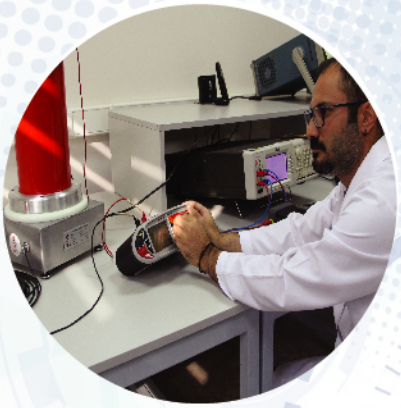
SICAKLIK LABORATUVARI

Isıl Çift
Sıcaklık Kalibratörü
Ortam Termometresi
Sıcaklık Göstergesi
Sıcaklık Simülatörü
Direnç Termometresi
Sayısal, Mekanik Termometre
Bağıl Nem Ölçer
Radyasyon Termometresi
İklimlendirme Kabinleri
Termal Kamera
Kuru Blok Kalibratör Fırın

BOYUT LABORATUVARI

Mastar Blok, Uzun Mastar Blok
Halka Mastar, Halka Vida mastar
Tampon Mastar, Tampon Vida mastar
Elektronik Ölçüm Probu
Ölçü Pimi, Mikrometre Ayar Çubuğu
Çatal Mastar, Küre
Kumpas
Mikrometre
Mihengir
Ölçü Saati
Açı Ölçer
Elek
Radyus Şablonu
Sentil
Metre
Radyus Mastarları
Vida Diş Tarağı
Profil Projeksiyon Cihazı / Ölçme Mikroskobu
Cam Cetvel/Stage Mikrometre
Kaplama Kalınlığı Ölçüm Cihazı
Ultrasonik Kalınlık Ölçer
Lazerli Mesafe Ölçer
Yoklayıcı Kollu Komparatör (İç-Dış)
Kalınlık Komparatörü
Kalınlık Folyosu





"Rüzgâr ölçüm istasyonu uygunluk onay raporu ve ölçüm sonuç raporu akredite olarak laboratuvarımızca hazırlanıp onaylanmaktadır."

"Rüzgâr ve güneş ölçüm istasyonlarında kullanılan sensörlerin kalibrasyonları akredite olarak laboratuvarımızca yapılmaktadır."

ELEKTRİK LABORATUVARI

Voltmetre
Ampermetre
Ohmmetre
Frekansmetre
Takometre
Toprak Test Cihazı
Yalıtım Test Cihazı
Multimetre
Pens Ampermetre
Osiloskop
AC/DC Akım Gerilim Kaynağı
Direnç
Multi Kalibratör
Yüksek Gelirim Test Cihazı
Kaçak Akım Rolesi Test Cihazı
karıştırıcı Cihazlar
Kaynak Makinası
Kronometre

HAVA HIZ LABORATUVARI

Anemometre
(Pitot Tüp, Pervaneli, Termal, Kepçeli, Ultrasonik)

www.kalmem.org

Makina Mühendisleri Odası Kalibrasyon Laboratuvarı ve Metroloji Eğitim Merkezi

Adres: 243 Sk. No: 17 Kat:1 D:6 Bayraklı - İzmir | Tel: (232) 348 40 50 - Faks: (232) 348 63 98 | kalmem@mmo.org.tr

tmmob
makina
mühendisleri
odası
izmir
şubesi

ÖLÇÜMBİLİM
SEMPOZYUMU VE SERGİSİ

20 - 22 Kasım 2019

MMO TEPEKULE KONGRE VE SERGİ MERKEZİ

İLETİŞİM ADRESİ

Anadolu Cad. No: 40 K: M2 35010 Bayraklı - İZMİR

Tel: (0232) 462 33 33 / 254-210

www.olcumbilim.org • olcumbilim@mmo.org.tr