

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

**Narcisa ARİFOVİÇ**  
**Danijel SESTAN**  
**Davor ZVİZDIÇ**  
**Nedžadeta HODZIÇ**

## 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 ısıçiftlerin, termoelektrik kararsızlık veya kalibrasyon kayması, kullanıcıları için büyük bir sorundur. İn-situ uygulamalarında, ısıçift performansını saptaması ve doğrulaması için standartlaştırılmış metodoloji bulunmamaktadır. Bununla birlikte, yüksek doğruluklu birincil ve ikincil seviye kalibrasyonlar için ısıçiftlerin homojenliğinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

CG-8 "Isılçiftlerin Kalibrasyonu" EURAMET Rehber Dokümanı, kalibrasyon laboratuvarları ve akreditasyon kuruluşları tarafından ısıçiftlerin kalibrasyonu için yaygın olarak kullanılan önemli bir rehberdir. [1] Rehber dokümanı; ısıçiftin homojenite etkisini ısıçift kalibrasyonunun standart ölçüm belirsizlik bütçesinde tanımlamış ve bu etkinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için yöntem önermiştir. Bu yöntem, homojen sıcaklık kaynağında yerleştirilen ısıçiftin konumuna bağlı gerilim değişiminin tespitini içerir. Ne yazık ki, ısıçiftlerin homojenliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek standartlaştırılmış, kullanımı kolay ve pratik cihazlar mevcut değildir. [2,3] Bu sebeple, kullanıcılar ısıçift homojenliğini ölçmek yerine, ısıçiftler 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	$\pm 0,004 t $ or $\pm 1,5$ ° C
	2	$\pm 0,0075 t $ or $\pm 2,5$ ° C
K ve N	1	$\pm 0,004  t $ or $\pm 1,5$ ° C
	2	$\pm 0,0075 t $ or $\pm 2,5$ ° C
	3	$\pm 0,015 .  t $ or $\pm 2,5$ ° C
S	1	$\pm [ 1+(t-1000)\times 0,003]$ or $\pm 1,0$ ° C
	2	$\pm 0,0025 t $ or $\pm 1,5$ ° C
B	2	$\pm 0,0025 t $ or $\pm 1,5$ ° C
	3	$\pm 0,005 t $ or $\pm 4$ ° C

Bu toleranslar, ısılçift homojenliğinden kaynaklanan belirsizlik parametresi olarak kullanıldığı takdirde 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 sebeptendir ki, Tübitak UME liderliğinde ve toplam 10 NMI Sıcaklık laboratuvarının katılımıyla, MetForTC adıyla yeni bir EMPIR projesi başlatılmıştır. [6]

Üç yıl 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 laboratuvarları için ısıçift performansının doğrulanması için yeni bilgiler, yöntemler ve ekipmanlar geliştirmektir. Bu proje, 3 teknik iş paketine (İP) ayrılmıştır. İP1'de ısıçiftlerdeki 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

Isıçift temellerini kısa bir gözden geçirmek ısıçift 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:

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

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

Denklem (1)'den, ölçülen gerilime izotermal, yani konum boyunca sıcaklık değişimi,  $dT/dx$ , sıfır olduğunda telin izotermal bölgedeki kısımlarının gerilime bir katkısı olmadığı açıktır. Isıçift tarafından oluşturulan elektromotor kuvveti (emk), ısıçift ucunda değil sıcaklık dağılımı  $dT$  olan bölgede üretilir. Sıcaklık farkına ek olarak, ölçülen emk, Seebeck katsayısından kaynaklanır. Seebeck katsayısı,  $S_{AB}(T, x)$  denklem (1)'de ısıçift boyunca konumun bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Emk voltajı, yalnızca ısıçiftin her bir termoelemanı homojen bir kompozisyona sahip ise uçlarda olan sıcaklık farkına bağlıdır. Genellikle ısıçiftin tel uzunluğu boyunca özdeş bir yapısı olmadığından, Seebeck katsayısı aynı zamanda ısıçift 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 ısıçiftlerin 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, ısıçiftlerin kaymasının gözlenmesi için yeni yöntemler ve cihazlar geliştirmek ve test etmek.
2. 230 °C ile 1100 °C arasındaki sıcaklık aralığında birincil ve ikincil kalibrasyon laboratuvarları için ısıçiftlerin 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 laboratuvarları 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 güçlendirecek ve sıcaklık metrolojisinde izlenebilirlik ve iyi uygulamalar konusunda rehberlik sağlayacaktır.

### 3. PROJENİN TEKNİK KONULARI

Proje kapsamında, kapasiteyi geliştirerek homojen olmayan ve ısıçiftlerde 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 ısıçiftlerin homojensizliğinin deneysel karakterizasyonu için kullanılacaktır. Projenin her bir hedefine yönelik İş paketi belirlenmiştir.

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

Isıçiftlerin 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 ısıçiftlerin değiştirilmesi veya yeniden kalibre edilmesi) gibi birçok soruna neden olmaktadır. İP1'de geliştirilecek yöntemler, bir ısıçiftin tipik kullanım koşulları altında performansının gözlemesini sağlayarak, standart test yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sunacaktır.

#### 3.2 İşPaketi2: İzlenebilir yeni cihazların geliştirilmesi ve ısıçiftin inhomojenitesi karakterizasyonu için yeni yöntemlerin geliştirilmesi

Bu iş paketinin amacı, kendini doğrulamış ısıçiftlerinin 1100 °C'nin altındaki kaymasını gözlemlemektir. Bu sebeple, sabit erime sıcaklıklarına sahip sabit noktalar kullanılarak, ısıçiftlerin 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 ısıçiftinin, bir sabit nokta hücre gibi üniform bir sıcaklık bölgesine adım adım yerleştirilmesidir. Bu yöntemde emk değişikliği ölçülecektir ve analizler yalnızca termal emk'lerde meydana gelen değişikliklere odaklanacaktır. Isıçiftler, hem laboratuvarde hem de in-situ yerinde kullanım koşullarına karşılık gelen farklı ortamlarda kullanılarak test edilecektir.

#### 3.3 İşPaketi3 Isıçift verifikasyonu için yeni cihaz ve yöntemlerin geliştirilmesi

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 laboratuvarlarında 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 laboratuvarlarının kalibrasyon hizmetlerini geliştirecektir. Akredite ve endüstriyel kalibrasyon laboratuvarları, 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 ARİFOVIÇ

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 ısı çiftinin tasarımı geliştirilerek, Au/Pt referans ısı çifti yapılmıştır.

JRP r04 Eura-Thermal "Developing traceable capabilities in thermal metrology", EMPIR, 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. "Isı çift 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 çığ noktası ölçümleri için Hırvat standartları geliştirir. JRP r04 Eura-Thermal **“Developing traceable capabilities in thermal metrology”**, EMPİR, Projede ve **HUMEA** Projelerinde **Nedzadeta HODZIÇ**'in liderliğinde bağıl nem ve çığ 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 HODZIÇ**

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 çığ noktası ölçümleri için standartları geliştirmek üzere çalışmıştır.