

İZLENEBİLİRLİK VE UZUNLUK BİRİMİNİN, BİRİNCİL SEVİYE LABORATUVARDAN SANAYİYE İZLENEBİLİRLİĞİN SAĞLANMASI

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ekerim*, Dr. Şakir BAYTAROĞLU**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, **NUROL Makina Ve Sanayi A.Ş.

ÖZET

Bilimde, sanayide, ticarete, iletişim, enerji, tıp ve güncel yaşamda ölçme hayati bir rol oynamaktadır. Günümüz rekabet koşulları ve teknolojik gelişmenin gereği ürün kalite temininde önemli bir yer tutan ölçümlerin güvenilirliği ve doğruluğu sağlamaya yönelik her ülke SI birimler sistemi içerisinde bir ölçme zinciri dahilinde ölçümlerin izlenebilirliği sağlamak zorundadır. Ürün kalitesinin tespitinde kullanılan ölçüm cihaz ve teçhizatlar, kesintisiz ve ardaşık bir ölçme zinciri içerisinde çalışmam referansından ulusal referansa kadar izlenebilirliği, önceden tanımlanmış kurallar çerçevesinde ve bir ulusal ölçme sistemi dahilinde teminat altında tutulmalıdır. Bu çalışmada ölçme ile ilgili "Referans Standart (ETALON)" kavramı, Kalibrasyon Zinciri, İzlenebilirlik Prensipleri, Uzunluk Biriminin Referans Standardı ve Uzunluk Biriminin Kalibrasyon Hiyerarşisi konusunda açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Günümüzde, seri üretime dayana sanayilerin bir ön şartı olarak bir bütünün oluşturulması için farklı yerlerde üretilen bir çok parçanın belli toleranslar içinde uyumlu olmaları istenmektedir. Makina ve otomotiv sanayi ürünlerinin ve bu ürünleri oluşturan parçaların kalitelerinin ifadesi olan Fiziksel, Kimyasal, Mekanik özelliklerin yanı sıra, boyutsal ve geometrik özellikleride (uzunluk, açı, geometrik formdan sapma, yüzey kalitesi gibi), teknolojik gereksinimlerinin gereği daha büyük hassasiyetle belirlenmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Ölçümlerde güven faktörünü sağlamak için ölçme sistemlerinin tamamı metrolojik kontrol altında tutulmalıdır. Kalite kontrol sisteminde, kalite temininde kullanılan kumpaslar, mehengirler, mikrometreler, vs. gibi çeşitli boyutsal ölçüm cihazları, muhafaza ettikleri uzunluk birimini zaman içindeki kararlılığı ve doğruluk seviyelerini korumaları için referans etalon masterlarla metrolojik karakteristikleri kontrol edilmesi gerekir. Uzunluk birimini, yüksek hassasiyet ve doğrulukla muhafaza eden masterlar, kullanım hataları, aşınma, termal şoklar, düşürme gibi nedenlerle muhafaza ettikleri boyutun değerini itirirler. Muhafaza ettikleri boyutun doğruluğu hakkında bilgi edinmek ve muhafaza ettikleri boyutları kontrol altında tutmak için belirli aralıklarla bir üst seviye ölçme sistemi ile mukayese edilmelidir. İmalat sanayinde kalite temininde kullanılan ölçme cihazlarının pahalı olmaları ve ekonomik ömürlerinin, 3 ile 10 yıl arasında olması, bu alanda kullanılan ölçme sistemlerinin, metrolojik karakteristikleri, kullanım sürecinde teminat altına alınmalıdır. Kalite temini, modern kalite kontrol teknikleri uygulamanın yanısıra, işletmelerin METROLOJİ alt yapılarını kurmaları ile mümkün olacaktır. Bu açıdan bakıldığında uzunluk biriminin sanayiye aktarılma işleminde, ölçü master setlerinin sınıfını belirleyen tolerans değerlerini korumaya yönelik çalışmalar ve özellikle 1983

yılında değiştirilen METRE tanımına uygun olarak, ışığın dalga boyu cinsinden ifade edilen uzunluk birimi, elle tutulabilen bir maddi ölçüte transferi önem taşımaktadır[1,2,3,4,5,6].

Ölçme ve kalibrasyon işleminde kullanılan teçhizat ve etalonların ; kesintisiz ve ardaşık bir ölçme zinciri içerisinde kalite temininde kullanılan ölçme teçhizatlarından ve bu teçhizatların kalibrasyonunda kullanılan laboratuvar referans standartlarından (Çalışma Etalonları), ulusal ve uluslararası referans standartlarına kadar uzanan izlenebilirlik, tanımlanmış ve hukuki bir altyapısı olan bir ölçme sistemi dahilinde teminat altında tutulmalıdır. Aynı zamanda “ İzlenebilirlik” kavramı ile anlatılmak istenen; farklı yerlerde, değişik teçhizatlarla ve farklı ortam şartlarında gerçekleşmiş olan ölçüm sonuçları ile etalonların kalibrasyon sonuçları birbirleri ile belirlenmiş limitler içerisinde uyum içinde olması ve güvenilirliği sağlamasıdır. Ölçmeye tabi olan büyüklük bir referansa sahip olmadığı durumlarda ; söz konusu fiziki büyüklük , temel ve/veya türetilmiş fiziki büyüklüklerin boyut analizi yapılarak “ İzlenebilirlik “ sağlanabilir. Ölçülen fiziki büyüklüğün bir ulusa referansı ‘da yok ise “ İzlenebilirlik ile ilgili uygulama , uluslararası kabul edilmiş referanslar veya yöntemler ile sağlanmalıdır. Bu gibi durumlarda ölçüm sonuçları ,laboratuvar deneyleri ve / veya kalibrasyonlarla doğrulanmalı ve belgelendirilmelidir. İzlenebilirlik kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için “ Referans Standart ” , “ Kalibrasyon Zinciri ” ,” İzlenebilirlik Prensipleri “ gibi kavramlara açıklık getirilmesi gerekmektedir[2,7,8, 9,10,11].

2. REFERANS STANDART KAVRAMI

Birincil Referans Standart: Belirli bir alanda en yüksek metrolojik vasfa sahip ölçme teçhizatı,

Uluslararası Referans Standart: Uluslararası konferans veya konvansyonla kabul edilmiş ölçme referans standardı,

Ulusal Standart: Ele alınan büyüklüğe ait, ülkedeki diğer bütün standartların değerlerinin temeli olduğu, resmi ve ulusal bir kararla kabul edilen standart,

Referans Standart: Genelde belirli bir mahalde mevcut olan en yüksek metrolojik vasıfta olup, o mahalde yapılan ölçümler için referans teşkil eden standart.

Bu tanımlar hiyerarşik sırda verilmiştir. Alt seviyede bulunan bir referans, kesintisiz bir kalibrasyon zinciri içinde, ardaşık mukayeseli ölçümler vasıtasıyla , ulusal veya birincil referans standarta bağlanmalıdır. Kalibrasyon zinciri; ölçüm sonuçlarını, ölçüm sonucuna bağlı belirsizlik değerini SI birimler sistemi içinde teminat altına almaktadır. Kalibrasyon işleminin sonucu, kalibre edilen büyüklüğün belirsizlik aralığının genişliği değiştirmektedir. Belirsizlik aralığının değişimi ; deney şartlarına etalonun kalitesine ve kullanılan mukayeseli ölçüm teçhizatında bağlıdır. Ölçme etalonları, beraberlerinde, “ Belirsizlik Piramidi “ kavramı ile anılmaktadır. Belirsizlik değerinin, birincil standardan alt seviye referanslara doğru giderek genişleyen bir yönü vardır[2,9,12,13,14].

3. KALİBRASYON ZİNCİRİ

Metroloji sistemi içerisinde gerçekleştirilen ve/veya muhafaza edilen Ulusal veya Birincil referans standartlar bir kalibrasyon zincirinin temel dayanak noktalarını oluşturur. Bu referanslar yardımıyla, metroloji sistemi dahilinde yetkilendirilmiş veya yüksek doğruluklu standartlara sahip laboratuvarlar ile sistem dışında bulunan özel statüye laboratuvarlar,

referanslarını; kesintisiz, ardaşık ölçümlerle ve uygun karşılaştırma metod, yöntem ve teçhizatlarıyla en üst referansa bağlamak süretiyle kalibrasyon zincirini oluştururlar [2,22,23].

4. İZLENEBİLİRLİK PRENSİPLERİ

Sanaileşmiş bir çok ülkede uygulanmakta olan yeni kalite anlayışı gereği, sanayi kuruluşları; ürünün, belirlenmiş şartlara uygunluğunu göstermek amacıyla, sahip olduğu, ödüş aldığı ve /veya alıcının temin ettiği muayene, ölçme ve deney teçhizatının kontrol, kalibrasyon ve bakımı sağlamalıdır. Metroloji açısından bakıldığında yukarıda söz edilen izlenebilirlik şekli “TEKNİK İZLENEBİLİRLİK “ olarak adlandırılabilir. İzlenebilirlik kavramını sağlamlaştırılması için teknik izlenebilirliği Döküman İzlenebilirliği ile tamamlanması gerekir. Döküman İzlenebilirliği, üretimin her safhasında; ölçme, deney ve kalibrasyonlar için yazılı prosedürler hazırlamak; ölçme teçhizatının kalibrasyonu, uygunluk belgesine haiz laboratuvarlarda yaptırdıktan sonra buradan elde edilen kalibrasyon dökümanları ve bilgileri döümant etmek; üretim sürecinde elde edilen tüm tüm bilgi muhafaza edilmelidir. Ayrıca izlenebilirliği sağlamaya yönelik, laboratuvarlar bulundurdukları çalışma referans standartlarını “ Laboratuvarlararası Karşılaştırma Ölçümlere” sokarak referans ölçme standartlarının yeterliliği , güvenirligi ve laboratuvarın çalışmasını doğrulamalıdır. Karşılaştırma ölçümleri, laboratuvarların verdikleri kalibrasyon hizmeti ve ölçme kapasiteleri karşılaştırmak anlamına gelmez. Laboratuvar larşılaştırma ölçümleri, bir metroloji laboratuvarının bulundurduğu referans standartlarını sistematik hatalarının etkileyen faktörlerin ve kalibrasyonda referans standartların sistematik hatalarının etkileyen faktörlerin ve kalibrasyonda kullanılan teçhizatların doğruluğunun tespiti için kullanılan bir yöntem olması yanısıra, laboratuvarlarının akreditasyon koşullarını yerine getirip getirmediğininide değerlendirmektedir. Karşılaştırma ölçümleri sonunda ortaya çıkan bilimsel, teknik ve özel sorunlara çözüm getirme açısından önemli bir araçtır. Bir kalibrasyona izlenebilir diyebilmemiz için aşağıdaki koşulları yerine getirmelidir;

- a. Kalibrasyonlar, uygun ortam ve teçhizat ile yapılmalıdır,
- b. Kalibre edilecek cihazın belirsizliğine uygun referans kullanılmalıdır,
- c. Teknik ve döküman izlenebilirliği sağlanmalı,

Kalibrasyon için teknik ve idari prosedürler oluşturarak, kalibrasyon sonuçlarını ve metrolojik karakteristikler açıkça ifade edilmelidir [2,7,8, 9,10,11].

5. UZUNLUK BİRİMİNİN REFERANS STANDARDI

1983 yılında PARIS’te BIPM’de toplanmış olan “ Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı”nda (CGPM), “ Metre Tanımı İçin Danışma komitesi “ (CCDM)’nce önerilen ve uzunluk standardını, saniyenin $\frac{1}{299.792.458,00}$ ‘1 kadar bir zaman aralığı içinde elektromanyetik dalganın vakumda aldığı yol uzunluğu olarak teklifi onaylamıştır. BIPM, metrenin pratikte gerçekleştirilmesi ile ilgili aldığı tavsiye kararları çerçevesinde, tanımlanmış olan uzunluk referans standardı için gerçekleştirme metodu ve yöntemlerini belirlemiştir. Metrenin tanımına uygun olarak gerçekleştirilmesinde en çok “ Frekansta Stabilize Edilmiş Laser “ teknikleri kullanılmaktadır. Uzunluk referans standardı olarak kullanılan “ Frekasta Stabilize Edilmiş Laserlerin Stabilizasyon Parametreler ve Yöntemleri” Tablo 1’de verilmiştir.

Frekansta Stabilizasyon Yöntemi	Frekans Değeri (f)	Dalga Boyu (λ)	Geçiş Çizgisi	Gaz Basıncı (Pa)	Belirsizlik Değeri	Hücre Sıcaklığı (°C)
He-Ne/ CH ₄	88376181608 kHz	3.3923139 μm	P(7), F 171	≤ 3	± 1.3*10 ⁻¹⁰	20
He-Ne/ ¹²⁷ I ₂	520206808.5 MHz	0.5762947 μm	P(62) "O"	≤ 3	± 6*10 ⁻¹⁰	6 ± 2
He-Ne/ ¹²⁷ I ₂	473612214.8 MHz	0.6329913 μm	11-5, R(127,İ)	≤ 3	± 6*10 ⁻⁹	15 ± 1
He-Ne/ ¹²⁷ I ₂	489880355.1 MHz	0.6119707 μm	9-2, R(47), "0"	≤ 3	± 1.3*10 ⁻⁹	-5 ± 2
He-Ne/ ¹²⁷ I ₂	582490603.6 MHz	0.5146734 μm	43 Om, o (13)3	≤ 3	± 1.3*10 ⁻⁹	-5 ± 2

Tablo 1: Laserin stabilizasyon Parametreleri ve Yöntemleri

Laserin frekans stabilizasyonu , frekans değerine, kullanılan elektromanyetik dalganın dalga boyuna ve vakumdaki hızına bağlıdır.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Ayrıca frekans değeri laserin rezonans kavitesinin uzunluğuna da bağlıdır.

$$\lambda_r = \frac{k * c}{n * L}$$

Rezonans kavitenin uzunluğundaki bir değişim rezonans frekansının değişimi dolayısıyla laserin ışın dalga boyunun değişimi demektir. Uzunluk referans standardı için ilk yaklaşım olarak frekans stabilizasyonu şu şekilde ifade edilebilir [2,14,15,16,17,18];

$$\frac{\partial v_r}{v_r} = -\frac{\partial L}{L}$$

Uzunluk referans standardının tanıma uygun gerçekleştirilmesinde rezonans kavitenin uzunluğunun sabit tutulması, laserde yüksek değerde bir kararlılık sağlanması anlamına gelmektedir. Pratik uygulamalarında, uzunluk referans standartlarının gerçekleştirilmesinde rezonans kavitenin sabit tutulması yöntmi ile beraber doymuş soğurma yöntemide uygulanmaktadır. Doymuş soğurma ile stabilize edilen laser sistemlerinde, optik kavite içersine soğurucu ¹²⁷I₂ içeren optik bir hücre yerleştirilir ve laseri ışın frekansı ile soğurucu ortamın soğurma çizgisine karşılık gelen frekans eşitleninceye kadar, rezonans kavitenin boyu servo sistemlerin yardımıyla ayarlanır ve laserin ışın demetinin frekansı, iyodun ince yapı frekansına kilitleyerek ışın frekansı sabit tutulur. Şekil 1'de gösterilmiş olan benzer servo kontrol sistemlerin yardımı gerçekleştirilmektedir. Uzunluk referans standardının kararlılığı sağlayan servo-kontrol sistemi, piezo kristal yardımıyla (PZT) üçüncü harmonik kilitleme tekniği kullanarak laser ışın demetini F₀ frekansında module edilmekte ve module edilmiş olan ışın demeti sistem içersinde bulunan optik detektör tarafından faz duyarlı tekniği kullanılarak analiz edilmektedir. Ayrıca 3 F₀ frekansı (üçüncü harmonik) referans sinyal olarak senkron algılama birimine uygulanmaktadır. Amaç, laser ışın demetinin frekansını, iyodun ince yapı frekansına kilitlemek, dolayısıyla laser frekansını sabit tutmaktır. Bu sinyal senkron algılamadaki sinyal integratörün girişine verilerek PZT1 aracılığıyla sistemde frekans kaymaları olduğu durumlarda kavite uzunluğunu değiştirerek frekansı sabit tutar. Modülasyon frekansı olarak genellikle bu tip laserlerde 6 MHz kullanılmaktadır. Laser frekansının kaymasına neden olan önemli parametreler; laser çıkış gücünün kararlılığı, iyod hücresinin iç basıncı ve modülasyon genliğidir. Bu

parametrelerde oluşacak değişimler laser frekansının kaymasına sebep olur. Bu şekilde yeni metre tanımına uygun olarak gerçekleştirilmiş olan Uzunluk Referans Standardı' dalga boyu bir alt seviye ölçüm sistemlerine transfer edilmek üzere enterferometrik ölçü sistemlerinde kullanılabilir. Dolayısıyla enterferometre tekniği kullanarak Uzunluk Referans Standardı'ndan bir alt seviye ölçüm sistemlerine uzunluk birimi transfer edilebilir. Uzunluk biriminin gerçekleştirilmesinde ve transferinde mutlaka yeni tanımı göre uygulanması diye bir zorunluk mevzubahis değildir. Uzunluk referans standardı olarak bir kripton lambası ve bir enterferometre ölçüm sistemide kullanılabilir. Ancak bu referans olarak kullanılan sistemin uluslararası mukayeseli ölçümleri yapılmış olması gerekmektedir ayrıca ihtiyaç duyulan hassasiyet ve belirsizlik değerine de bağlıdır [2,11,19,22,23,24,].

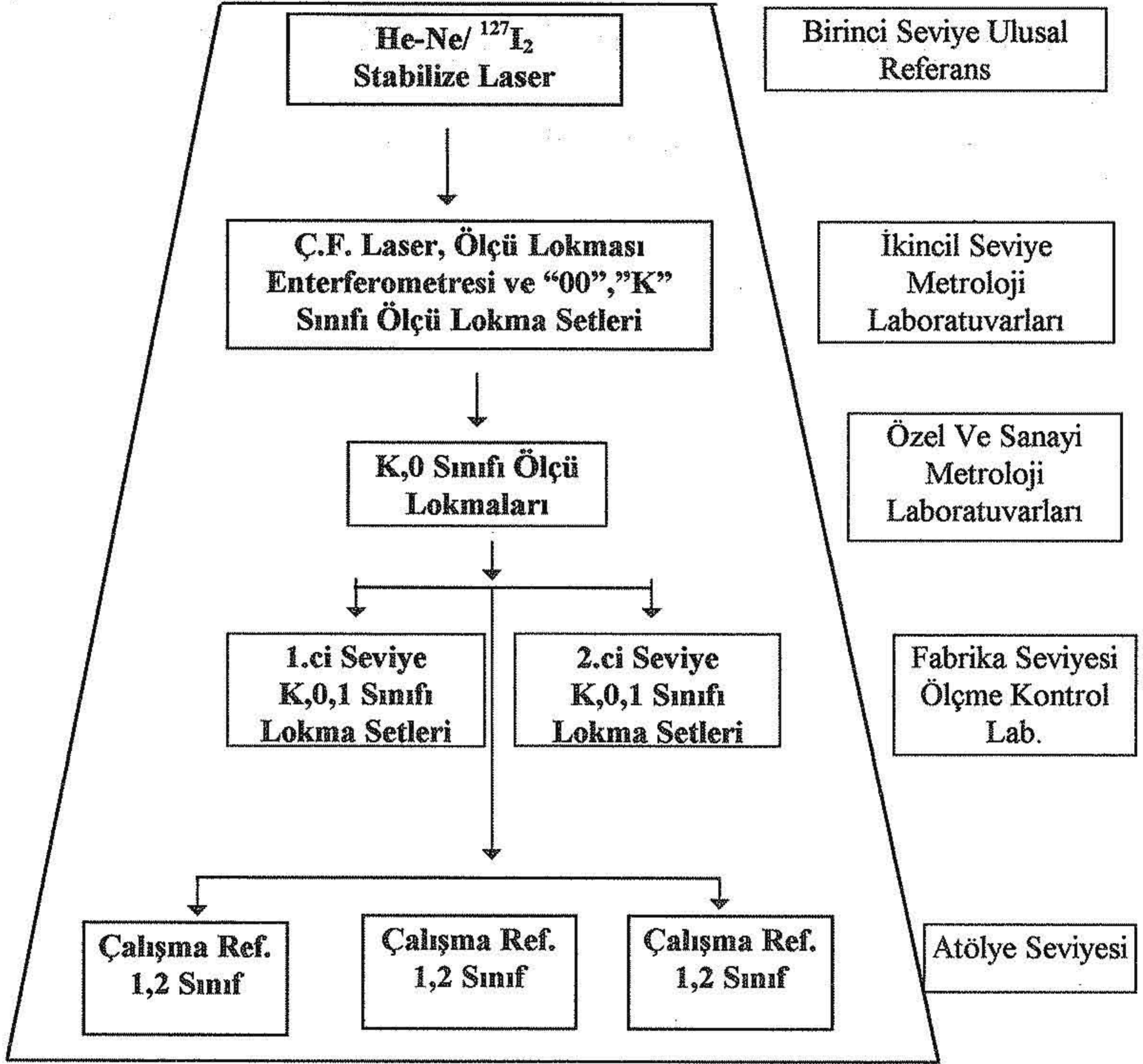
6. İKİNCİ SEVİYE UZUNLUK VE BOYUTSAL METROLOJİ LABORATUVARLARIN REFERANS STANDARDI

Birincil seviye metroloji laboratuvarlarının esas görevi ulusal uzunluk referans standatının geliştirilmesi, muhafazası ve yeni ölçüm teknikleri geliştirmesi yanısıra uzunluk birimini ikincil seviye laboratuvarlara transferide görevleri arasındadır. Ancak doğrudan endüstriyel boyutsal metroloji kalibrasyon faaliyetleri ile ilgili çalışmalar ikinci seviye metroloji laboratuvarlarında gerçekleştirilmektedir. Bu laboratuvarlarda muhafaza edilen referans standartlar ile sanayi kuruluşların ve özel metroloji laboratuvarların transfer, referans ve çalışma standartlarının kalibrasyonu gerçekleştirilmektedir. Gelişmiş ülkelerde ikinci seviye metroloji laboratuvarlarının referans standartları teknolojik seviye ve ihtiyaç duyulan doğruluk seviyesine bağlı olarak çeşitlilik arz etmektedir. Örneğin Fransa ve Almanyanın bazı ikinci seviye laboratuvarları; Frekansta Stabilize Edilmiş Laser, Çift Frekans Mesafe Ölçer Laserleri, Ölçü Lokma Enterferometreleri, Çeşitli Optik Mesafe Ölçüm Cihazları hepsini bulundururken bazıları bu cihazların yalnız bir kısmını bulundurmaktadır. Buda ikinci seviye metroloji laboratuvarların donanımı, teknolojik taleple doğru orantılı olduğunu göstermektedir. İkincil seviye metroloji yalnızca olmak yalnızca gerekli donanımı sağlamakla yeterli olmamaktadır. Laboratuvarlar uygun laboratuvar koşulları, akreditasyon için yeterlilik belgesi ve personel yeterliliği yanısıra yeni kalite anlayışı çerçevesinde EN 45000 serisi standartlarının koşullarında yerine getirmek zorundadır. Bu tip laboratuvarlar yalnızca ölçü lokmaları kalibrasyonu faaliyetinde bulunuyorsa, bünyelerinde ölçü lokması enterferometresi , elektromekanik ölçü lokma komparatörü ve yüzey kalitesi ölçme cihazları, sıcaklık, nem, basınç gibi yardımcı izlenebilir ölçme / kalibrasyon teçizatları ile donatılmalıdır. İkinci seviye boyutsal metroloji laboratuvarlarında yalnızca ölçü lokmalar kalibre edilmemektedir. Bu laboratuvarlar çeşitli geçer-geçmez masterlar, ölçü pimleri, üç boyut ölçme cihazları (CCM) ve ölçme tezgahları kalibrasyonu için çeşitli referans ölçü plakaları ve adım cetveleri ve Çift Frekans laser enterferometresi entegre edilmiş ölçme tezgahları vasıtasıyla sanayinin referans transfer ve çalışma standartları kalibre edilmektedir[2,12,20,23].

SONUÇ

Uzunluk ve boyutsal metrolojide kullanılmakta olan referans standartlar hiyerarşik izlenebilir bir ölçme sistemi dahilinde ulusal referansa olan He-Ne/ $^{127}\text{I}_2$ stabilize lasere bağlanacak şekilde olmalıdır. Sanayide kullanılan ölçme referans standartları, sanayi kuruluşun ihtiyaç duyduğu hassasiyete ve doğruluğa bağlı olarak seçilmelidir. Hassas ölçme referans standartları özel koşullarda muhafaza ve kalibre edildiğinden, ihtiyaç duyulan hassasiyet'ten daha

hassas ve ölçme referansları kullanmak daha hassas ölçüm yapma anlamına gelmez. Uzunluk ve boyutsal metroljide ölçü lokmaları için hiyerarşik izlenebilirlik zinciri ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1. : Ölçü Lokmaları İçin Uzunluk Biriminin İzlenebilirlik Zinciri

KAYNAKÇA

1. BARBATO G., "Basic Metrology and Application" C.N.R. Lavratto & Bell Torino 1994.
2. BAYTAROĞLU Ş., "Uzunluk Biriminin Birincil Ulusal Referans Std. Sanayiye Transferi ve Ç.F. Laser Enterf. İle Ölçü Lokmalarının Kalibrasyonunun Metodik Çözüm" Doktora Tezi YTÜ,1996.
3. BELANGER B.C. et al., "Regional Measurement Assurance Programs for Physical Measurements" ACTA IMECO pg. 649-656,1979.
4. BERTINETTO F. et al., "Present Development of Iodine Stabilized Laser at the Instituto di Metrologia G. Collonetti" Alta Frequenza Vol. XLIV N. 19 October pg. 279-283, 1975.

5. BIPM, "Recommendations of the Int. Committee for Weights and Measures on the Realization of the Meter" PTB- mitt. Pg. 345-348, 1984.
6. BIPM, Vocabulaire International des Terms Fondamentaux et Generaux de Metrologie " BIPM 1984.
7. BIPM, " Documents Concerning the New Definition of the Meter" Metrologia Nr. 2 Vol.19, November 1984.
8. BIPM, " Proces-Verbaux dela 73^{eme} Sesion. Tome 52 " CIPM 1984 Sevres,pg. 21-41,1984.
9. BIPM , " Proces - Verbaux Com. Int. Poides et Mesures " 51, pg. 25-28, Recomandation (CI),1983.
10. BIRCH K.G., " Uncertainty in The Measurement of Gauge Blocks by Interferometry " NPL Report MOM 29,1979.
11. BRAY A., " New Methods and Reserch Trends in the Dissemination of the Standards of Measurement Units" ACTA IMEKO, pg. 627-642, 1979.
12. CAMERON J.M., " Measurement Assurance " NBS internal Report Nr. 77-1240, April 1977.
13. CHARTIER J.-M., et al., 1 Recent Activities at BIPM in the Field of Stabilized Laser -Radiarion Recommended for the Definition of the Meter " IEEE Trans. Instrum.Meas., Im 40 pg. 181-184, 1991.
14. DARNEDDE H., " High-Precision Calibration of Long Blocks Using Vacuum Wavelength Comparator " Metrologia 29 pg. 349-359, 1992.
15. GOLUBEV A.N., et al., " Refinement of the Metrological Chain for Calibration of Long -Distance Measurement System " Metrologia No. 4, Vol. 31 June 1994.
16. GONELLA L., " The Unit of Measurement in the Operational Approach to Measurement " IMEKO Proc. Pg. 6-11,1994.
17. HARTMANN O., et al., " The Gauge Block Interferometer of the DAMW of GDR Used for Testing Precision Scales " DAMW Report 1989.
18. HELMCKE J., " Stability and Reprodusibility of He-Ne Lasers " AMCO-5, 1975.
19. HEWITT P.L., "Modern Techniques in Metrology" Worald Scientific pg. 1-24, 1984.
20. HOFMANN D. et al., " Theoretical, Physical and Metrological Problems of Further Development of Measurement Techniques and Instrumentation in Scince and Technology" ACTA IMEKO pg. 607-627, 1979.
21. HOLMES P. et al., " Std. Ref. Temperature for Industrial Length Measurements" Microtecnic 7 (1), 8. ISO-1 1963.
22. HP., " HP Laser Interferometre User Guide et Technical Specification " HP Book, 1991.
23. KRAMER B., " The Art of Measurement " PTB Braunschweig pg. 18-21, 161-197, 1988.
24. MILLEA A., " Cartea Metrologului " Editura Tehnica, București 1984.
25. SEIVANOV M.N., " Definition of Metrology, Quantity and Measurement" Izmeritel Tekhnika, No. 2, pg. 11-15, February 1992.