

0.5 - 500 N ARALIĞINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN KUVVET STANDARTLARININ TASARIM VE İMALATI

Sinan FANK, Çetin DOĞAN, M. Aftab UDDIN, Hayrettin PARLAKTÜRK
TÜBİTAK- UME : Ulusal Metroloji Enstitüsü

ÖZET

UME Kuvvet laboratuvarı 1995 ağustos ayından itibaren 1-1100 kN aralığında kuvvet skalasını oluşturmuş ve kuvvet ölçme cihazları için kalibrasyon hizmeti vermeye başlamıştır. Kuvvet skalası sahip olunan ölü ağırlıklı ve maninela büyütmeli kuvvet standardı makinaları ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kurulu mevcut sisteme ek olarak, UME'de tasarlanıp imalatı gerçekleştirilen 0.5 -100 N aralığında elle yüklemeli basit tip kefeli kuvvet standardı sistemi ile 20- 500 N aralığında otomatik yüklemeli kuvvet standardı makinası ile ilgili prensip ve tasarım hakkında bilgiler verilecektir. Bu sistemler ölü ağırlıkları kullanarak kuvvet ürettikleri için bağıl belirsizlik seviyeleri 2×10^{-5} mertebesinde dir. Oluşturulan bu sistemde kütleler, yeni geliştirilen merkezleme mekanizmasına sahiptirler.

1. Giriş

Kuvvet dönüştürücü, yük hücresi, ölçme halkası dinamometre ve benzeri isimlerle adlandırılan ve hepside yük, ağırlık veya kuvvet ölçme aracı olarak kullanılan kuvvet ölçme cihazları (KÖC), üretim proseslerinde kalite kontrol amaçlı, ağırlık ölçme sistemleri, malzeme test makinaları ve mamül test sistemlerinde kuvvet ölçme amaçlı, aşırı yüklenmeye karşı güvenlik amaçlı, optimum tasarım çalışmalarında deneysel amaçlı kullanılmakta, ergonomi ve ortopedik deney düzeneklerinde, robot çalışmaları ve silah sistemlerinin testlerinde, test düzeneklerinin doğrulama ölçümlerinde ve mühendisliğin bir çok dalında, ya doğrudan yada transfer standardı olarak kullanılmaktadırlar. Bu sistemlerle doğru ve güvenilir ölçümler yapabilmek için kuvvet ölçme cihazlarının yüksek doğrulukla kalibre edilmelerini zorunlu kılmaktadır. Kalibrasyonun gerçekleştirilebilmesi için ise değeri çok iyi bilinen standart kuvvetlerin uygulanması zorunludur. Aksi takdirde kalibrasyondan bahsetmek söz konusu olamaz. Kalibrasyonda kullanılmak amacıyla standart kuvvet değerleri oluşturan sistemlere kuvvet standardı makinaları (KSM) adı verilmektedir.

KSM'ları üretilen kuvvetin doğruluğu ve kapasitesine göre dört tipe ayrılırlar. En yüksek doğruluk veya en düşük ölçüm belirsizliği ($1 \div 5 \times 10^{-5}$) ölü ağırlıklı KSM'ları ile elde edilir. Bu makinalar Newton'un ikinci kanunu gereği basitçe $F = m \cdot g$ prensibini kullanarak kuvvet üretirler. KSM'lar "1 kg'lık kütleyle 1 m/s^2 lik ivme veren etki 1 N" olarak tanımlanan kuvveti, yerel yerçekim ivmesi ve kütleleri kullanarak oluştururlar ve bu yüzden en yüksek doğruluğa sahiptirler. Bu şekilde kuvveti tanımına göre oluşturan KSM'larına ölü ağırlıklı makinalar adı verilir. Ölü Ağırlıklı KSM'lar tüm dünyada aynı prensiple kuvvet oluşturdukları için farklı yer ve ülkelerde elde edilen kuvvet değerleri arasında belirgin bir farklılık görülmez.

Fakat ölü ağırlıklarla kuvvet oluşturmak maliyet ve makina yüksekliği açısından kapasiteyi sınırlamaktadır. Mevcut durumda ölü ağırlıklarla ulaşılabilen sınırlar 0.1 N ile 4.4 MN arasındadır. Fakat kapasitesi 4.4 MN (\approx 440 tonf) olan ölü ağırlıklı KSM yalnızca ABD’de vardır. Diğer gelişmiş ülkelerde en fazla 1 MN’a kadar ölü ağırlıklarla çıkılmaktadır ki bu bile 16 metre yüksekliğinde bir makina ve 100 ton ağırlığında kuvvet oluşturacak kütle gerektirmektedir. Bu tip sistemlerin çok pahalı olması ve büyük bina gerektirmesi daha ekonomik ve küçük sistemlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Ölü ağırlıkları kullanarak manivela veya piston-silindir ünitesiyle çeşitli büyütme oranlarında büyük kuvvet değerlerine ekonomik olarak ulaşmak mümkün olmaktadır. Manivela büyütmeli KSM’larda ulaşılan kapasite 1.96 kN ile 2.4 MN aralığındadır ve ölçüm belirsizliği $5 \div 20 \times 10^{-5}$ mertebesindedir. Hidrolik büyütmeli KSM’larda ulaşılan kapasite ise 600 kN ile 20 MN aralığındadır ve ölçüm belirsizliği $10 \div 50 \times 10^{-5}$ mertebesindedir. Bu makinalara ek olarak karşılaştırma yöntemiyle kalibrasyon yapabilen KSM’ları da vardır. Bunlarda kalibrasyonu yapılmış bir kuvvet dönüştürücü makinaya referans olarak bağlanır. Kalibre edilecek dönüştürücü referans dönüştürücü ile seri olarak bağlanır ve herhangi bir mekanik pres ile (çekme veya basma modunda) kuvvet uygulanarak referans dönüştürücüden okunan sinyale göre bilinen kuvvet değeri oluşturulmuş olur. Referans dönüştürücü olarak tek bir dönüştürücü kullanılabileceği gibi piramit metoduyla (built-up) oluşturulmuş 3 veya 9 adet referans kuvvet dönüştürücününün paralel bağlanmasıyla elde büyük kapasiteli bir kuvvet dönüştürücü de kullanılabilir.

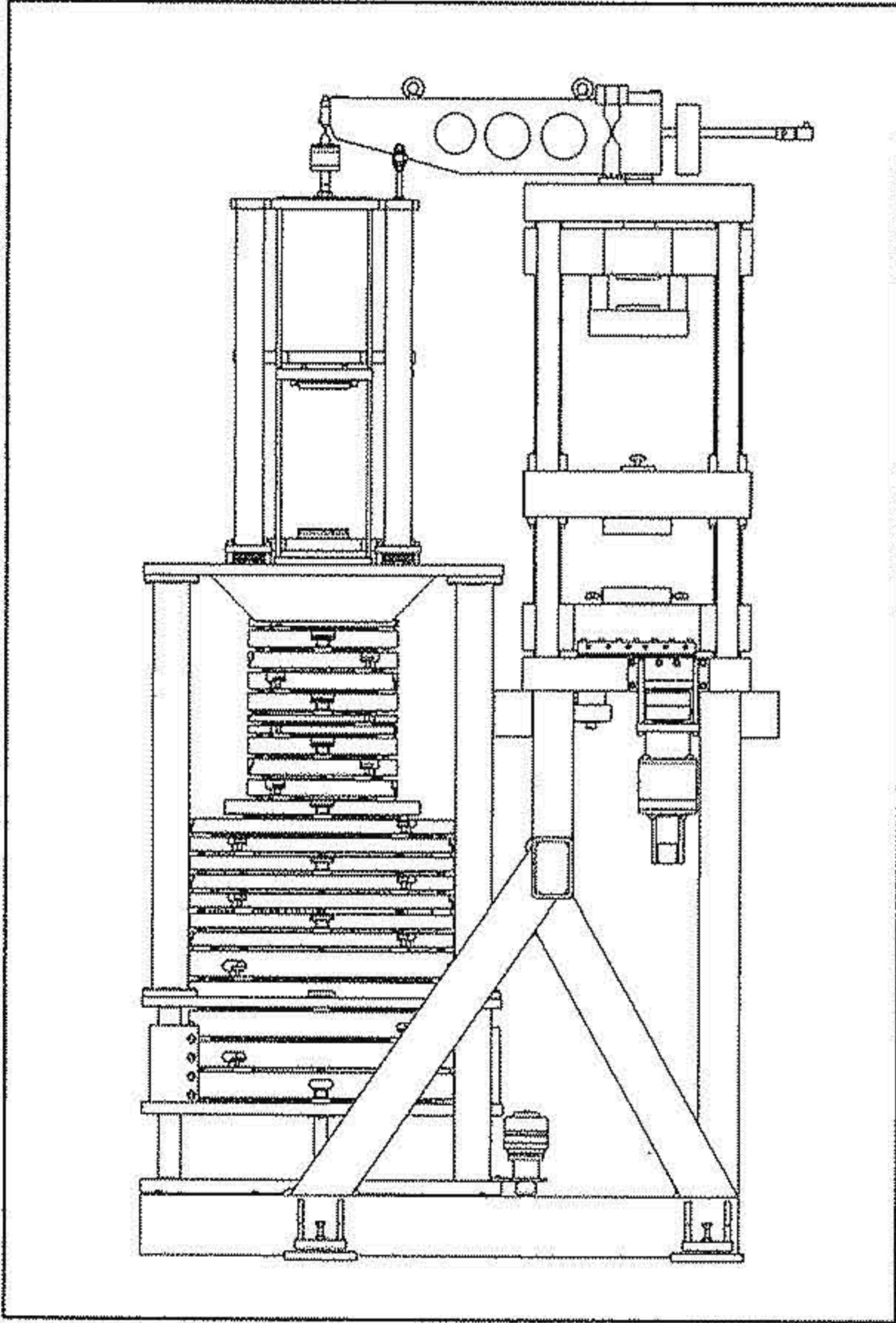
Endüstri ve çeşitli kuruluşların doğru kuvvet ölçümlerine ve kuvvet ölçme cihazları için kalibrasyona olan ihtiyaçları Türkiye’de primer seviyede kuvvet standartlarının oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bu çerçevede çalışmalarını yürüten Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Kuvvet Laboratuvarı, ilk aşamada ölçüm aralığı 100 N ile 1100 kN olan kuvvet skalasını oluşturmuştur [1]. Bu kuvvet skalası oluşturulurken GTM-Almanya firmasından iki adet KSM satın alınmıştır. Birinci KSM tamamen ölü ağırlıklı olup 11 kN kapasiteye sahiptir ve ölçüm aralığı 100 N ile 11 kN arasında gerçekleşmektedir. İkinci makina ise iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım tamamen ölü ağırlıkları kullanarak kuvvet üretir ve kapasitesi 110 kN’dur. Ölçüm aralığı ise 2 kN ile 110 kN arasında gerçekleşmektedir.

İkinci kısım ise ölü ağırlıkları manivela mekanizmasıyla büyüterek 20 kN ile 1100 kN aralığında kuvvet üretmektedir. Bu makinalara ait teknik bilgi Tablo 1 ‘de verilmektedir.

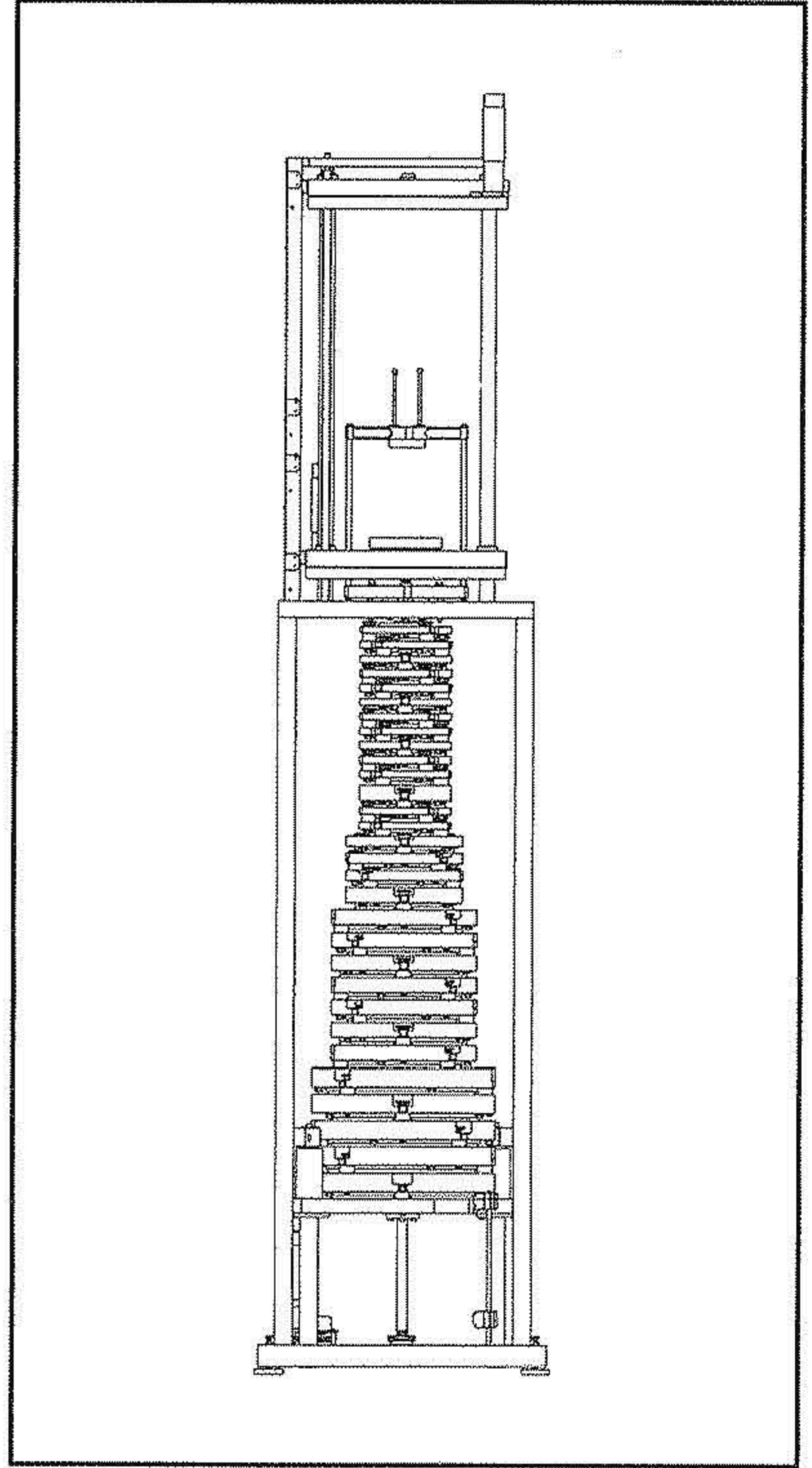
	Ölü Ağırlıklı Kuvvet Makinası	Standardı	Manivela Büyütmeli Kuvvet Standardı Makinası	
Kuvvet üretme metodu	Ölü ağırlıkla		Ölü ağırlıkla	Manivelayla (Strain kontrollü elastik yay)
Maksimum kapasitesi	11 kN		110 kN	1.1 MN
Kuvvet ölçme aralıkları (herbiri 10 adımda %10 artırımla)	1 kN 2 kN 5 kN 10 kN		20 kN 50 kN 100 kN	200 kN 500 kN 1000 kN
Basma boşluğu (dikey)	250 mm		600 mm	800 mm
Çekme Boşluğu (dikey)	600 mm		600 mm	800 mm
Kütle malzemesi	Paslanmaz çelik		Paslanmaz çelik	
Çalışma	PC kontrollü veya manuel		PC kontrollü veya manuel	PC Kontrollü veya manuel

Tablo 1. UME Kuvvet standardı makinalarının özellikleri

Yukarıda bahsedilen ve 1995 yılı ağustos ayından itibaren hizmet veren iki adet KSM'nın teknik çizimleri şekil 1. ve şekil 2. 'de görülmektedir.



Şekil 1. 110 kN/1.1MN Manivela Büyütmeli Kuvvet Standardı makinası



Şekil 2. 11 kN Ölü Ağırlıklı Kuvvet Standardı Makinası

Endüstri ve diğer kuruluşların ihtiyaçları doğrultusunda kuvvet skalasını genişletme çalışmaları başlatılmıştır. Bu çerçevede ilk aşamada, mevcut sistemin altındaki ölçüm aralıklarında (0.5 N ÷ 500 N) kalibrasyon yapabilecek sistemi kurma çalışmaları başlatılmıştır. Daha sonraki çalışma olarakta kuvvet skalasını 3 000 kN (3MN) aralığına çıkarma çalışmaları sürdürülecektir ve bu konudaki çalışmalar da başlamış bulunmaktadır.

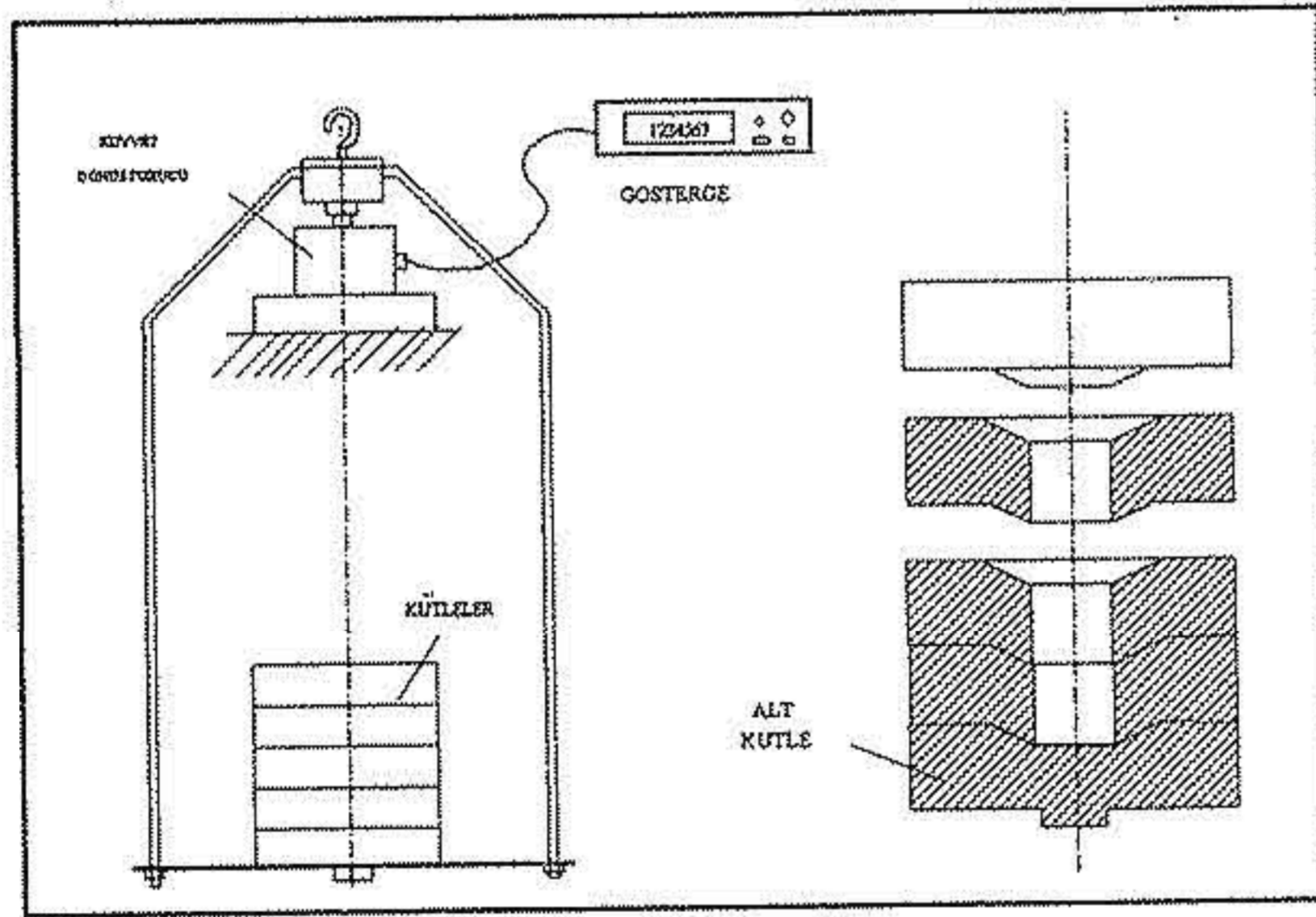
2. DÜŞÜK KAPASİTELİ KUVVET STANDARDI SİSTEMİ

Bu sistem iki kısımdan oluşmaktadır Birincisi 0.5 N ÷ 100 N aralığında çalışan elle yüklemeli ölü ağırlıklı basit sistem, ikincisi ise tam otomatik kalibrasyon yapmaya elverişli ve 20 N ÷ 500 N aralığında çalışan ölü ağırlıklı KSM'dir.

2.1. 0.5 N ÷ 100 N Kapasiteli Elle Yüklemeli Ölü Ağırlıklı Sistem

Bu sistem 5 N, 10 N, 20 N, 50 N ve 100 N kapasiteye sahip kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonunu 10 'ar adım yük uygulayarak ve herbir adımı kapasitenin % 10 ' u kadar artımla sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca aşırı yükleme testleri için sistem herbir kapasite için, %10 ilave yük uygulama yeteneğine sahiptir. Bu gereksinim UME'de KÖC'lerinin kalibrasyonunda kullanılan ve Avrupa standardı olan EN 10002-3 ve diğer standartlara uygun olması ihtiyacına göre belirlenmiştir. Bu sistemde 3 adet kefe kullanılmış olup kefeleler 0.5 N, 2 N ve 5 N kuvvet oluşturabilecek şekilde kalibre edilmişlerdir. Diğer bir deyişle kefeleler, ilgili kapasite için ilk kuvvet adımını oluşturmaktadırlar. Bu sistemde toplam 50 adet kütle bulunmaktadır ve bunlar 10 x 0.5 N; 10 x 1 N; 10 x 2 N; 10 x 5 N; ve 10 x 10 N olmak üzere çeşitli kombinasyonlarla geniş bir aralıkta KÖC'lerin kalibrasyonlarını yapmaya uygundur. Örneğin 100 N kapasiteye sahip bir KÖC'nin kalibrasyonu için 10 N'luk 10 tane yük sırayla birbirine eklenerek, artan ve azalan değerler olarak uygulanmalıdır. Bunun için öncelikle 5 N ağırlığa sahip kefe KÖC'ye asılır. Sonra 5 N'luk kütle koyularak ilk 10 N'luk kuvvet uygulanmış olur. Sonra sırayla şekil 3.'de görüldüğü gibi kefe içinde birbiri üzerine oturtulacak 10'ar N'luk kütleler yardımıyla sonraki 20 N, 30 N,.....90 N ve 100 N'luk kuvvetler KÖC'ine uygulanmış olur.

Kefe ve kütleler bileşke kuvvet oluşmaması için, KÖC yükleme ekseni ile kütle ve kefenin ağırlık merkezi ekseninin birbiri üzerine çakışmasını sağlayacak şekilde merkezleme mekanizmasına sahiptir. Bu merkezleme mekanizması kefeye oturtulan ilk kütle kefedeki deliğe yerleştirilmesi ve şekil.3.'de görüldüğü gibi kütlelerin alt ve üst yüzeyinde bulunan konik geçmelerle birbirlerini merkezlemesi esasına dayanır.



Şekil 3. 0.5 N ÷ 100 N Kapasiteli Elle Yüklemeli Ölü Ağırlıklı Sistem

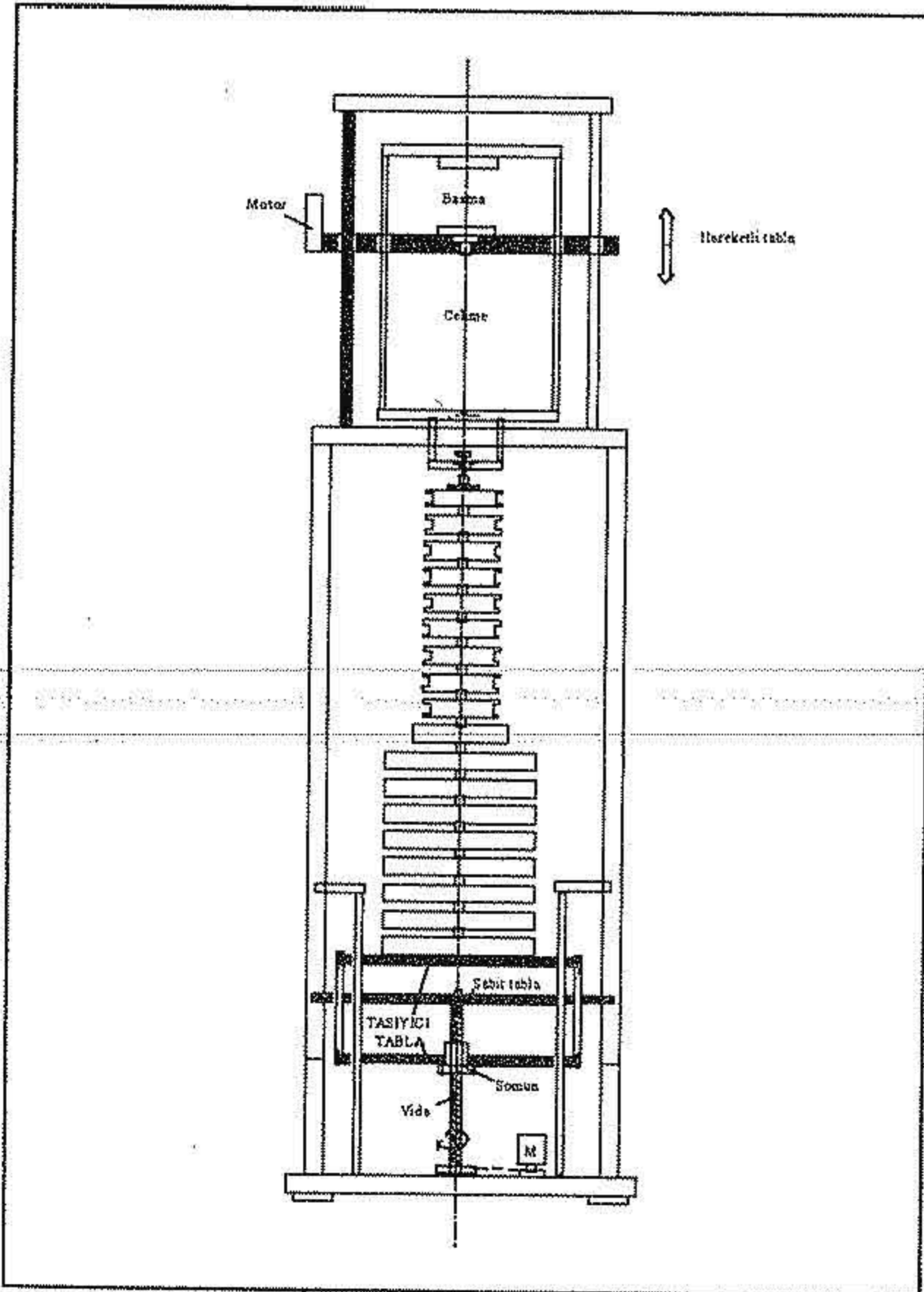
Sistem, basma kuvvetleri uygulayabileceği gibi kefenin tepesinde bulunan kanca sistemiyle çekme yönündeki kuvvetleri de uygulama kabiliyetine sahiptir. Kefe ve kütleler tamamen el ile yükleyip boşaltıldığı için KÖC'lerine uygulanacak histeresiz ve sürünme testi için tam yükteyken hızlı yükleme ve boşaltma işlemi, kalibrasyonu yapan operatörün kabiliyetine kalmıştır ve bu konuda herhangi bir zorlukla karşılaşılmamaktadır. 100 N ve altındaki kalibrasyonlarda gelişmiş

ülkelerde dahi bu tip elle yüklemeli sistemler kullanılmakta olup otomatik yükleme yapmak, kalibrasyonun doğruluğuna önemli bir katkı sağlamayacağı ve pahalı olduğu için tercih edilmemektedir.

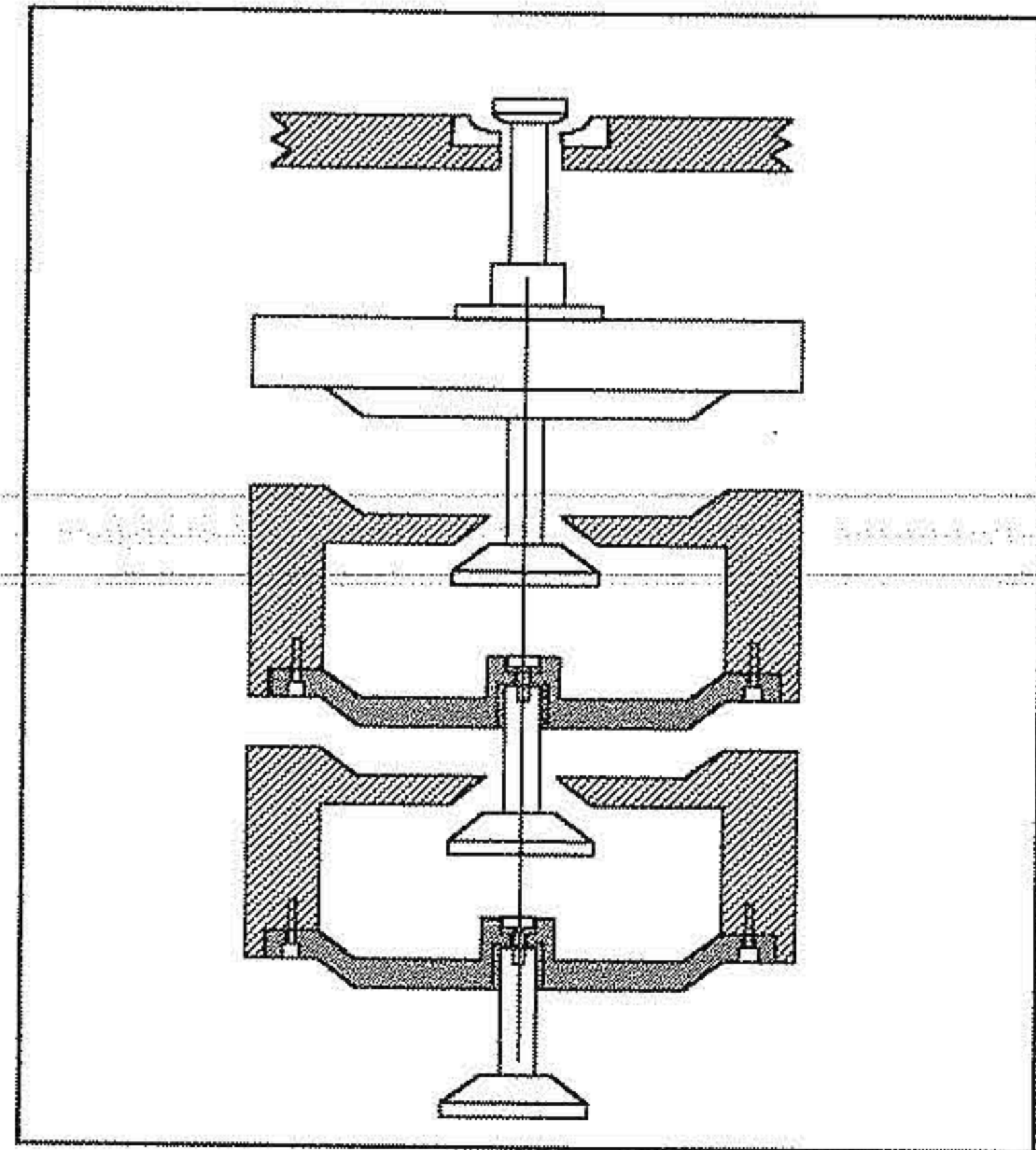
2.2. 20 N ÷ 500 N Kapasiteli Otomatik Yüklemeli Ölü Ağırlıklı Makina

Bu sistem 200 N ve 500 N kapasiteye sahip kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonunu yine aynı şekilde 10 'ar adım yük uygulayarak ve her bir adımı, kapasitenin % 10'u kadar artımla sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Yine aşırı yükleme testleri için sistem her bir kapasite için % 10 ilave yük uygulama yeteneğine sahiptir. Bu sistemde de kefe ilk kuvvet adımı olan 20 N'u oluşturacak şekilde ağırlığı kalibre edilmiştir. Bu sistemde toplam 17 adet kütle bulunmakta olup bunlar 10 x 20 N; 1 x 30N ve 6 x 50 N olmak üzere 200 N ve 500 N kapasiteli KÖC'lara sıralı olarak 10'ar adet farklı kuvvet uygulama kabiliyetine sahiptirler. Örneğin 200 N kapasiteye sahip bir KÖC'nin kalibrasyonu için 20 N'luk kefe ilk olarak KÖC'na yük uygular daha sonra her bir 20 N'luk kütle kefeye sırayla otomatik olarak asılarak, kalibrasyon için gerekli olan kuvvet adımları uygulanmış olur. Sistemin şematik resmi ve çalışma prensibi şekil 4. 'te görülmektedir.

Bu sistemde kullanılan kütleler UME'de geliştirilmiş bağlantı mekanizmasıyla birbirlerine asılmaktadırlar. Bu sistemin teknik çizimi şekil.5'te görülmekte olup iç ve üst yüzey kısımlarında bulunan konik yüzeyler sayesinde hem kütle kefeye asılırken hemde taşıyıcı tablaya otururken tam olarak merkezleme özelliğinden dolayı, eksantrik yük oluşumunu engellemekte ve kütleler taşıyıcı tablaya otururken merkezlendikleri için askı mekanizması devreye girdiğinde (asılma esnasında) salınım yapmayı minimize eder. Bu avantajlarından dolayı ölçüm doğruluğuna büyük katkıda bulunmaktadır.



Şekil. 4. 20 N ÷ 500 N Kapasiteli Ölü Ağırlıklı Kuvvet Standardı Makinası



Şekil.5. Kütle Askı Mekanizması

Kütlelere gönderilen düşük voltajlı bir akım sayesinde, kalibrasyon esnasında istenmeyen kütlelerin birbirine dokunması olayı bir lamba yardımıyla gözlenmektedir. Akım devreyi tamamladığında lamba yanmakta ve ölçüm sonuçlarına kötü etkisi olan kütle dokunmasını ikaz etmektedir.

KSM'da kullanılan motorlar ve sensörler bilgisayara bağlanmış olup, hazırlanan bir yazılım sayesinde hem otomatik kalibrasyon hemde istenilen kuvvet adımlarının serbestçe seçilebilmesi sayesinde, manuel kalibrasyon da mümkündür.

Yüksüz konumda taşıyıcı tablaya oturan kütleler, seçilen kuvvet adımına göre dönme devri enkoder ile sayılan motorun devri ve hareket vidasının hatvesine göre taşıyıcı tabla aşağı doğru hareket eder. Herbir kütlenin diğerine asılması için gerekli mesafe belirlidir. Herbir kütle arasındaki mesafe kadar tabla hareket eder. Sıralı olarak tekrarlanan işlemle her bir kütle kefeye asılır ve KÖC'na bağlı kefe istenilen kuvvet adımlarını uygulamış olur. Makina çekme ve basma kuvvetlerini uygulayabilme, sürünme testi için hızlı yükleme ve boşaltma, histeresiz belirlemesi için artan ve azalan yönde yük uygulama kabiliyetine sahiptir.

Makinada kütleler paslanmaz çelikten üretilmiştir. Çekme ve basma kalibrasyonu için 400'er mm boşluk mevcuttur.

Kütle askı mekanizması ve makinanın tasarımı tamamen UME'de gerçekleştirilmiş olup patent başvuru işlemleri başlatılmıştır.

3. SONUÇ

Yeni tasarlanan ve imal edilen ölü ağırlıklı kuvvet standardı sistemi ile ulusal kuvvet skalası endüstrinin ihtiyaçlarının karşılanması yönünde daha da genişlemiş ve yurtdışına olan bağımlılık azalmıştır. Bu sistemler ölü ağırlıklı olarak imal edildikleri için ölçüm belirsizlikleri 2×10^{-5} mertebesinde. Bu belirsizlik bütçesi içinde kütlelerin, yerçekim ivmesinin, hava ve paslanmaz çelik yoğunluklarının belirlenmesi esnasında belirlenen ölçüm belirsizlikleri vardır. Bu belirsizlikler hesaba katılarak oluşturulan kuvvet değerlerinin belirsizliği hesap edildiğinde, yukarıda ifade edilen ölçüm belirsizliği elde edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Sistemin imalatı esnasında büyük yardımlarını gördüğümüz UME Mekanik ve Elektronik Atelyesi çalışanlarına, kütlelerin ayar ve kalibrasyonunu gerçekleştiren UME Kütle Lab. çalışanlarına, paslanmaz çeliğin yoğunluğunu ölçen UME Yoğunluk v ve Hacim Lab. çalışanlarına teşekkürlerimizi sunmayı bir borç biliriz.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

[1] S. Fank, A. Sawla, H. Ö. Özbay, H. Gassmann, "Establishment of national force scale at UME and results of intercomparison measurements between UME and PTB", In: Proceedings IMEKO "Accuracy, Assurance in Force, Torque and Mass Measurements", Madrid 1996, p 65-74.

OPTİK GERİ BESLEMELİ DİYOT LAZERLERİN KÜÇÜK YERDEĞİŞTİRME ÖLÇÜMLERİNDE UYGULANMASI

*Ramiz GAMİDOV, Enver SADIKHOV, Mustafa ÇETİNTAŞ
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)*

ÖZET

Hareket eden yüzeyin temassız olarak yerdeğiştirmesinin ölçümü, lazer frekansındaki değişimin ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Diyot lazerinin demeti hareket halindeki yüzeye odaklanarak, bu yüzeyden optiksel geri besleme sağlanmıştır. Yüzeyin hareketi lazer rezonatörünün uzunluğunu ve dolayısıyla lazerin frekansını değiştirmektedir. Lazerin frekansındaki değişim Fabry-Perot enterferometresi ve side-band spektroskopisi tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Geliştirilen ölçüm yöntemi kullanılarak matkap, kompresör, güç kaynağı gibi çeşitli nesnelere yerdeğiştirmesi yüksek doğrulukla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ölçüm sistemi standart referans ivme ölçerlerin düşük titreşim seviyelerindeki kalibrasyonunda kullanılmıştır.

1. GİRİŞ

Temassız titreşim ölçümlerinin önemi her geçen gün artmaktadır. Temassız titreşim ölçümlerine bu yoğun ilginin nedeni, ölçümlerin endüstride hareketli parçaların tahribatsız kontrol ve analizi amacıyla kullanılmasıdır. Titreşim metrolojisinde küçük yerdeğiştirmelerin temassız olarak ve yüksek doğrulukla ölçümü de yapılan araştırmaların gerekçelerinden birisi olarak gösterilebilir.

Günümüzde mekanik titreşimlerin ivme, hız ve yerdeğiştirme gibi parametrelerini temassız olarak ölçümlerini gerçekleştirmek için farklı yöntemler mevcuttur [1-3]. Bu yöntemler arasında optiksel ölçüm yöntemleri diğerlerine göre ulaşılabilirlik ve çözünürlük değerlerine göre çok daha avantajlıdır. Optiksel ölçüm yöntemleri de kendi aralarında üç farklı grupta toplanabilir: enterferometre esasındaki yöntemler, lazer ışığının çeşitli parametrelerinin modülasyonu esasındaki yöntemler ve lidar kullanan yöntemler. Yapılan araştırmalar sonucunda günümüzde birkaç ölçüm cihazı ticari olarak satışa sunulmuştur. Bu tür cihazlarda çoğunlukla He-Ne lazeri ve enterferometrik girişim saçakları sayma yöntemi kullanılmakta olup, cihazların çözünürlük değeri genellikle lazerin yarıdalga boyu $\lambda/2$ kadardır. Son yıllarda diyot lazerlerinin üretim teknolojisindeki hızlı gelişim, bu lazerlerin metrolojinin farklı dallarında ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılması için yeni ufuklar açmıştır [4]. Bu sebeple diyot lazerleri temassız titreşim ölçümlerinde de kullanılmaya konmuş olup, bu tür uygulamalarda He-Ne lazerleri ile rekabet edecek güçtedirler [5].