

TÜRKİYE'NİN ULUSAL DALGABOYU STANDARDININ İZLENEBİLİRLİĞİ

İsa Araz, Madlen Erin, Igor Malinovsky, Alexander N. Titov
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)
P.K. 21, 41470 Gebze/KOCAELİ

Özet: TÜBİTAK UME'de, He-Ne/I₂ kullanılarak yapımı gerçekleştirilmiş olan lazer standardının özellikleri " He-Ne Lazer Kullanılarak Türk Dalgaboyu Standardının Oluşturulması" adlı bildiriye sunulmuştur. Bu bildiriye ise, Türk Dalgaboyu Standardının izlenebilirliğinin nasıl sağlandığı ve uluslararası karşılaştırma sonuçları verilecektir.

1. Giriş

Uluslararası Ölçü ve Ayarlar Konferansı'nın (CIPM) tavsiyesi ve metrenin yeni tanımına uygun olarak [1], birincil seviye dalgaboyu standardı olarak, lazer standardı kullanılır. Bu lazer, frekansı, zaman ve frekans standardı olan sezyum standardı ile karşılaştırılmış olan lazer standardıdır. İyot moleküllerindeki hyperfine enerji geçişleri kullanılarak doymuş soğurum tekniği ile kararlı hale getirilmiş ve 633 nm'de ışınım yapan He-Ne lazer kullanılarak UME'de dalgaboyu standardı oluşturulmuştur. Bu standardın Türk Ulusal Standardı olarak kabul edilmesi, uluslararası düzeyde izlenebilir olması ile mümkün olabilmektedir.

Dünyada bu tip standarda sahip bir çok ülke bulunmaktadır ve bu ülkeler izlenebilirliklerini, uluslararası karşılaştırmalar yapmak suretiyle sağlamaktadırlar. Dünyanın çeşitli ülkelerinden gelen lazer standartları, bu konuda yetkili bir kuruluş olan BIPM'de (uluslararası referans olarak kullanılır), BIPM'in (Uluslararası Ölçü ve Ayarlar Bürosu) lazer standartları ile karşılaştırmaya tabi tutulmaktadır. BIPM'in lazer standardı, sezyum saati [2] ile karşılaştırılmış olduğundan sezyumun frekansına izlenebilir. Bundan dolayı bir lazer standardının BIPM'in lazer standardı ile karşılaştırılarak izlenebilirliğini sağlaması mümkündür.

2. UME ve BIPM He-Ne Lazer Dalgaboyu Standartları Arasındaki Uluslararası Karşılaştırma ve Sonuçları

Türk Dalgaboyu standardının izlenebilirliğini sağlamak üzere, UME-L3 standardı BIPM'e götürülmüş ve 14-23 Kasım 1994 tarihleri arasında BIPM4 lazer standardı ile karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Beat frekans ölçüm yöntemi kullanılarak yapılan bu karşılaştırma sonucu, UME-L3 lazeri ile BIPM4 lazerleri arasında sadece 0,7 kHz lik bir fark bulunmuştur [3].

Bu tip karşılaştırmalarda iki önemli parametre vardır. Birisi frekansın tekrarlanabilirliği, diğeri ise frekansın kararlılığıdır. Bu karşılaştırma sonucu elde edilen frekans tekrarlanabilirliği ilk dört günlük ölçümler için bağıl değer olarak 10^{-13} ten düşük bulunmuştur. 20,000 saniyelik ölçüm süresi için elde edilen frekans kararlılığı ise bağıl değer

olarak 3×10^{-14} (Şekil.2) olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, gerek frekans tekrarlanabilirliği gerekse frekans kararlılığı açısından şimdiye kadar elde edilmiş en iyi değerlerdir.

BIPM4 lazerin frekansı, mutlak frekans ölçüm yöntemi kullanılarak sezyum (Cs) saatine karşı ölçülmüş, bu ölçüm sonucu frekans değeri olarak 473 612 214,705 MHz ($\sigma=0,012$ MHz) bulunmuştur. Bu ölçümün belirsizliği 10^{-11} mertebesindedir. UME-L3 ile BIPM4 lazerleri arasında yapılan karşılaştırma sonuçları, BIPM tarafından verilmiş olan 27 Ocak 1995 tarihli sertifikada sunulmuştur. Buna göre UME-L3 lazerin frekans değeri,

$$f = 473\,612\,214,705 \text{ MHz} \quad (\sigma = 0,012 \text{ MHz})$$

Işık hızı $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ olmak üzere $\lambda = c/f$ bağıntısı kullanılarak bulunmuş olan dalgaboyu değeri de

$$\lambda = 632,991\,398 \text{ nm'dir.}$$

UME de hazırlanmış olan UME-L1 ve UME-L2 standartları, UME-L3 standardı ile karşılaştırılmak suretiyle izlenebilirlikleri sağlanmıştır.

3. İzlenebilirlik Zinciri

UME dalgaboyu standardının izlenebilirlik zinciri Şekil.1'de gösterilmiştir. BIPM4 lazerin frekansı sezyum frekansına karşı ölçülmüş ve frekansın tekrarlanabilirliği 5 kHz olarak bulunmuştur. UME-L3 lazeri için bulunan tekrarlanabilirlik değeri ise sadece 300 Hz civarındadır. Bu sonuç, bu tip lazer standartları için kayda değer bir ilerleme olduğunu göstermiştir.

4. Uzunluk Standardının Oluşturulması

He-Ne lazer kullanılarak oluşturulan dalgaboyu standardı, uzunluk ölçümünde kullanılmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu dalgaboyu standardının, fiziksel büyüklükleri ölçecek şekilde kullanılması gerekir. Bu fiziksel büyüklükler, polişlenmiş paralel iki yüzey arasında, çelik, tungsten ya da seramikten imal edilmiş, gauge blok denilen ölçüm blokları veya silindirik uzunluk çubukları olabilir. Endüstri ve kalibrasyon laboratuvarlarında, ikincil seviye uzunluk standartları olarak kullanılan gauge blokların (ölçü blokları) boyu 1-1000 mm, uzunluk çubuklarının boyu ise 25-1500 mm arasında olabilir. Bunlar, birim uzunluk standardını diğer uzunluk standartlarına çevirmek için kullanılırlar. Yüksek doğruluklu uzunluk çubukları ya da gauge bloklar, iyot molekülü kullanılarak frekansı kararlı hale getirilmiş He-Ne lazerin dalgaboyu cinsinden ölçülerek kalibre edilirler. Bu işlem enterferometre kullanılarak yapılır. Örneğin Michelson enterferometresini ele alınarak enterferometre ile uzunluk ölçümünün nasıl yapıldığı incelenebilir. Michelson enterferometresinde, biri hareketli diğeri sabit iki ayna bulunmaktadır ve uzunluğu ölçülecek olan gauge blok hareketli ayna üzerine konmaktadır. He-Ne lazer standardından gelen ışının (beam), beam ayırıcı (beam splitter) ile her iki ayna üzerine düşürülmesi sonucu aynalardan

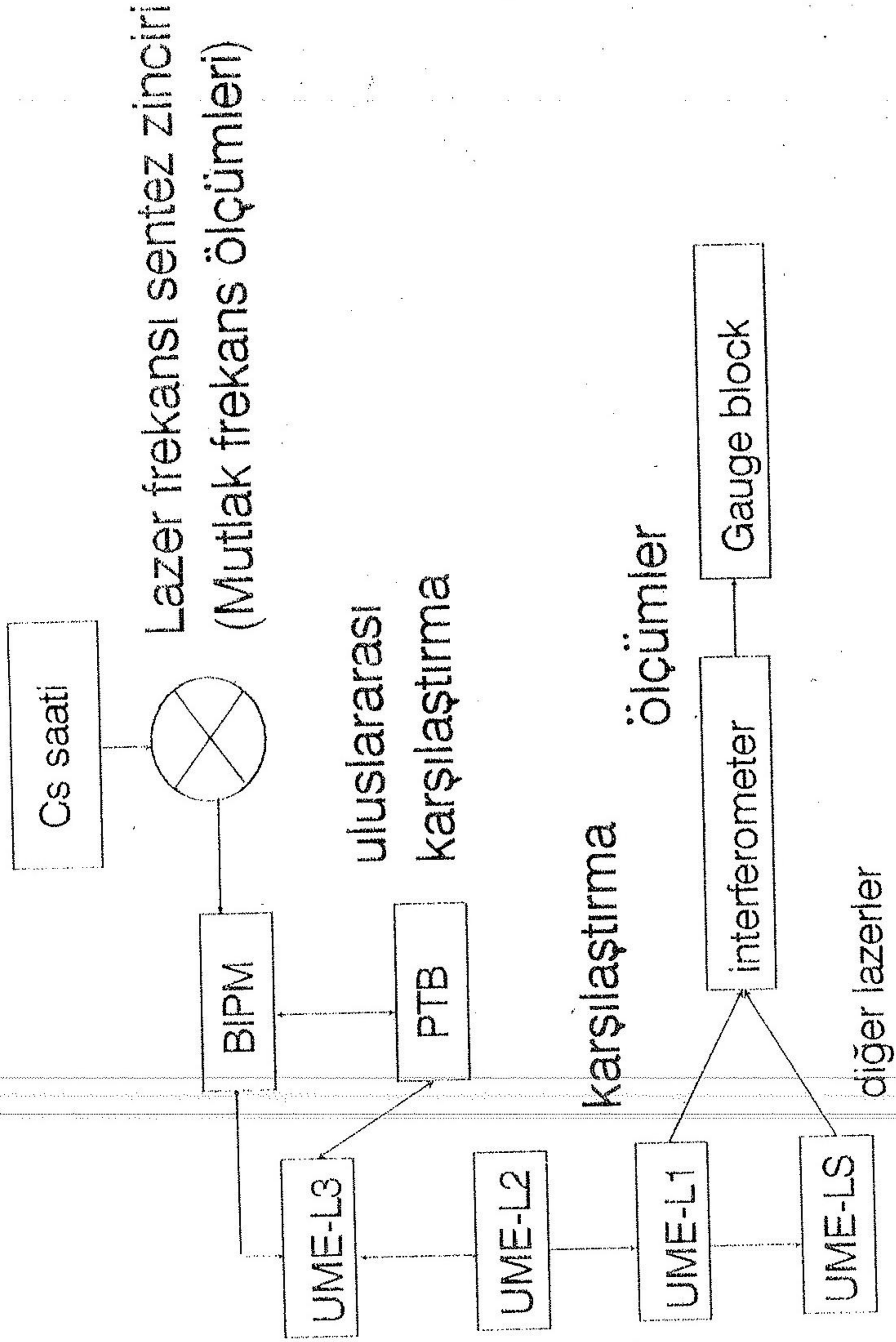
geri yansıyan ışınlar birbirleriyle girişim oluştururlar. Bu girişim sonucu, aydınlık ve karanlık saçaklar (fringe) meydana gelir. İki aydınlık ya da iki karanlık saçak arası mesafe He-Ne lazer ışığının dalgaboyunun yarısına ($\lambda/2$) eşittir. Hareketli aynayı ilerletmek suretiyle gauge blok üzerine düşen aydınlık ve karanlık saçak sayısı, sayıcı (fringe counter) ile sayılarak gauge bloğun uzunluğu He-Ne lazerin dalgaboyu cinsinden ($\lambda/2$ nin katları olarak) ölçülmüş olur. Bu şekilde, enterferometrik metotla 10^{-8} mertebesinde bir ölçüm belirsizliği elde etmek mümkün olmaktadır.

5. Sonuç

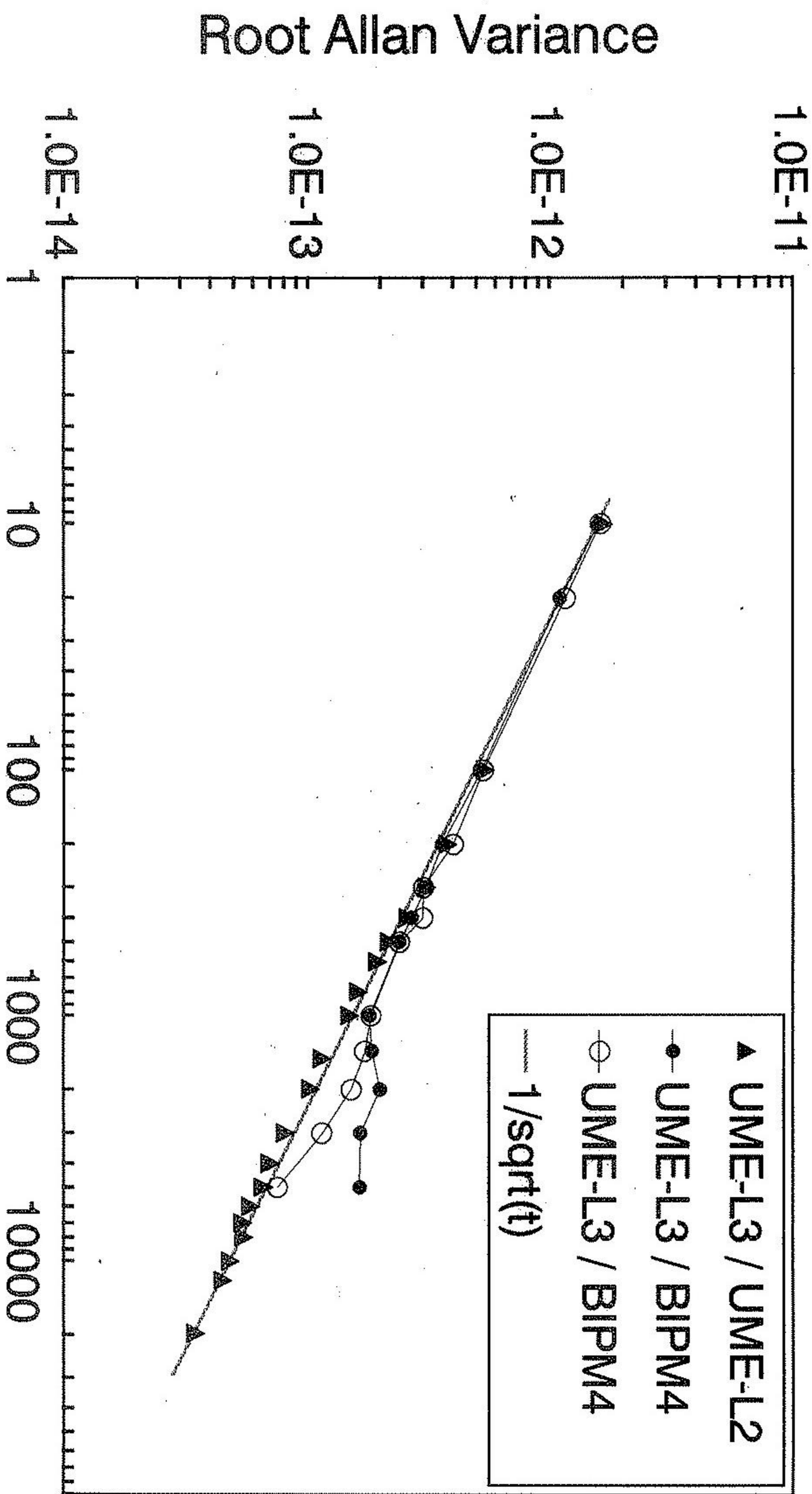
He-Ne lazer kullanılarak uzunluk standardı oluşturulması amacıyla 1.5 yıl önce başlanan çalışmalar sonucu, 633 nm'de (kırmızı ışık) ışık yayan Türk Ulusal Dalgaboyu Standardı oluşturulmuş ve BIPM ile yapılan başarılı karşılaştıma (intercomparison) sonucu uluslararası izlenebilirliği sağlanmıştır. Bundan sonra yapılması hedeflenen, 612 nm (turuncu ışık) ve 543 nm'de (yeşil ışık) ışık yayan lazer standartları yapılması ve enterferometre kurulmasıdır.

Kaynaklar

1. Quinn T.J. Mise en Pratique of the Definition of the Metre (1992), Metrologia, 1994, 30, 523-541
2. J.J. Zondy, et al, High Level Accuracy Measurements of the Absolute Frequency of the Red He-Ne/ I_2 Laser, SPIE, 1992, 1837, 405-411.
3. M. Erin, I. Malinovsky, A. Titov, A. Chartier, J.-M. Chartier, Intercomparison of the BIPM and UME Primary Laser Wavelength Standards Operating at 633 nm. Metrologia, 1995, 32, 4, (yayınlanacak).



Şekil 1.



Ortalama alma suresi, s

Sekil 2.