

# ULUSAL TİTREŞİM ÖLÇEĞİNİN OLUŞTURULMASI

*Enver SADIKHOV, Eyüp BİLGİÇ*  
*TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü*

## ÖZET

*Endüstride mekanik titreşimlerin ölçümleri için kullanılan çeşitli dönüştürücülerin kalibrasyonlarını uluslararası standartlara izlenebilir şekilde gerçekleştirmek için ülke içerisinde titreşim ölçeğinin oluşturulması gerekir. Titreşim ölçeği her ülkede ulusal metroloji merkezlerde farklı titreşim kaynakları ve değişik titreşim bölgelerinde kullanılabilen titreşim dönüştürücülerinden oluşturulur. Son yıllarda dünyadaki metroloji merkezlerindeki eğilim, titreşim ölçeğinin kalibrasyonları çok hassas şekilde yapılmış olan farklı titreşim ölçerler, genellikle ivme ölçerler, bazında kurulmasıdır. Değişik titreşim seviyelerinde ve frekans bölgelerinde ISO 5347 standardının şartlarına göre birincil düzeyde kalibre edilmiş ivme ölçerler referans standardı oluşturmaktadır ve bunlar diğer ivme ölçerlerin ikincil seviyeli kalibrasyonlarında kullanılmaktadır. Böylece titreşim ölçeğinin tabanını birincil kalibrasyon düzeneklerinin oluşturduğu bir gerçek. Birincil kalibrasyonların büyük çoğunluğu lazer enterferometre tekniği kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu bildiride UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında kurulmuş olan ulusal titreşim ölçeği ile ilgili çalışmalar sunulmaktadır.*

## 1. GİRİŞ

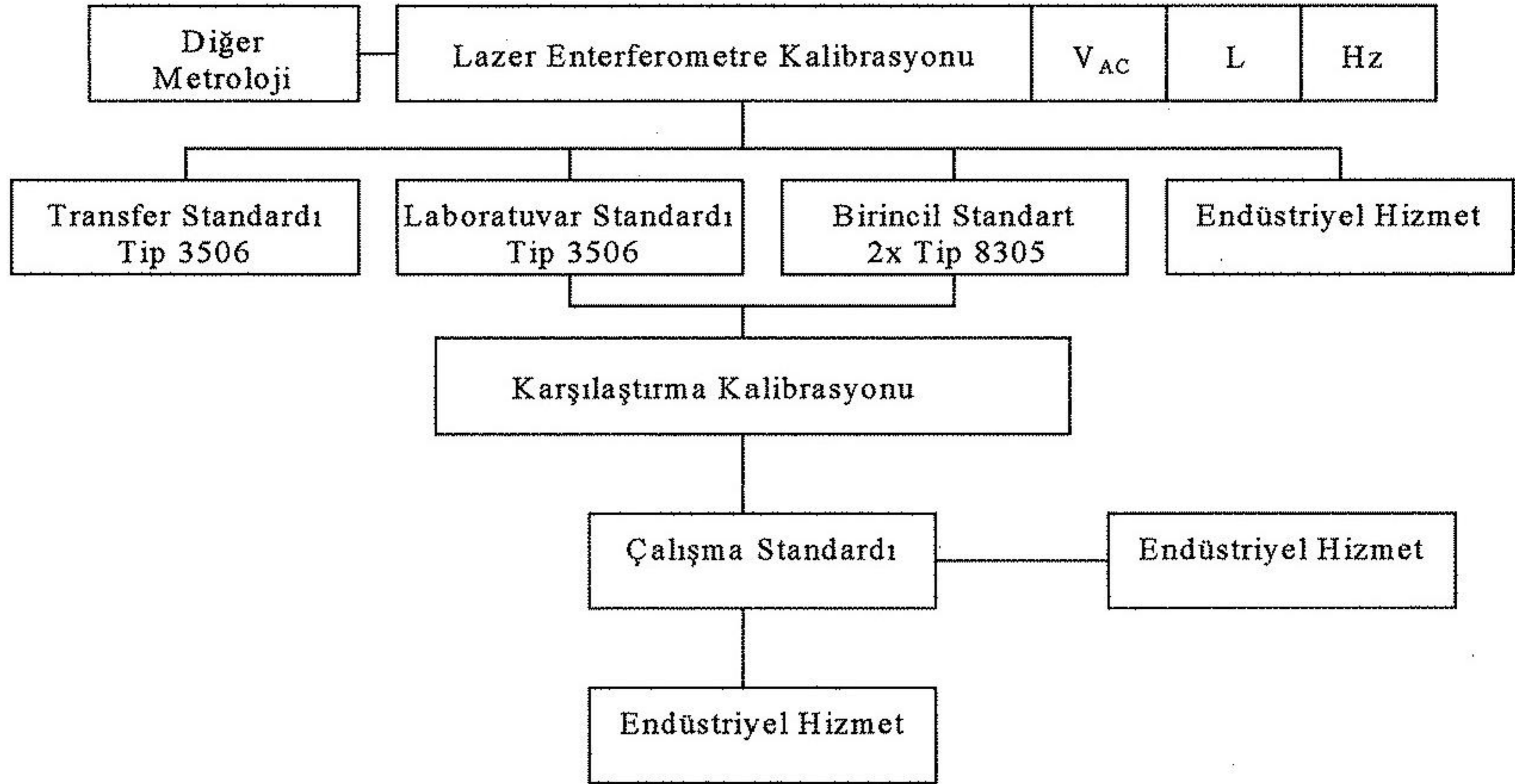
Mekanik titreşimlerin ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin ölçülmesi birçok endüstriyel uygulama ve araştırma açısından açınsından son derece önemlidir [1]. Titreşim ölçümleri çeşitli yöntemlerle farklı dönüştürücü (transducer) ve ölçüm cihazları kullanılarak yapılmaktadır. Yapılan ölçümler arasında uyumun sağlanması ve ölçüm sonuçlarını güvence altına alınması için ölçümlerde kullanılan teçhizatın düzenli aralıklarla ulusal standartlara izlenebilir kalibrasyonlarının yapılması gerekir. Böylece ulusal titreşim ölçeğinin oluşturulmasının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar.

Ulusal titreşim ölçeği her ülkede metroloji merkezler tarafından oluşturulur. Genellikle titreşim ölçekleri değişik titreşim seviyelerinde ve farklı frekans bölgelerinde kullanılabilen dönüştürücüler kullanılarak oluşturulur. Bu amaçla titreşim dönüştürücülerin, genellikle ivme ölçerler, hassas kalibrasyonu yoluyla birincil, ikincil ve çalışma standartlardan oluşan kalibrasyon zinciri kurulur. Titreşim metrolojisinde kalibrasyon zincirinin kurulması ISO'nun ilgili standartları doğrultusunda gerçekleştirilir [2]. Bu bildiride uluslararası standartlara uygun olarak UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında titreşim ölçeğinin ve kalibrasyon zincirinin oluşturulmasıyla ilgili çalışmalar sunulmaktadır.

## 2. TİTREŞİM ALANINDA KALİBRASYON VE ÖLÇÜM İZLENEBİLİRLİĞİ

UME Akustik ve Titreşim laboratuvarı, titreşim alanında mekanik titreşimlerin temel büyüklüklerinden olan doğrusal ivme birimi standardını birincil seviyede oluşturarak bunu ikincil ve çalışma standartlarına aktarır. Oluşturulan standardın kalitesinin kontrolü ve birincil seviyede çalışmaların teyidi transfer standartlar aracılığıyla uluslararası karşılaştırmalarla gerçekleştirilir. UME Akustik ve Titreşim laboratuvarı 1997 yılı içerisinde titreşim alanında uluslararası karşılaştırma yapacaktır.

Lazer enterferometre tekniği ile kalibre edilen Brüel & Kjaer Tip 8305 standart referans ivme ölçer ve Tip 2626 Şartlandırıcı Yükselteçten oluşan kalibrasyon seti doğrusal ivme biriminin oluşturulması ve muhafazası için kullanılır. Aynı yöntemle kalibre edilen diğer bir kalibrasyon seti, laboratuvarında karşılaştırma yönetimiyle yapılan ikincil seviyeli kalibrasyonlarda referans olarak kullanılıp, yapılan endüstriyel hizmetler aracılığıyla ivme biriminin ülkeye dağıtılmasında kullanılmaktadır.



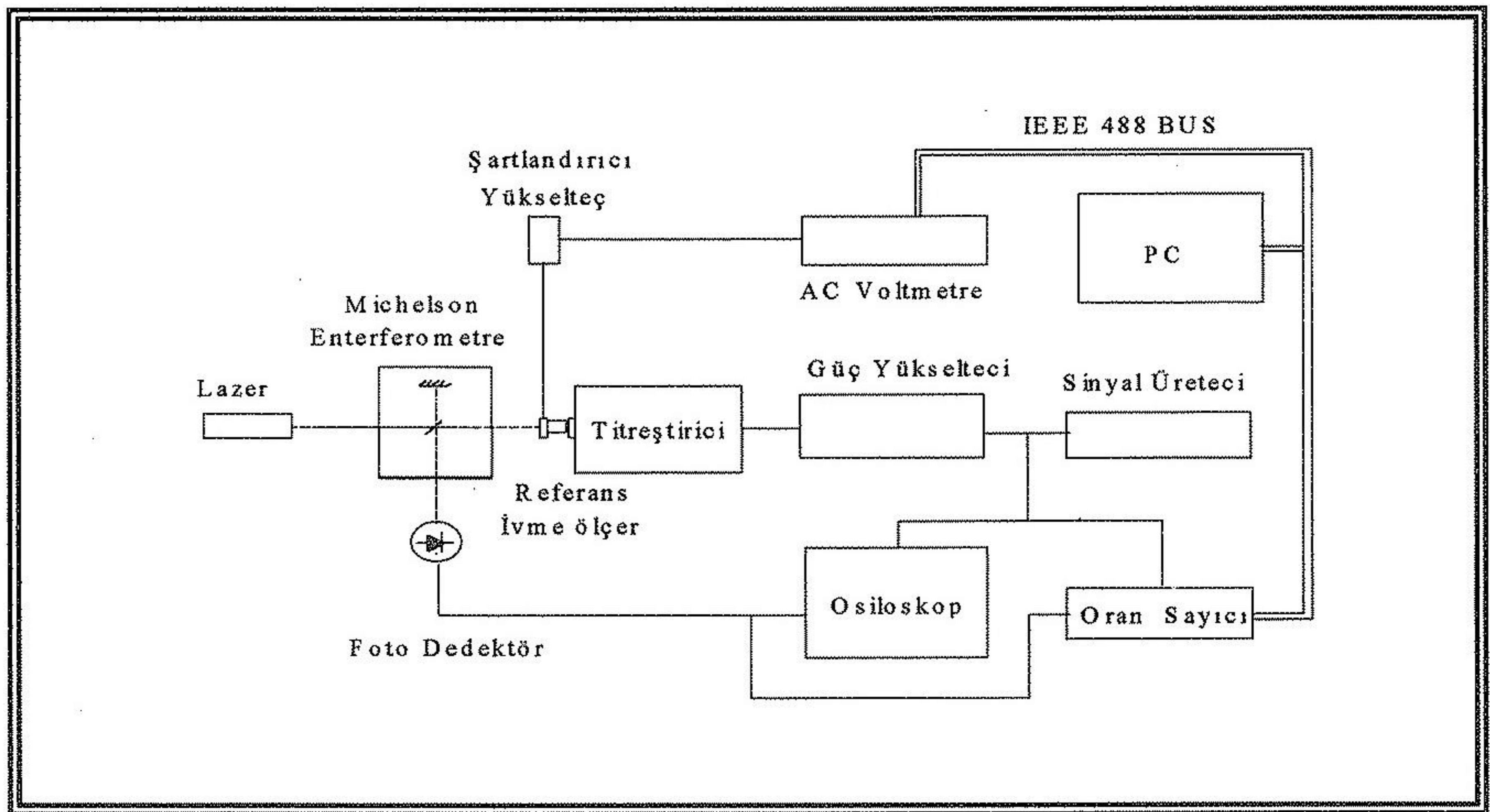
Şekil 1. Titreşim Alanında Kalibrasyon ve Ölçüm İzlenebilirliği

## 3. BİRİNCİL STANDARDIN OLUŞTURULMASI

Titreşim alanında birincil standart bir titreşim dönüştürücüsü üzerinden oluşturulur. ISO, birincil standart titreşim dönüştürücüsü olarak Brüel & Kjaer (B&K) firmasının ürettiği Tip 8305 olarak adlandırılan piezoelektrik ivme ölçeri tavsiye etmiştir. Titreşim standardı, adı geçen ivme ölçerin, seviyesi bilinen bir titreşime maruz kaldığında elektriksel çıkışının ölçülmesi ile oluşturulur. İvme ölçerin elektriksel çıkışının, titreşim seviyesine oranı ise ivme ölçerin hassasiyeti olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, doğrusal ivme birimi standardı, referans ivme ölçerin hassasiyetinin belirlenmesiyle oluşturulur. Dünyadaki metroloji merkezlerinde ivme ölçerin hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan teknik, lazer-enterferometre tekniğidir. Bu teknikte 20-

800 Hz frekans aralığındaki titreşimlerin yerdeğiştirmesi, enterferometre çıkışında optik girişim saçaklarının sayılması yöntemi ile lazerin dalga boyu cinsinden ölçülür. Titreşim sonucu piezoelektrik etkiden dolayı ivme ölçerin çıkışında oluşan polarizasyon yük, gerilime çevrilerek hassas voltmetrede okunur. Bu yöntemde kullanılan büyüklükler frekans, yerdeğiştirme ve gerilim ya da yük, sırasıyla temel veya türetilmiş SI birimleri olan Hz (1/s), m, V ve Q cinsinden ölçülür. Bu nedenle enterferometrik yöntem, mutlak yöntemdir. UME Akustik ve Titreşim laboratuvarında He-Ne lazer ( $\lambda=632.8$  nm) ve Michelson enterferometresi ile referans standart ivme ölçer kalibre edilerek titreşim alanında Türkiye'nin birincil standardı oluşturulmuştur [3].

UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarında standart referans ivme ölçerlerin birincil seviyeli kalibrasyonları için girişim saçaklarını sayma yöntemini kullanan düzenek Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Standart referans ivme ölçerlerin kalibrasyon düzenneđi

Bu düzenneğin temelini Michelson enterferometresi oluşturmaktadır. Genellikle bu tür düzeneklerde 632.8 nm dalga boyuna sahip He-Ne lazeri kullanılmaktadır. Lazer ışını, demet bölücü yardımıyla iki kola ayrılarak sabit ayna ve titreşim kaynağının üzerine monte edilmiş ivme ölçerin yüzeyinden yansımaktadır. İki farklı yüzeyden yansıyan ışınlar, bir foto dedektör üzerinde birleştirildiğinde, enterferometredeki kollar arasındaki yol farkından dolayı enterferometrik desen (girişim saçığı) oluşur. Mekanik titreşimin periyodu  $T$  ( $T=1/f$ ) süresince enterferometrenin hareketli kolundaki yerdeğiştirmeden dolayı fotodiyodun önünden geçen girişim saçığı sayısı  $R_f$  Oran Sayıcı, ivme ölçerin çıkışındaki elektriksel sinyal  $U$  AC Voltmetre ile ölçülerek, standart referans ivme ölçerin hassasiyeti aşağıdaki ifade aracılığı ile belirlenir. Bu ifade  $k$ , kalibrasyon sırasında şartlandırıcı yükselteç üzerinde bulunan bir dönüştürme katsayısıdır.

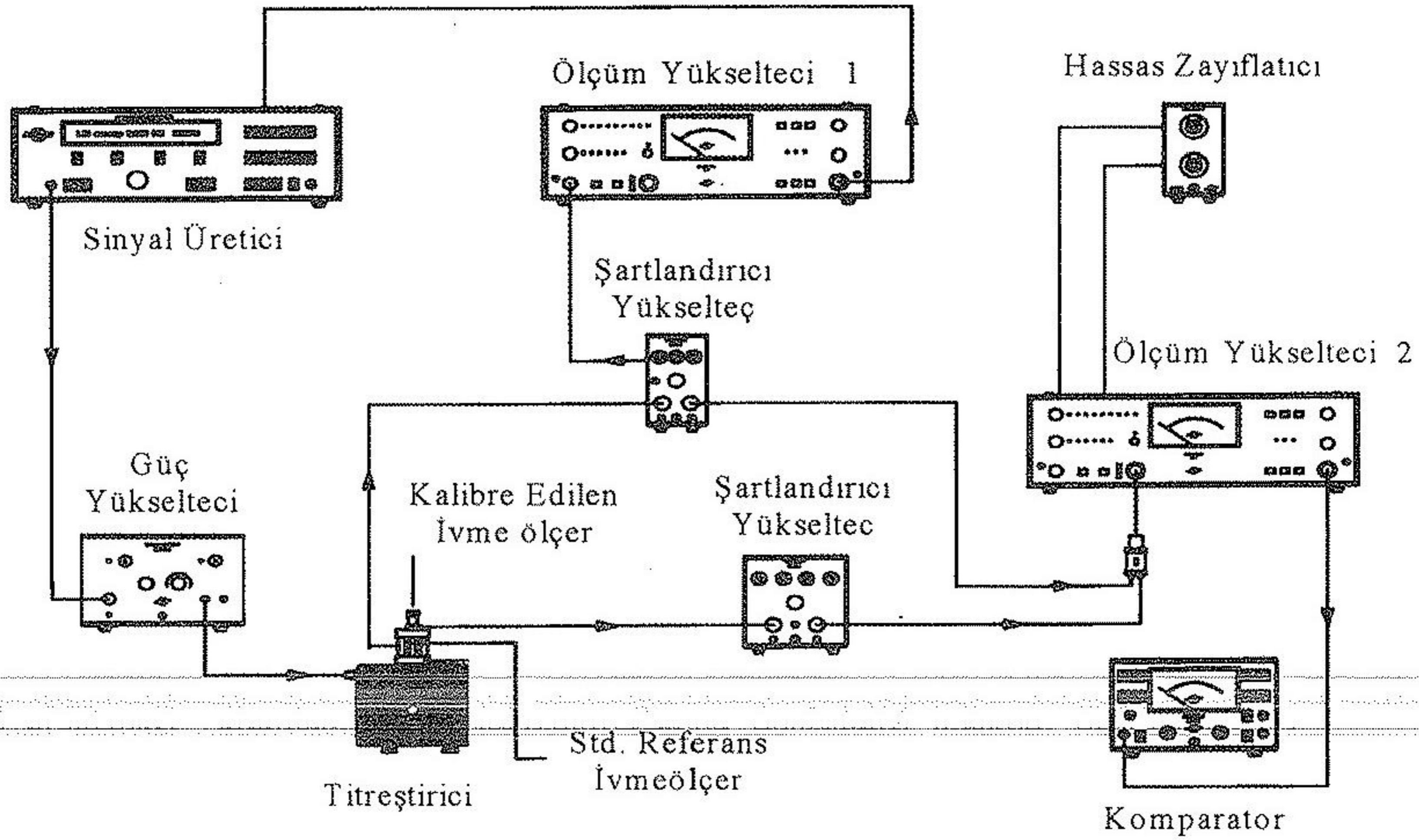
$$S_{qa} = \frac{U}{2.208 \cdot 10^{-6} \cdot f^2 \cdot R_f \cdot k} \quad \left[ \frac{pC}{ms^{-2}} \right] \quad (1)$$

UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarında, Brüel & Kjaer Tip 8305 standart referans ivme ölçerlerin kalibrasyonları 40-800 Hz frekansları arasındaki 1/3 oktav bant merkez frekanslarında yapılarak %0.5'lik belirsizlikle (%95'lik güvenilirlik düzeyi ile) doğrusal ivme biriminin standardı oluşturulmuştur.

#### 4. İKİNCİL SEVİYELİ KALİBRASYONLAR

Titreşim alanında ikincil standardın oluşturulmasında karşılaştırma tekniği ve B&K 9559 Kalibrasyon Sistemi kullanılır. %95 güvenilirlik seviyesinde karşılaştırma yönteminin mutlak belirsizliği %0.9 dur.

Referans ivme ölçer ile hassasiyeti belirlenecek olan ivme ölçer, sırt-sırtta bağlanarak aynı ivme seviyesine maruz kalırlar (Şekil 3). Her iki ivme ölçerin ivme değeri aynı olduğundan ivme ölçerlerin çıkışları oranı, hassasiyetleri oranına eşittir.



Şekil 3. İvme ölçerlerin ikincil kalibrasyon düzeneği

$$\frac{V_{ref}}{V_x} = \frac{S_{ref}}{S_x} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de

$V_{ref}$ ,  $V_x$  ; Referans ve kalibre edilecek ivme ölçerin voltaj çıkışları

$S_{ref}$ ,  $S_x$  ; Referans ve kalibre edilecek olan ivme ölçerin hassasiyet değeri

İvme ölçerlerin frekans tepkilerini belirlemek için Şekil 3'teki düzeneğe benzer bir düzenek kullanılır. Eldé edilen frekans tepkisine göre ivme ölçerin çalışma bölgesi ve monte edilmiş rezonans frekansı tayin edilir.

İkincil seviyede kalibre edilmiş ivme ölçerler çalışma standartlarını oluştururlar ve titreşim uyarıcıların, titreşim ölçme setlerinin ve titreşim ölçüm dönüştürücülerin kalibrasyonunda kullanılırlar.

## 5. SONUÇ

Gelişmiş ülkelerin metroloji merkezlerinin daha önce yaptıkları çalışmalar detaylı bir şekilde incelenerek UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarında doğrusal ivme biriminin standardı, 40-800 Hz frekans aralığında birincil düzeyde oluşturulmuştur. Birincil standardın ikincil seviye ve çalışma standartlarına aktarılması ile UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarında yapılan kalibrasyonlardan endüstride yapılan titreşim ölçümlerine kadar uzanan izlenebilirlik zinciri kurulmuştur.

## KAYNAKLAR

1. Harris C., Shock and Vibration Handbook, p.18-1, McGraw-Hill, New York, 1993
2. *Methods of Calibration of Vibration and Shock Pickups*, ISO/DIS 5347, Geneva, 1985
3. Eyüp Bilgiç, Enver Sadıkhov, Baki Karaböce, Titreşim Standardının Oluşturulması: Lazer Enterferometre Tekniği, 2. Ulusal Akustik ve Gürültü Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 9-15, Antalya, 1996