

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TARIM TRAKTÖRLERİ KORUYUCU YAPI STATİK TESTLERİNDE
KULLANILAN MALZEME TEST MAKİNASININ KALİBRASYON YÖNTEMİ
VE BELİRSİZLİK YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

Erol AKDEMİR

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

**ANKARA
2010**

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARIM TRAKTÖRLERİ KORUYUCU YAPI STATİK TESTLERİNDE KULLANILAN MALZEME TEST MAKİNASININ KALİBRASYON YÖNTEMİ VE BELİRSİZLİK YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Erol AKDEMİR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU

Bu çalışmada, traktörlerde kullanılması zorunlu olan devrilmeye karşı koruyucu yapıların malzeme testlerinin yapıldığı test makinasının kalibrasyon ve belirsizlik analizi yapılmıştır. Tarımsal amaçlı olarak kullanılan traktörlerin koruyucu yapı malzemelerinin malzeme uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan test makinalarının doğruluk derecesinin artırılması; tarım makinaları ile çalışma sırasında ortaya çıkabilecek olası hasarların ve tehlikeli durumların azaltılmasını sağlamaktadır.

Tarım Bakanlığı Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğü bünyesinde bulunan ve tarım traktörleri koruyucu yapı statik testlerinde kullanılan malzeme test makinasının basma yönünde kalibrasyonu TS EN ISO 7500-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Ölçüm belirsizliği ise EA-4/02 dökümanı referans alınarak belirlenmiştir. Ölçüm belirsizliğinin hesaplanması amacıyla Excel tabanlı bir hesap tablosu geliştirilmiştir. Geliştirilen tablo insan faktörünü minimize ederek kullanıcı hatalarının azaltılmasını ve daha hızlı, güvenilir bir hesaplama yapılmasını sağlamaktadır.

Mart 2010, 98 sayfa

ANAHTAR KELİMELER:

Traktör, koruyucu yapı, malzeme testi, statik test, kalibrasyon, belirsizlik

ABSTRACT

MSc. Thesis

CALIBRATION METHOD AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF FORCE MACHINES USING FOR STATIC TESTING ON AGRICULTURAL TRACTORS PROTECTIVE STRUCTURE.

Erol AKDEMİR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor : Prof. Dr. Ayten O. AVCIOĞLU

In this study, calibration and uncertainty analysis of test machine used for static testing on agricultural tractors protective structure were made. The increasing of accuracy degree of test machines used in determining of the suitability of protective structure materials on tractors used for agricultural purposes provides the reduction of the potential damage and dangerous situations that may arise during operation with agricultural machines.

The calibration in the direction of compression of force machine within the scope of Directorate of Testing Center of Agricultural Equipment and Machinery used static tests of protective structures of agricultural tractors was performed according to EN ISO 7500-1 standard. Measurement uncertainty was determined by reference to the document EA-4/02. An excel-based spreadsheet was developed to calculate the measurement uncertainty. The spreadsheet developed provides a reliable and faster calculation by minimizing the human factor and reducing of user errors.

March 2010, 98 pages

KEY WORDS:

Tractor, protective structure, test material, static test, calibration, uncertainty.

TEŞEKKÜR

“Tarım Traktörleri Koruyucu Yapı Statik Testlerinde Kullanılan Malzeme Test Makinasının Kalibrasyon Yöntemi ve Belirsizlik Yönünden İncelenmesi” konulu tez çalışmamda; bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeme katkıda bulunan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU’na (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü), bu çalışmanın yürütülmesinde imkan ve desteğini esirgemeyen Sayın Dr. Hamdi TAŐBAŐ’a (Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürü), Araő. Gör. A. Konuralp ELİÇİN’e (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü), değerli dostum ve meslektaşım Zir.Müh. Ziya ÜFELEK’e, Zir.Yük.Müh. Hakan VELİOĞLU’na ve çalışmalarım süresince manevi desteklerini yanımda hissettiğim sevgili annem ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Erol AKDEMİR
Ankara, Mart 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1 Materyal	21
3.2 Yöntem.....	27
3.2.1 Kuvvet ölçüm cihazının kalibrasyonu.....	27
3.2.1.1 Kalibrasyon için ön şartlar	27
3.2.1.2 Kalibrasyon yöntemi	36
3.2.2 Kalibrasyona ilişkin ölçüm belirsizliği	39
3.2.2.1 Ölçümlerdeki genel belirsizlik türleri	41
3.2.2.2 Ölçüm belirsizliğinin hesaplanması	42
3.2.2.3 Standart belirsizliklerin birleştirilmesi.....	44
3.2.2.4 Malzeme test makinalarının temel belirsizlik bileşenleri ve tahmini bağlı varyansı	46
3.2.2.5 Sonuçların raporlanması.....	50
3.3 Hesap Tablosu Hazırlanması.....	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	54
4.1 Kalibrasyon Öncesi Yapılan Kontroller.....	54
4.2.Kalibrasyon ve Seri Yükleme Ölçümleri	55
4.3. Belirsizlik Hesaplamaları	58
4.4. Hesap Tablosu	69

5. SONUÇ.....	73
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	81
EKLER.....	82

SİMGELER DİZİNİ

- a : Deney makinesinin kuvvet göstergesinin bağıl çözünürlüğü (%)
- b : Deney makinesinin kuvvet ölçüm sisteminin bağıl tekrarlanabilirlik hatası (%)
- c : Hassasiyet katsayısı
- $drift_{maks}$: Referans cihazın ölçüm belirsizlikleri arasındaki en büyük fark (%)
- F : Kuvvet (N)
- F' : Kuvvet ölçme cihazının azalan deney kuvvetiyle gösterdiği gerçek kuvvet (N)
- F_{max}, F_{min} : Aynı kuvvet için F'in en yüksek ve en düşük değerleri (kN)
- f_0 : Deney makinesinin kuvvet ölçüm sistemi bağıl sıfır hatası (%)
- F_c : Tamamlayıcı ölçüm dizilerinde kullanılan en küçük aralık için kuvvet ölçme cihazının artan deney kuvvetiyle gösterdiği gerçek kuvvet (kN)
- F_i : Doğrulanacak kuvvet ölçüm cihazının kuvvet göstergesinin artan deney kuvvetiyle gösterdiği gerçek kuvvet (kN)
- F_i' : Doğrulanacak kuvvet ölçüm cihazının kuvvet göstergesinin azalan deney kuvvetiyle gösterdiği gerçek kuvvet (kN)
- F_{i0} : Doğrulanacak deney makinesinde, kuvvetin kaldırılmasından sonra kuvvet ölçüm cihazından okunan kalıntı değer (kN)
- F_{ic} : Kullanılan en küçük aralıktaki tamamlayıcı ölçüm dizileri için, artan deney kuvvetiyle doğrulanacak deney makinesinin kuvvet ölçüm cihazından okunan kuvvet (kN)
- F_N : Deney makinesinin kuvvet göstergesinin azamî ölçüm aralığı kapasitesi (kN)
- \bar{F} : Aynı kuvvetle yapılan birçok F_i Ve F ölçümlerinin aritmetik ortalaması (kN)
- k : Kapsam faktörü
- K : Yük dönüştürücü cihazın sıcaklığa bağlı katsayısı
- n : Ölçüm sayısı
- q : Kuvvet ölçüm sisteminin bağıl doğruluk hatası (%)

r	: Deney makinesinin kuvvet göstergesinin çözünürlüğü (kN)
s	: Tahmini standart sapma
u	: Standart belirsizlik
U	: Standart genişletilmiş belirsizlik
$u_{(drift)}$	: Uzun süre cihaz kararlılığından kaynaklanan belirsizlik bileşenidir.
$u_{(rkoc)}$	: Referans kuvvet ölçüm cihazının belirsizliği
$u_{(sck)}$	: Referans kuvvet ölçüm cihazının sıcaklık farkından kaynaklanan belirsizlik
u_c	: Standart bileşik belirsizlik
X_1	: Belirsizliğe katkı yapan bileşen
x_1	: X_i Bileşenin sayısal değeri
Y	: X_i Bileşenlerinin fonksiyonu olan çıktı değeri
y	: Y Çıktısının sayısal değeri
v	: Deney makinesinin kuvvet ölçüm sisteminin bağıl histerezis hatası (%)
α	: Yük hücresi sıcaklık faktörü (üretici beyanıdır),
Δt_{max}	: Maksimum sıcaklık farkı,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Arkadan boylamasına yüklemenin uygulanma noktası	8
Şekil 2.2 Ezme deneyi için bir düzenek örneği.....	8
Şekil 2.3 Yanal yüklemenin uygulanma noktası.....	9
Şekil 2.4 Yük hücresi üzerine yapıştırılmış dirençli uzama ölçerler	11
Şekil 2.5 Kalibre edilen cihazların uygunsuzluk dağılımları.....	13
Şekil 3.1 Referans yük hücresi - HBM U2A.....	23
Şekil 3.2 Referans amplifikatör - HBM MGA II	23
Şekil 3.3 Kuvvet makinasının genel görüntüsü.....	24
Şekil 3.4 Yatay piston ve yük hücresi.....	25
Şekil 3.5 Deney anında yatay piston ve yük hücresi.....	25
Şekil 3.6 Düşey ve yatay pistonlar	25
Şekil 3.7 Veri değerlendirme ünitesi.....	26
Şekil 3.8 Hidrolik pompa	26
Şekil 3.9 Yük hücrelerinin bağlantısı.....	29
Şekil 3.10 Histerezis hatasının grafiği	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Referans kalibrasyon sisteminin özellikleri	22
Çizelge 3.2 Kuvvet makinasında kullanılan sistemin özellikleri	27
Çizelge 3.3 Basma plakalarının özellikleri	30
Çizelge 3.4 Kuvvet gösterge sisteminin sınıflandırma kriterleri	32
Çizelge 3.5 Ölçüm belirsizliği analizinde uygulanması gereken adımlar ve işlemler	40
Çizelge 3.6 Belirsizlik bütçesi	49
Çizelge 3.7 Belirsizlik bütçesi girdi değerleri	52
Çizelge 3.8 Belirsizlik bütçesi çıktı değerleri	53
Çizelge 4.1 Seri ölçümlerde alınan mV/V değerleri	56
Çizelge 4.2 mV/V değerlerine karşılık hesaplanan kuvvet değerleri	57
Çizelge 4.3 Her ölçüm kademesi için hesaplanan belirsizlik bileşenlerinin değerleri	58
Çizelge 4.4 5 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	62
Çizelge 4.5 10 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	62
Çizelge 4.6 20 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	63
Çizelge 4.7 30 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	63
Çizelge 4.8 40 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	64
Çizelge 4.9 50 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	64
Çizelge 4.10 60 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	65
Çizelge 4.11 70 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	65
Çizelge 4.12 80 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	66
Çizelge 4.13 100 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları	66
Çizelge 4.14 Her bir kuvvet basamağı için standart varyans, birleşik belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik değerleri	67
Çizelge 4.15 Her bir kuvvet basamağı için hesaplanan belirsizlik değerleri	68
Çizelge 4.16 Hesap tablosunda girdi değerleri	71
Çizelge 4.17 Hesap tablosunda çıktı değerleri	72

1. GİRİŞ

Ölçüm ya da ölçme, bilinmeyen bir büyüklüğün yerine aynı türden olan ancak bilinen bir büyüklükle kıyaslanmasına denir. Diğer bir deyişle, bir uzunluğun, bir alanın, bir kapasitenin veya herhangi bir olgunun belirli bir birim cinsinden hesaplanmasıdır.

Yanlış ve tam olmayan ölçümler, ciddi parasal kayıp veya can kaybı oluşturacak yanlış kararlar alınmasına sebep olabilir. Parasal ve insani kayıplar oluşturan yanlış ölçümler, sonuçları tamamen kestirilemeyen ve birbirini tetikleyerek doğrudan veya dolaylı olarak tüm yaşamı etkileyen konulardır. Dünya çapındaki ölçüm konusunda yetkili makamlarca kabul edilmiş doğru ve güvenilir bir ölçüm birliğinin oluşturulması çok önemlidir. Bu sebepten bilim adamları, her gün artan daha doğru, güvenilir ve hızlı ölçüm ihtiyacını karşılamak için yeni ölçüm teknikleri, cihazlar, ölçüm işlemleri gibi konular üzerinde devamlı çalışmaktadırlar.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte ölçülerden beklentilerde artmış ve her alanda olduğu gibi ölçü ile uğraşan metrolojide “kalite” daha önemli bir kavram haline gelmiştir. Bir ürünün kalitesinden bahsedildiği zaman ürünün kullanıma uygunluğu ve ihtiyaçları karşılama özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bir ürünün kalitesi, kalite sistemi içinde yürütülen ve gerektiğinde ürünün kalitesi ile ilgili tüm gereklilikleri yerine getirdiğini gösteren tüm planlı ve sistematik faaliyetler olarak tanımlan kalite güvence sistemi içinde gerçekleştirilir. Kalite güvence sistemi içinde bir ürünün kalitesi hakkında karar vermek için başvuru temel kriter standartlardır. Standart, bir fikir birliği sonucunda oluşturulmuş olan bir ürün, hizmet yada yonteme ilişkin gereklilikleri tanımlayan ve yetkili bir organ tarafından verilmesi mümkün olan bir dokümandır (Gülal ve Deniz 2005).

Doğrudan bilimin içinde olmayan tüketiciler ve insanlar için ölçümlerin güvenilirliği ve doğruluğu metrolojist bilim adamları tarafından sağlanmaktadır. Bu güvenin sağlanmasının temel şartı; izlenebilirliği uluslararası kabul edilmiş referanslar ve ölçüm sistemleri ile kalibre edilmiş cihazlar kullanılmasıdır.

Metroloji; ölçüm ve ölçme uygulamalarıyla ilgili bilimdir. Ölçüm standartlarındaki hiyerarşi için Uluslararası Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü (Vocabulaire International des termes fondamentaux et generaux de Metrologie) VIM'deki tanıma göre; metroloji; doğruluk seviyesi ve uygulama alanına bakmaksızın ölçüme dayanan pratik ve teorik tüm konuları kapsamaktadır (Anonim 2007b).

Metrolojik faaliyetler genel olarak Bilimsel Metroloji, Endüstriyel Metroloji ve Kanuni Metroloji olmak üzere üç ayrı grupta incelenmektedir (Can 2008).

Bilimsel metrolojinin konusu Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansında kabul edilen kararlara göre birincil standartların oluşturulmasını sağlamak ve araştırma çalışmalarını yapmaktır.

Ülkemizde yapılan ölçümleri güvence altına almak, bu ölçümlerin uluslararası sisteme uyumunu sağlamak ve Türk endüstriyel ürünlerinin kalitesini arttırmak için 1992 yılında TÜBİTAK bünyesinde Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) kurulmuştur (Uğur 1995). UME, ölçümlerini yürürlükteki uluslararası standartlara göre yapmakta ve UME'nin yaptığı ölçümler 14 Ekim 1999'da Paris'te imzalanan uluslararası karşılıklı tanınma antlaşmasına göre başta ABD, Avrupa Birliği, ülkeleri olmak üzere 48 ülke tarafından tanınmaktadır (Anonim 2009).

Bilimsel metroloji sonucunda elde edilen birincil standartlara bağlı olarak endüstriyel alanda yapılan araştırma, üretim ve deneysel ölçüm faaliyetleri endüstriyel metrolojinin ilgi alanlarına girmektedir. Endüstriyel amaçlı kalibrasyon laboratuvarları kurmak ve konuyla ilgili araştırmalar yapmak üzere 132 sayılı kanunla Türk Standartlar Enstitüsü görevlendirilmiştir (Anonim 2009).

Ülkemizde laboratuvar, belgelendirme ve muayene kuruluşlarını akredite etmek için 4 Kasım 1999 tarihinde yayımlanan 4457 sayılı Kanunla Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kurulmuştur. TÜRKAK'ın amacı ülkemizde bulunan ve teknik düzenlemelere konu olan ürün güvenliği, kalite, deney, muayene ve belgelendirme

çalışmaları yapan laboratuvar ve belgelendirme kuruluşlarının yeterliliklerini tescil etmek ve uluslararası geçerliliklerini sağlamaktır (Anonim 2009).

Ticarete esas teşkil eden ölçü ve kontrol aletlerinin kalibrasyonları kanuni metrolojinin alanına girmektedir. Bu kategoriye giren tüm cihazlar mecburi olarak kalibre ettirilmek zorundadır. Ülkemizde 3516 sayılı kanun kanuni metrolojiyi kapsar. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı bu konu ile görevlendirilmiştir.

Uluslararası metroloji sözlüğünde kalibrasyon; belirlenmiş koşullar altında, ölçüm sisteminin veya ölçüm cihazının gösterdiği değerler ile gösterilen değerlerle ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisi olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2007b).

Bu tanımdan kalibrasyonun amacının metrolojik özelliklerin tayin edilmesi olduğu çıkarılabilmektedir. Teknolojik gelişmelerin üretim endüstrisine yansıtılması sonucunda çeşitli ürünlerin üretilmesi ve tüm insanlığın hizmetine sunulması beraberinde güvenilirlik, kalite ve standardizasyon ihtiyacını getirmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanmasının ilk koşulu kalibrasyondur. Bu kapsamda kalibrasyonun amacı; üretim aşamasında kullanılan tüm test/ölçü aletlerinin doğruluğundan emin olmak ve yapılan ölçüm işlemlerinin farklı yerlerde farklı test/ölçü aletleri ile tekrarlanması durumunda aynı sonucun alınmasını sağlamak bir başka deyişle alınan ölçüm sonuçlarını standartlaştırmaktır (Eren 1995).

AB konseyi tarafından yayınlanan Makine Emniyet Yönetmeliğinde bahsedilen tüm makina ve makina parçaları bu yönetmelikte belirtilen kurallara uymak zorundadır. Makinaların insan, hayvan ve çevre açısından güvenli olduğunun belirlenmesi için risk analizleri yapılmalı, gerekli muayene, test ve deneylerinin yapılarak uygunluğu belgelenmelidir (Anonim 2006).

Tarımsal amaçlı kullanılan alet ve makinalarda, özellikle traktörle çalışmada sıklıkla ölümcül kazalar meydana gelmektedir. Bu makinalarda emniyet için kullanılan malzemelerin ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğunun belirlenmesi amacıyla

yapılan testlerde doğru ölçüm yapmak için, kullanılan cihaz ve dönüştürücülerin düzenli aralıklarla kalibre edilmesi ve belirsizlik değerlerinin hesaplanmış olması gerekmektedir (Aydemir ve ark. 2006).

Bu çalışmada; tarım traktörlerinde kullanılması zorunlu olan devrilmeye karşı koruyucu yapıların malzeme testlerinin yapıldığı test makinesinin kalibrasyon ve belirsizlik analizinin yapılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, kapsamlı ve uzun zaman alan belirsizlik hesaplamalarının kolaylaştırılması amacıyla hesap tablosu geliştirilmesi de planlanmaktadır.

Tarımsal amaçlı kullanılan traktörlerin koruyucu yapı malzemelerinin malzeme uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan test makinalarının doğruluk derecelerinin artırılması; tarım makinaları ile çalışma sırasında ortaya çıkabilecek olası hasarların ve tehlikeli durumların azaltılmasını sağlayacaktır.

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır:

GİRİŞ Bölümünde; metroloji konusunda genel açıklamalar yapılarak tez çalışmasının amacı, önemi ve kapsamından söz edilmiştir

KAYNAK ÖZETLERİ Bölümünde; kalibrasyon ve belirsizlik konularında genel bilgiler verilmiş, kalibrasyonu yapılacak test cihazının kullanıldığı traktör koruyucu yapı statik testleri açıklanmış ve testlerde uygulanan yüklerin ölçümünde kullanılan kuvvet ölçüm cihazlarından söz edilmiştir. Bu açıklamalar yanında; tez çalışmasına dayanak olan kuramsal temeller ile ilgili standartlar ve yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM Bölümünde; deneme materyali olan kalibrasyon için kullanılan cihazlar ile kalibrasyonu yapılacak test cihazı tanıtılmıştır. Yöntemde ise; kalibrasyon yöntemi, belirsizlik hesaplamaları ve hesaplamalar için hazırlanan hesap tablosu açıklanmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA Bölümünde; kalibrasyon öncesi yapılan kontroller, kalibrasyon ve seri yükleme sonuçları ile belirsizlik hesapları ve hazırlanan hesap tablosu ıktıları verilmiştir.

SONUÇ Bölümünde; hazırlanan hesap tablosunun sağladığı yararlardan söz edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tarım traktörleri, kullanıcılarını bir kaza durumunda emniyetle koruyacak şekilde kabin, emniyet çerçevesi (roll-bar), emniyet kemeri ve kaporta önü ızgarası gibi pasif emniyet araçlarıyla donatılmaktadır. Traktör devrildiğinde sürücüyü korumak amacıyla geliştirilen parçalara Yuvarlanmaya Karşı Koruyucu Yapılar (ROPS) denilmektedir. Hem kabin hem de koruyucuların emniyet açısından aynı istekleri yerine getirmesi zorunludur. Sürücü kabinleri devrilme ve çarpmalarda sürücüyü koruyabilmesi için başlıca iki görevi yerine getirmelidir.

1. Herhangi bir devrilme veya iş kazasında kabin içinde bulunan sürücü ezilip çığnenmemelidir. Bunun için sürücü kabini sürücü için öngörülen güvenlik bölgesini oluşturacak bir mukavemete sahip olmalıdır.

2. Kabinin geometrik ölçüleri meyil aşağı yuvarlanmamasını sağlamalıdır.

Uzunlamasına veya enine eksen etrafında meydana gelebilecek bir devrilmede kabin tek bir takla atma pozisyonundan sonra kalabilmelidir, devamlı yuvarlanmalar oluşturmamalıdır. Aksi taktirde, kural olarak emniyet kemeri söz konusu olmadığında, kabinin mukavim olması nedeniyle sürücü ezilmese bile, kafasını çarpa çarpa hayatını yitirmesi söz konusu olabilir (Onurbaş 2002).

Koruyucu yapılar üzerine ilk araştırmalar tarla koşullarında gerçek devrilme testleri ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları laboratuvar ortamında gerçekleştirilen testlerde ROPS'un dayanmak zorunda olduğu enerjiyi belirlemek amacıyla değişik devrilme testleri uygulanmıştır (Silleli ve ark. 2009).

Gelişmiş ülkelerde traktörlerin test edilmiş koruyucu yapılarla donatılması yasal zorunluluktur. Ülkemizde de koruyucu yapılar üzerindeki çalışmalar son yıllarda önem kazanmış olup, imalatçılar bu konuda araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız vermişlerdir. 11 Ekim 2000 tarih ve 24197 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 2000/37 nolu Tarımsal Mekanizasyon Araçlarının Kredili Satışına İlişkin Esas Deney ve

Denetimlerle İlgili Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tebliğinde performans deneyleri yapılacak traktörlerin 1 Ocak 2001 tarihinden itibaren koruyucu yapılarla donatılmaları zorunlu hale getirilmiştir. Koruyucu yapı testlerinin yapılması için de Bakanlığın Ankara Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğü yetkili kılınmıştır (Anonim 2009d).

Tarım traktörleri koruyucu yapılarının statik testleri OECD Test Kodu 4'e göre yapılmaktadır. Bu test koduna göre genel özellikler şöyle sıralanabilir (Anonymous 2007a).

Standart tip traktörlere takılan koruyucu yapıların statik dayanım testleri, en az iki aksa sahip, havalı lastik tekerlekli, arka lastiklerin minimum iz genişliği 1150 mm'den fazla, askı ve çeki elemanları ile koruyucu yapı ve donanımları takılı olduğu, yakıt deposu, soğutma suyu, yağlama yağları tam dolu kapasitede, arka ve ön ağırlıkları sökülmüş kütlesi 800 kg'dan az, 15 000 kg'dan fazla olmayan traktörler için uygulanır.

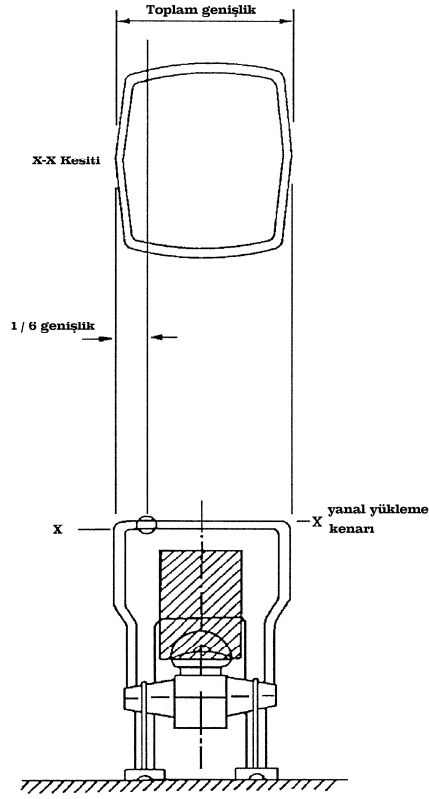
Özel donanımlar kullanılarak yapılan deneylerin amacı, traktör devrildiği zaman bir koruma çerçevesinin maruz kalacağı yükleri benzeştirmektir (simüle etmektir). Bu deneyler, koruma çerçevesinin dayanıklılığının traktöre bağlayan desteklerin (braketlerin) deney kuvvetini ileten traktörün diğer parçalarının dayanıklılığının gözlenebilmesini sağlamaktadır.

Statik testler, koruyucu yapının takılacağı traktör serisinden herhangi bir traktöre veya traktörü temsil eden ve koruyucu yapının üzerine bağlandığı bir blok yapıya uygulanmaktadır. Testler esnasında traktörün hayati parçalarında kesinlikle bir hasar meydana gelmemektedir.

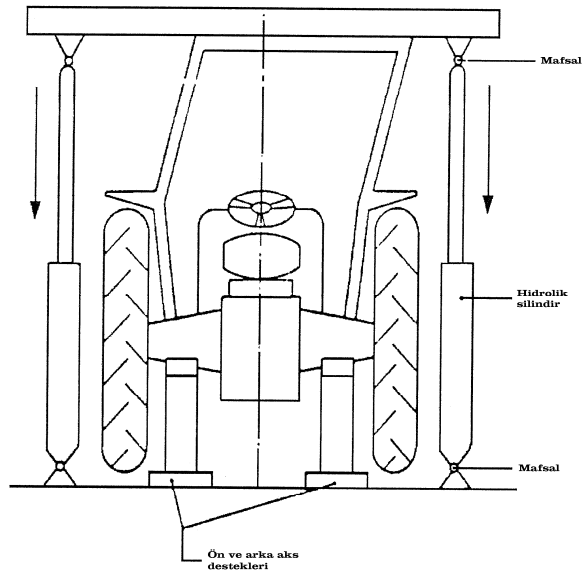
Tarım traktörlerinde devrilmeye karşı koruyucu yapılara uygulanan statik yükleme deneyleri OECD Kod-4'e göre:

1. Birinci boylamasına (arkadan) yükleme deneyi (Şekil 2.1),
2. İkinci (arkadan) ezme deneyi (Şekil 2.2),
3. Yandan yükleme deneyi (Şekil 2.3),
4. İkinci (önden) ezme deneyi,

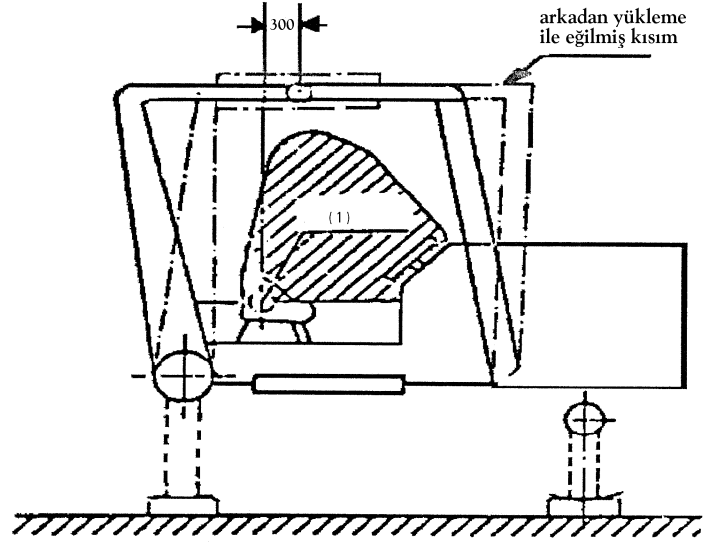
5. İkinci boylamasına (önden) yükleme deneyleridir (Anonymous 2007a).



Şekil 2.1 Arkadan boylamasına yüklemenin uygulanma noktası (Anonymous 2007a).



Şekil 2.2 Ezme deneyi için bir düzenek örneği (Anonymous 2007a).



Şekil 2.3 Yanal yüklemenin uygulanma noktası (Anonymous 2007a).

Testler sırasında ROPS sürücüyü korumalıdır ve traktörün herhangi bir parçası sürücünün güvenliğini etkileyecek kritik bölgeye (güvenli yaşam bölgesi) girmemeli veya sürücü bu kritik bölgenin dışına çıkarak zemin ve traktör arasında sıkışma veya ezilme riski ile karşılaşmamalıdır. Güvenli yaşam bölgesi OECD Kod'larında "clearance zone" olarak adlandırılır ve koltuk referans noktası (SRP) ile direksiyon merkezinden geçen dikey bir düzlemi ifade eder. Koruyucu yapılara arkadan, yandan ve önden uygulanan testlerde, yükleme yapı elemanının yere çarptığı noktadan dik olarak gerçekleştirilirken, üstten ezme testinde yükleme yer düzlemine dik olarak gerçekleştirilir (Silleli ve ark. 2009).

Bu deneylerde kullanılan malzeme test makinası; kontrollü bir hız ile aksel kuvvet uygulayarak malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan cihazdır. Bu test makinesi aynı zamanda; beton ve çimento endüstrisi, ambalaj sanayi, döküm endüstrisi gibi alanlar da da kullanılmaktadır (Birbil 2009).

Makineler, sanayinin her dalında kullanılan ve yaptığı işe uygun olarak yük, kuvvet, gerilme ve zorlanmaların etkisinde kalan sistemlerdir. Makine imalatında her türlü iç ve dış zorlanmaların hesaplanması ve tasarımlarının ve malzeme seçiminin buna göre yapılması gerekmektedir. Teori ile pratiğin çeşitli etkenlerden dolayı birbirleriyle

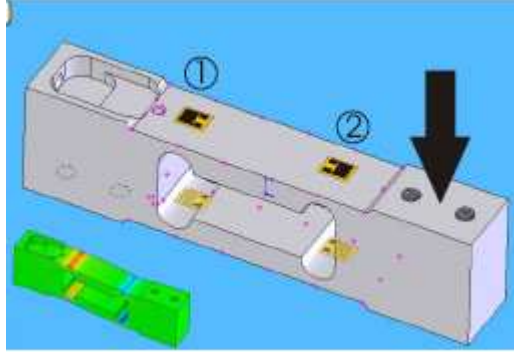
uyuşmaması yuzunden kuvvetin deneysel olarak olcölmesi gereklidir. Bunun yanında malzemelerin maruz kaldığı iç ve dış gerilme ölçümleri, basınç ve yükten kaynaklanan kuvvet ölçümleri, tasarımda büyük bir öneme sahiptir. Mühendislik faaliyetlerinin sürdürüldüğü tüm alanlarda emniyetli bir çalışma ortamının gerçekleştirilmesi, imal edilecek sistemlerin ve yapıların uzun ömürlü, kaliteli emniyetli ve ekonomik olabilmesi için, etkiyen tüm kuvvetlerin çok hassas olarak ölçülmesi gerekmektedir. Her zaman için, karmaşık parçaların teorik olarak mukavemet hesapların yapılması, etkiyen kuvvet ile gerilmelerin hesap yoluyla bulunması mümkün değildir. Kullanılan tüm malzemelerin mekanik özelliklerini saptamak ve yeni malzemeler geliştirmek deneysel ölçümlerle gerçekleştirilmektedir. Kuvvet ölçümünün bu denli önemli olduğu bir durumda kuvvet ölçümünde kullanılacak cihazlara ihtiyaç vardır. Bu amaçla yapılan kuvvet dönüştürücü ölçüm ekipmanları, mekanik enerjiyi elektrik sinyalleri olarak ürettikleri için sanayide ağır makinelerin kontrolünde, test mühendisliğinde, ağırlık ölçümlerinde ve buna benzer pek çok alanda kullanılmaktadırlar.

Genel bir yaklaşımla kuvvet ölçüm cihazı adıyla anılan kuvvet dönüştürücüleri, teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kuvvet ve yük ölçüm sensörleridir. Kullanıldıkları alanlara göre yük hücresi, kuvvet transdüseri, kuvvet dönüştürücüsü, yük hücresi, yük reseptörü gibi farklı isimler alan bu elemanlar; küçük terazilerden kantarlara kadar uzanan yük ölçümlerinde ve çok hassas sonuçların beklendiği metrolojik çalışmalarda yoğunlukla kullanılırlar. Bu cihazlar, uygulanan yük karşısında elastik deformasyona uğrayan bir yay elemanı ve bu deformasyonu dijital veya analog olarak göstermeye yarayan bir gösterge elemanından oluşmaktadır (Turgut ve Korkut 2009).

Kuvvet dönüştürücü ölçüm elemanlarının elektriksel çıkışa sahip olmaları; elektronik olarak kontrol edilebilmelerini, dijital olarak okunabilmelerini ve ara yüz bağlantısı ile bilgisayarda kullanımını sağlamaktadır (Fank 1992).

Dirençli uzama ölçerlerin (strain gage) kullanıldığı kuvvet dönüştürücüler, kuvvet ve yük ölçüm uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Fank ve Demirkol 2003). Şekil 2.4'de bir yük hücresi üzerine yapıştırılmış dirençli uzama ölçerler

görülmektedir. Bu sistemlerde kuvvetlerin algılanabilmesi için, malzemelerin elastik deformasyonundan faydalanılmaktadır. Gerinim (birim uzama), cisim üzerine yük uygulandığında, birim uzunlukta oluşan deformasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır (Turgut ve Korkut 2009).



Şekil 2.4 Yük hücresi üzerine yapıştırılmış dirençli uzama ölçerler

Kuvvet dönüştürücülerin çıkış sonuçlarının belirli bir güvenlikte kullanılabilmesi için belirli aralıklarda kalibre edilmeleri gerekir. Ne kadar sık kalibre edilecekleri ise kullanma sıklığı ve şartlarına bağlıdır (Fank vd 2009)

Kalite sistem standartlarında belirtilen en önemli ve temel şartlardan biri de testlerde kullanılan bu makinaların kalibrasyonudur. Çekme ve basma test makinaları, malzeme testinde kullanılan temel makinalardır. Bu makinaların kalibrasyonu, gerek makinaların boyutlarının büyük olması, gerekse kalibrasyon esnasında yapılacak işlemlerin hassasiyeti bakımından buldukları yerlerde yapılmaktadır.

Kalibrasyon için gerekli şartlar şunlardır (Can 2008):

1. Kalibre edilecek cihaz kalibre edilebilirlik özelliğinde olmalıdır.
2. Cihaz tam fonksiyonel durumda olmalıdır.
3. Cihaz tekrarlanabilir ölçüm sonuçları vermelidir.
4. Kalibre edilecek cihaza ait teknik özellikler belirlenmiş olmalıdır.
5. Kabul edilmiş fiziksel sabit sayılar verilmelidir.
6. Kalibrasyonlar eğitimli personel tarafından yapılmalıdır.

Kalibrasyon sadece belirlenen periyotlarda değil aşağıdaki durumlar meydana geldiği zamanlarda da yapılmalıdır (Can 2008):

1. Cihaz hiç kullanılmamış ise, yani yeni satın alınmışsa,
2. Cihaz arızalanmış veya mekanik bir darbe görmüşse,
3. Cihaz kullanma talimatlarında belirtilen kurallara uygun kullanılmamışsa,
4. Cihazda fonksiyon arızaları meydana gelmiş ise,
5. Belirlenen periyotlarda bakımı yapılmamışsa,
6. Ayar mekanizmalarına müdahale edilmişse,
7. Cihazdan alınan sonuçlardan şüphe duyuluyorsa,
8. Bir kalibrasyon periyodu içinde bir cihazda tamir yapılması halinde,
10. İmalat kontrollerinde kullanılıyorsa,
11. Kalite kontrol deney ve ölçümlerinde,
12. Kabul deneylerinde (giriş kontrol),
13. Mamul kalite deneylerinde,
14. Araştırma-geliştirme deneylerinde (belgeleme şartı varsa)

kalibrasyon yapılmalıdır.

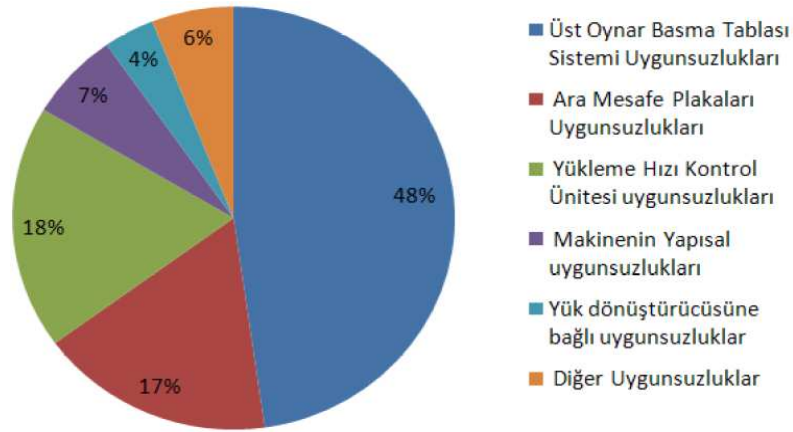
Malzeme test makinaları kuvvet ölçüm sistemlerinin kalibrasyonu TS EN ISO 7500-1 standardına göre yapılmaktadır. “Metal malzemeler-Tek Eksenli Statik Deney Makinalarının Doğrulanması-Bölüm 1: Çekme/Basma Deney Makinaları-Kuvvet Ölçüm Sisteminin Doğrulanması ve Kalibrasyonu” isimli standart;

- Kuvvet uygulama yardımcı düzenekleri dahil deney makinasının genel muayenesi ve
- Kuvvet ölçüm sisteminin kalibrasyonunu kapsamaktadır (Anonim 2005b).

Can ve Binark (2008) çalışmalarında; malzeme test makinalarının kalibrasyonları esnasında karşılaşılan uygunsuzlukları belirleyerek, oluşum kaynaklarını istatistiksel olarak sunmaktadırlar. Makalede; yapı sektöründeki test laboratuvarlarında kullanılan makinelerin kalibrasyonunda büyük maddi ve zamansal kayıplara yol açan uygunsuz

durumların önlenmesi için; kullanıcı, üretici ve kalibrasyoncuların neler yapabileceği tartışılarak karşılaşılan bu uygunsuz durumları azaltabilecek öneriler verilmektedir. Çalışma boyunca 2005-2007 yılları arasında bir kalibrasyon şirketinde farklı sektörlerde birçok cihaz kalibrasyon yapılmış, uygunsuzluklarla ilgili istatistikler ve uygunsuzluk raporları değerlendirilmiştir. Çalışmada; 827 cihazın kalibrasyon bilgileri kullanılmış ve çeşitli sebeplerden dolayı 134 uygunsuzluk belirlenmiştir. Bunlar;

Üst oynar basma tablası sistemi uygunsuzlukları (64),
Ara mesafe plakaları uygunsuzlukları (23),
Yükleme hızı kontrol ünitesi uygunsuzlukları (25),
Makinenin yapısal uygunsuzlukları (9),
Yük dönüştürücüsüne bağlı uygunsuzluklar (5) ve
Diğer Uygunsuzluklar (8)'dir (Şekil 2.5).



Şekil.2.5. Kalibre edilen cihazların uygunsuzluk dağılımları (Can ve Binark 2008)

Çalışmanın sonucunda; kuvvet kalibrasyonunda yapılacak hataların önlenmesi için şu önerilerde bulunmaktadır (Can ve Binark 2008).

1. Laboratuarlarda çalışan personelin mutlaka kalibrasyon konusunda eğitim almaları gerekmektedir. Personel kullandığı cihazın ölçümüne etki edecek parametreleri bilmeli, belirsizlik hesaplarını yapabilmelidir. Böylece kullanılan makinedeki hatalı uygulamalar azaltılabilmektedir.

2. Test için makine seçiminde; yapılacak işin hassasiyeti, kapasite gibi unsurlara bağlı olarak seçim yapılmalıdır. Kapasitesi harici çalışan makinelerde yapısal bozulmalar, yük dönüştürücüsünde doğrusallık sapmaları gibi kalibrasyonu engelleyici hatalar oluşturmaktadır.
3. Kullanıcılar kendi doğrulama cihazlarını edinmeli ve periyodik olarak makinelerinin genel bir kontrolünü yapmalıdır. Kalibrasyon periyodu olarak 1 yıl gibi bir süre öngörülen kuvvet makinelerinde düzgün olmayan çalışma uzun dönemde kalıcı hasarlara yol açmaktadır.
4. İmal edilecek makinenin uluslararası kalibrasyon standardının imalatçılar tarafından iyi bilinmesi ve karşılaşılan sorunların imalatçılara iletilmesi gerekmektedir.
5. Farklı firmalara yaptırılan parçalar arasında, mutlaka işçilik ve ölçü olarak uyum olmalıdır. Oynar sistemlerde maliyeti düşürmek için universal tezgâhlarda yapılan küresel parçalar genellikle istenilen özellikleri sağlayamamaktadır. Hassas işlem gerektiren parçaların üretiminde bilgisayar destekli tezgahların kullanılması, kalibrasyon konusunda karşılaşılan oynar başlık hatalarını en aza indirecektir.
6. Üretici firmalarında kendi bünyesinde bir laboratuvar kurması ve ürettiği ürünün ilgili standarda uygunluğunu kontrol etmesi gerekmektedir. Bu garantinin verilmesi tüketici açısından da çoğu sorunu önleyecektir. Bazı durumlarda, kullanılmamış yeni makinenin uygunsuz çıkması üretici kalibrasyoncu ve tüketici arasında mahkemeye varacak sorunlar yaratmaktadır.
7. Üretici firmalar makinelerinin bakımı konusunda tüketiciyi periyodik olarak bilgilendirmelidir. Bakımsızlık sonucu kalibre edilemeyen cihazlarla karşılaşıp durumun tüketiciye anlatılmasında; çoğu tüketicinin bakım hakkında bilgiye sahip olmadığı görülmüştür

Ölçüm; tanımlanmış ölçüm niceliğinin değerini belirlemektir. Bir ölçümün sonucu ölçülen niceliğin sadece bir tahmini veya yaklaşımıdır. Ancak belirsizlik ifadesi ile birlikte verilirse tamamlanmış sayılmaktadır. Belirsizlik; ölçülen değerlerin belirli bir olasılıkla ortalama değer etrafında bulunduğu aralığı tanımlayan parametredir. Bu parametre bir standart sapma veya güven aralığının genişliği olabilir. Belirsizlik genelde bir rakam olarak verilirken mutlak ve bağıl olabilmektedir.

Bir ölçümün sonucunda verilen ölçüm belirsizliği, ölçülen değer tam olarak bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Belirsizlik ölçüm sonuçlarının dağılımının ifadesidir ve yok edilemez. Ölçüm belirsizliği nümerik bir analizdir. Test sonucundaki ölçüm belirsizliğindeki bilgi, testin performansındaki işlemler veya sonuçların değerlendirilmesi kadar önemlidir (Candemir ve Kınal 2009).

Önemli hata ve belirsizlik kaynakları şunlardır (Can 2008, Candemir ve Kınal 2009):

Ölçüm ekipmanı: Ölçüm ekipmanından kaynaklanan ölçüm hataları, sistematik hatalar, eskime, yıpranma, okunabilirlikteki azalmalar, elektriksel cihazlarda parazit oluşumu ve diğer problemler olabilir.

Ölçülen parça: Kararsız yapıdaki ölçülen cisimleri içermektedir. Örneğin bir buz küpünün sıcak ortamda ölçülmesi gibi.

Ölçüm işlemi: Ölçülen cismin getirdiği zorluklara içermektedir. Örneğin canlı bir hayvanın ağırlığını ölçmeye çalışmak gibi.

Dışarıdan gelen belirsizlikler: Kullanılan ölçüm cihazının kalibrasyonundan gelen belirsizlik yapılan ölçümlere de yansımaktadır.

Kişilerin becerileri: Bazı ölçümler ölçümü yapanın yetenek ve muhakemesine dayalıdır. Bir kişi diğerine göre daha hassas okuma yapabilmekte yada ölçüm ekipmanını daha etkili kullanabilmektedir. Örneğin saat ile ölçüm yapılması durumunda saatin durdurulması tamamen kişinin reaksiyon hızına bağlıdır.

Örnekleme seçimi: Ölçümler mutlaka değerlendirilmeye çalışılan süreci doğru yansıtacak şekilde olmalıdır. Örneğin çalışma tezgâhının sıcaklığının bilinmesi isteniyorsa duvardaki termometre ile ölçüm yapılması uygun değildir.

Çevresel şartlar: Sıcaklık, hava basıncı, nem ve birçok diğer etken ölçüm cihazını ve ölçülen büyüklüğü etkileyebilmektedir.

Yukarıda sayılan ve farklı kaynaklardan gelen belirsizlikler, toplam ölçüm belirsizliğine bireysel olarak katkı yapmaktadırlar.

Belirsizliklerin en az indirilmesi en az ölçümün yapılması kadar önemlidir. Ölçümdeki belirsizliklerin azaltılması için, aşağıdaki özelliklerin göz önüne alınması gereklidir (Can 2008).

- Kalibreli ölçüm cihazları ve onların sertifikalarında verilen düzeltme değerleri ölçümlerde kullanılmalıdır.
- Bilinen ölçüm hatalarını karşılamak amacıyla, ölçüm sonuçlarına düzeltmeler uygulanmalıdır.
- Ölçüm cihazının ulusal standartlara karşı izlenebilirliğini sağlamak amacıyla, kalibrasyonu akredite kuruluşa yaptırılmalıdır.
- Yapılacak ölçümün çeşidine göre, belirsizliği ve ölçüm özellikleri uygun ekipman seçilmelidir.
- Tekrarlanan ölçümler; farklı zamanda farklı kişiler tarafından yapılmalıdır ve diğer kontrol yöntemleri de kullanılmalıdır.
- Hesaplamalarda rakamların taşınmasında oluşabilecek yanlışlıklar kontrol edilmelidir.
- Belirsizlik tanımlamalarında tablo ile çalışma yönteminden yararlanılmalıdır.
- Kalibrasyon zincirinin her adımında belirsizliğin arttığı unutulmamalıdır.

Ölçüm belirsizliği tahmininde GUM metodu kullanılmaktadır. Bu metod ayrıntılı olarak EA-4/02 yayınında ele alınmıştır. Metodun önceliği ölçüm belirsizliği analizini gerçekçi bir şekilde yapılmasını sağlamaktır (Cengiz 2008).

Kuvvet makinalarının ölçüm belirsizliği hesaplamaları “EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration” (Kalibrasyonda Ölçüm Belirsizliğinin Açıklanması) dokümanına göre yapılmaktadır (Anonymous 1999). EA-4/02 dokümanı kalibrasyondaki ölçüm belirsizliklerinin değerlendirilmesine ilişkin istekleri ve prensipleri sıralamakta ve bu belirsizliklerin kalibrasyon sertifikasındaki durumunu tanımlamaktadır.

Tez konusuyla ilgili olarak kalibrasyon ve ölçüm belirsizliği konularında yapılan çalışmalar tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir.

Haitjema (1998), yüzey pürüzlülük standart kalibrasyonu belirsizlik analizleri üzerinde çalışmıştır. Bu amaçla bir alet nitelemiş (stylus enstrument) ve dinamik kalibrasyonunu yapmıştır. Bu aleti altı farklı yüzey pürüzlülük parametresine göre on adet pürüzlülük standardını kalibre etmek için kullanmıştır. Her bir standardın her bir parametresinin hassasiyetini stylus geometrisi, ölçüm kuvveti, kritik dalga boyu uzunluğu v.b. ölçüm koşullarında deneyler yaparak belirlemiştir. Bu deney sonuçlarını her pürüzlülük standardının her bir parametresini belirsizlik değerlendirmelerinde kullanmıştır. Çalışmalarının sonunda standarda ve kalibre edilen parametreye bağlı olarak, belirsizliğin % 0,03'ten (sinüzoidal profiller için) % 100' e kadar (çok ince yüzeyler için) değişim gösterdiğini ortaya koymuştur.

Kumme (1998), yaptığı çalışmada kuvvet sinyali ve standart kuvvet dönüştürücü kullanılan kuvvet ölçüm cihazlarının, aynı zamanda karşılaştırma metodu olarak ta kullanılabilir dinamik kalibrasyon metodunu araştırmıştır. Newton kanununa göre kuvvetin tanımına izlenebilirliği sağlamak için referans kuvvet dönüştürücüyü direk metoda göre kalibre etmiş ve bu amaçla tanımlanmış atalet kuvvetlerini titreşim ve yük kütleleri kullanılarak elde etmiştir. Karşılaştırmalı metot uygulamasında standart kuvvet dönüştürücünün dinamik yük altındaki davranışı hakkında bilgiye ihtiyaç duyulduğundan, standart kuvvet dönüştürücünün direkt bir yöntemle kalibre edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Bray'ın (1996) araştırmasında, yük hücresi ile kuvvet ölçümünde belirsizliğin değerlendirilmesi için bir model üzerinde çalışılmıştır. Çalışmalarında özellikle yük hücresinin dönme etkisi ve uç etkisi (temas noktası) ni araştırmıştır. Yaptığı çalışmada dönme etkisinin ve uç etkisinin yorumlanmasına imkan sağlamış ve bunu elastik etkileşim fikrine dayandırmıştır. Yapmış olduğu modeli deneysel olarak desteklemiş ve deneylerde birkaç yıllık periyotlarla kalibrasyonları gerçekleştirilmiş farklı tip yük hücreleri kullanmıştır.

Mohamed (2003) yaptığı çalışmada, Shore sertlik ölçüm cihazının belirsizlik hesaplarına katkıda bulunan temel faktörleri araştırmıştır. Bu faktörleri kalibrasyon işleminde kullanılan kuvvet dönüştürücünün belirsizliği ve onun uzun süre kararlılığından (drift) gelen belirsizlik, sıcaklık değişiminden gelen belirsizlik, cihazın gösterge çözünürlüğünden gelen belirsizlik, durometrenin eğiminden gelen belirsizlik, kabul edilebilir kalibrasyon hatası, tekrarlanabilirlik etkisi, çentik açıcı şekil hatası ve diğer geometrik parametreler olarak tanımlamıştır. Kalibrasyon işlemini açıklamış, belirsizlik bileşenlerini tanımlamış ve doğrulamıştır. Direk olarak doğrulanamayan elementleri analiz etmiş, mevcut bilgileri kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmalarının sonunda da Shore D sertlik test cihazı için tahmini belirsizlik bütçesini gösteren sayısal bir örnek vermiştir.

Bayraklılar (2005) çalışmasında, sıcaklık ölçüm tekniklerini kalibrasyon metotları açısından incelemiştir. Sıcaklık ölçümünde referansların belirlenmesi ve hassas sıcaklık ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiği hakkında bilgi vermiştir. Sıcaklık ölçüm ekipmanları, sıcaklık sensörleri hakkında genel bilgi, sıcaklık skalasının tanımı ve platin direnç termometrelerin kalibrasyonunun nasıl yapılması gerektiğini anlatmış, bu kalibrasyon için bir simülasyon programı yazmış ve veri alımı ve analizi kolay hale getirilmiştir.

Fabio (2006) kazıyıcı test cihazının belirsizliğinin değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda Santa Catarina Federal Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde geliştirilen, kazıma sertliğini ve materyal yüzeyinden bütün bir hacmin çıkarılması için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayan test cihazını kullanmıştır. Test genel

olarak kazıma koşulları ve yapısal özellikleri bilinen örnek yüzeyin kazınması esasına dayandırılmıştır. Çalışmalarında belirsizlik bileşenleri olarak stylus geometrisi, kazıma genişliği ve kuvvet uygulama sistemi göz önüne alınmıştır. Geliştirilen test makinasının, öncelikle yüksek performanslı materyallerin sclerometrik testlerinde kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Godina'nın (2006) yapmış olduğu çalışmada, gauge blok komparatörlerinin kalibrasyonlarında belirsizlik değerlendirmesine yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Belirsizliğe katlı yapan tüm analitik ve deneysel değerlendirme sonuçlarıyla, belirsizlik bütçesini sunmuştur. Ortaya koyduğu yeni yaklaşımla daha düşük uç etkisi belirsizliği ve uzunlukla orantılı artan daha yüksek belirsizlik bileşeni elde etmiştir. Elde ettiği sonuçları EA-10/02 dokümanında tanımlanan belirsizlik değerlendirme prosedürü ile kıyaslamalı olarak sunmuştur. Gaugelerin sıcaklık farklılıklarının kontrol altına alınması durumunda, bu yeni yaklaşımla daha düşük genişletilmiş belirsiz değerleri elde edileceği sonucuna varmıştır.

Can'ın (2008) yaptığı bir araştırmada, Türkiye'deki çeşitli firmalarda yapılmış olan kuvvet makinaları kalibrasyonunda karşılaşılan problemler ve problemlerin hata analizleri yapılarak istatistiksel bilgiler verilmiştir. Bu hataların azaltılması için çözüm önerileri sunmuştur.

Aydemir ve arkadaşları (2009), malzeme test makinalarının kalibrasyonunda makine hızının etkilerinin araştırıldığı çalışmalarında; kalibrasyonda hızın etkileri ve getirdiği hataları belirlemişlerdir. Bu çalışmada doğruluk sınıfı 00 olan bir kuvvet dönüştürücü, malzeme test makinasına bağlanarak kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Aynı işlem makinanın farklı hız kademelerinde de uygulanmıştır. Bunlara ilave olarak verilerin alınacağı kuvvet basamaklarında beklemeli olarak da kalibrasyon yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarında malzeme test makinalarının kalibrasyonlarında yükleme şartlarının ve farklı test hızlarının (0.05 mm/dak, 0.2 mm/dak ve 1 mm/dak) bağlı doğruluk hatası üzerine etkileri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca doğrulama esnasında en doğru sonuçların basamaklı yükleme şartlarında elde edildiği belirtilmiştir.

Carmignato (2009) koordinat ölçüm makinalarında kullanılan vida diş masterlarının kalibrasyonu için yeni bir metot üzerinde çalışmıştır. Bu metodu, temel olarak iğne benzeri özel bir prob kullanarak vida profilinin taranması esasına dayandırmıştır. İlgili vida parametrelerine göre, paralel bir diş masterını kalibre etmek için geliştirdiği metodun uygulanabilirliğini hassas bir koordinat ölçüm makinası kullanarak deneysel olarak göstermiştir. Bu uygulama sonunda, yaygın kalibrasyon metotlarından elde edilen değerlerle mukayese edilebilir şekilde ölçüm belirsizliğini vermiş, adım ölçümlerinde 1.8 µm, çap ölçümlerinde ise 2–2,5 µm ölçüm belirsizliği değerlerini elde etmiştir.

Wilhelm (2009) spesifik bir ölçüm planı kullanan bir özelliğin ölçümüyle (koordinat) bağlantılı ölçüm belirsizliği ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Özellikle kontakt problemleri kullanan koordinat ölçüm makinaları için koordinat ölçüm sistemlerinin spesifik belirsizliğini modellemek ve tahmin etmek için araştırma teknikleri geliştirmiştir. Aynı zamanda belirsizlik kaynaklarını da yeniden gözden geçirmiştir.

Yusaku (2009) yaptığı çalışmada dinamik kuvvet kalibrasyon metodunu araştırmıştır. Kuvvet dönüştürücülerinin değişen kuvvetlere karşı dinamik davranışlarını değerlendiren 3 metot tanımlamıştır. Üç metotta da dinamik kuvvet olarak kütlelerin atalet momentini kullanmış, bu referans kuvveti test altındaki kuvvet dönüştürücüye uygulamış ve atalet kuvvetini yüksek doğrulukla ölçmüştür. Bu çalışmalarda düşük sürtünme değerine sahip doğrusal hareket elde etmek için aerostatik lineer yatak kullanmıştır. Deney düzenekleri çarpma kuvvetine karşı, titreşim kuvvetine karşı ve atlama kuvvetine karşı dinamik kalibrasyon için tesis edilmiştir. Dinamik kuvvet kalibrasyonunun mevcut ve gelecek durumunu araştırmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Kuvvet ölçüm cihazları (basma test makinaları) kontrollü bir hızla aksenal kuvvet uygulayarak numunenin dayanımını ölçen cihazlardır. Kuvvet ölçüm cihazı genel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Bunlardan bir kuvvet dönüştürücüsü, diğeri ise gösterge cihazıdır. Basma testlerinde genelde hidrolik ve elektromekanik makinalar kullanılmaktadır. Hidrolik sistemlerde bir pompa silindir-piston mekanizmasının içine belirlenen hızda yağ basar ve bu yağ pistonu kaldırarak numune üzerine kuvvet uygulanmasını sağlar. Bu uygulanan kuvvet çeşitli yöntemlerle ölçülmektedir. Elektriksel ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı ölçüm cihazları, esas olarak kuvvet dönüştürücüleri için voltaj veya akım kaynağı, sinyal yükseltici, köprü devresi ve gösterge ünitesini içerir. Yük hücresi aksenal uygulanan kuvveti ölçer ve dijital olarak gösterir (Birbil 2009, Fank vd 2009).

Dirençli uzama ölçerlerin (strain gage) kullanıldığı sistemlerde kuvvetlerin algılanabilmesi için, malzemelerin elastik deformasyonundan faydalanılmaktadır. Gerinim (strain), cisim üzerine yük uygulandığında, birim uzunlukta oluşan deformasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır. Başlangıç uzunluğundaki toplam deformasyonun başlangıç uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Temel olarak tüm dirençli uzama ölçerler mekanik hareketi elektronik sinyale çevirmek için tasarlanmışlardır. Dirençli uzama ölçer mekanik gerinimin fonksiyonu olarak değişen bir dirence sahiptir. Dirençteki değişim ohm-metre birimi cinsinden ölçülebildiği halde, birim uzama ölçüm cihazları, direnç değişimini voltaj birimine çevirir. Giriş gerinimi ile çıkış voltajı arasındaki ilişki, sistem hassasiyetinin saptanmasında kullanılabilir. Bir parça telin elektriksel direnci, telin boyu ile doğru orantılı ve kesit alanı ile ters orantılıdır. Gerinim ölçümü için, dirençli uzama ölçerler ölçümde kullanılacak yapının yüzeyine yapıştırılır. Direnç kesit alanı ve/veya uzunluğa bağlı olarak değişir. Dirençteki bu değişim, strainmetre yardımı ile ölçülür ve sonuç strain birimine dönüştürülerek görüntülenir. Yük hücrelerinden alınan sinyaller milivolt düzeyindedir. Bu verileri, veri okuma kartı ile almak için sinyallerin volt düzeyine çıkarılması

gerekmektedir. Bu amaçla, kurulan sistemlerde amplifikatörler (yüksekteçler) kullanılmaktadır (Turgut ve Korkut 2009).

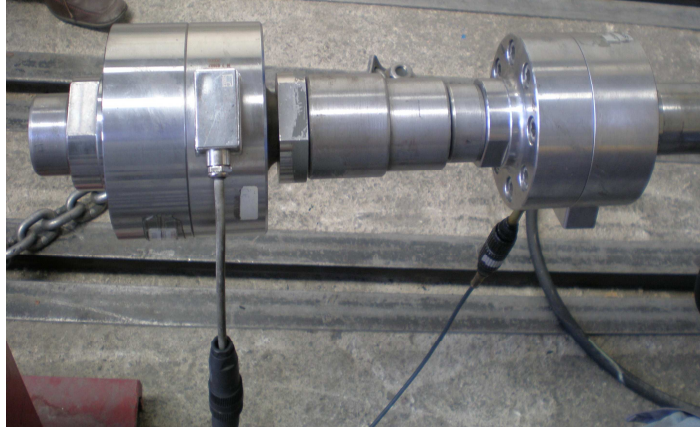
Kalibrasyon kuvvet ölçen referans cihazlarla yapılmalıdır. Kalibrasyonda kullanılan teçhizatın izlenebilirliği SI birimleri kullanılarak sertifikalandırılmalıdır. Kuvvet ölçen cihazlar ISO 376 standardındaki gerekleri sağlamalıdır. Cihazın sınıfı basma makinasının sınıfına eşit veya daha iyi olmalıdır (Birbil 2009).

Bu çalışmada, referans kalibrasyon cihazı olarak, Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğü laboratuvarlarındaki, ISO 376 standardına göre kalibre edilmiş (izlenebilir) yük hücresi ve dijital amplifikatör ile yardımcı elemanlar kullanılacaktır. Kullanılan sistemin özellikleri Çizelge 3.1’de, genel görünüşleri Şekil 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.

Referans yük hücresi (HMB U2A) 10 t kapasiteli olup, kuvvet makinasının kalibrasyonunda kullanılacaktır. Kalibrasyon sırasında referans yük hücresi kuvvet makinasının yük hücresine seri olarak bağlanacaktır. Referans yük hücresinin kalibrasyonu Ulusal Metroloji Entitüsünde yaptırılmıştır. Kalibrasyon sertifikası Ek.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Referans kalibrasyon sisteminin özellikleri

Yük Hücresi		Amplifikatör	
İmalatçı	HBM	İmalatçı	HBM
Model	U2A		
Kapasite	10 t	Model	MGA II
Sınıf	0.5*		
*Sınıflandırma ISO 376 standardına göredir.			



Şekil 3.1 Referans yük hücresi

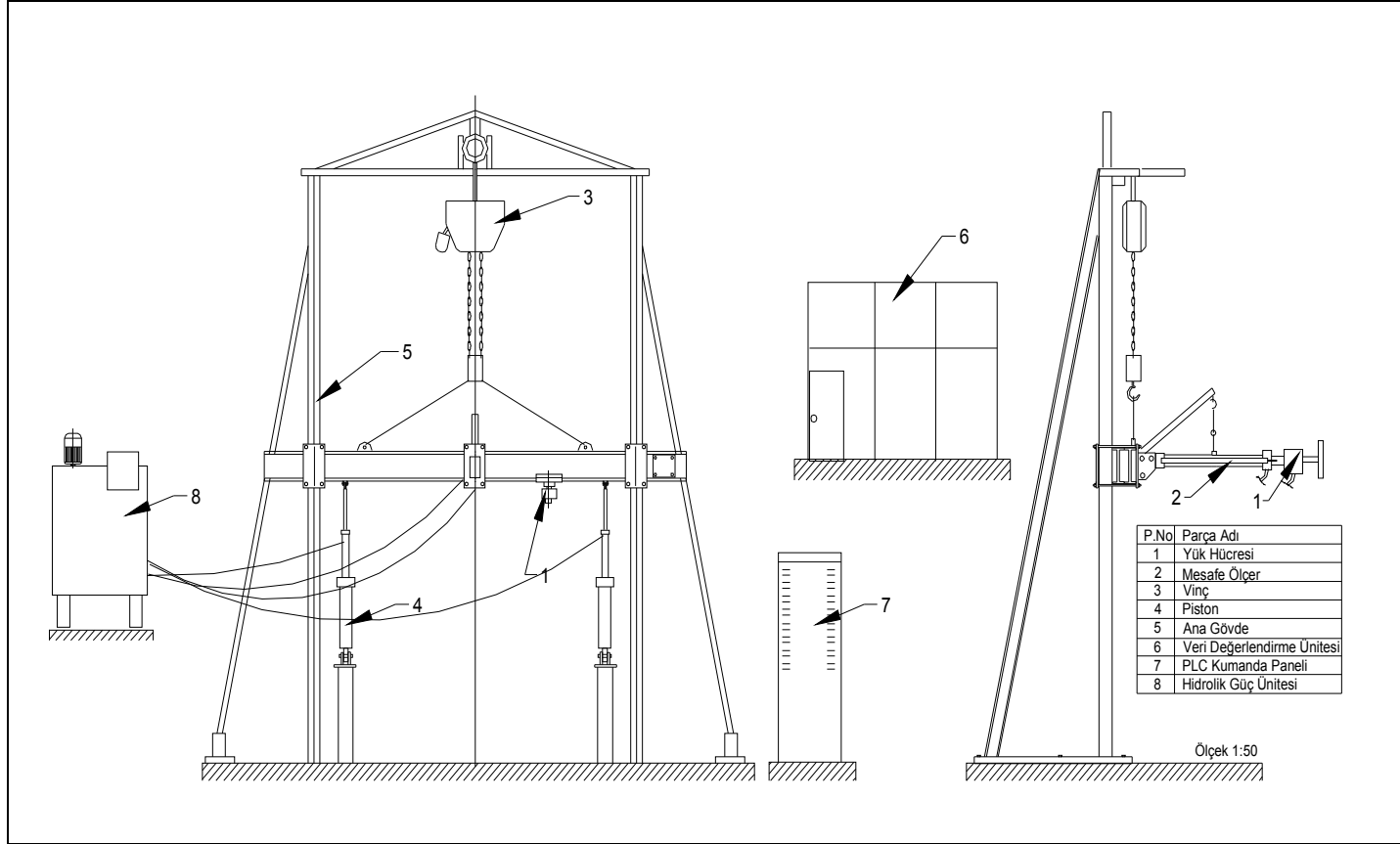


Şekil 3.2 Referans amplifikatör

Referans amplifikatör (HBM MGA II), referans yük hücresinin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Cihaz dijital göstergeli olup, dört kanallıdır.

Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğünde tesis edilmiş olan kalibrasyonu yapılacak kuvvet makinası, traktör koruyucu yapılarının 79/622/AT yönetmeliğine göre statik test deneylerinde kullanılmaktadır. Makine esas olarak çatı, hidrolik pompa, biri yatay ikisi dikey yönde çalışan üç adet piston, kuvvet ölçümünde kullanılan yük hücresi, kumanda ünitesi ve veri değerlendirme ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9).

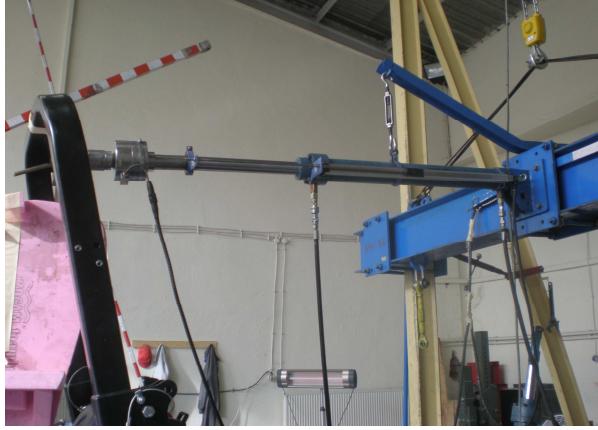
Kuvvet makinasında deney esnasında elde edilen veriler eş zamanlı olarak veri değerlendirme ünitesine iletilmekte ve gerekli hesaplamalar bilgisayarla yapılmaktadır.



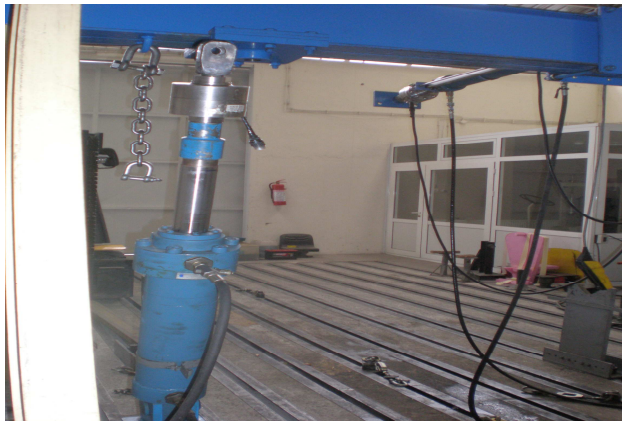
Şekil 3.3 Kuvvet makinasının genel görüntüsü



Şekil 3.4 Yatay piston ve yük hücresi



Şekil 3.5 Deney anında yatay piston ve yük hücresi



Şekil 3.6 Düşey ve yatay pistonlar



Şekil 3.7 Veri değerlendirme ünitesi



Şekil 3.8 Hidrolik pompa

Kuvvet makinasında kullanılan sistemin özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir. Makinanın yük hücreğine ait katalog bilgileri Ek 2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Kuvvet makinasında kullanılan sistemin özellikleri

Yük Hücresi		Amplifikatör		Hidrolik Pompa
İmalatçı	HBM	İmalatçı	HBM	Mannesmann
Model	U2A			Rexroth
Kapasite	10 t ve 20 t	Model	MGA II	---
Sınıf	0.5*			
*Sınıflandırma ISO 376 standardına göre dir.				

3.2 Yöntem

3.2.1 Kuvvet ölçüm cihazının kalibrasyonu

Çekme-basma cihazlarının kalibrasyonu ve kontrolü TS EN ISO 7500-1 standardına göre gerçekleştirilmektedir (Anonim 2005a, Anonim 2005b, Can ve Binark 2008).

- Kuvvet makinelerinin kolonlarında rijit ve kararlı olmayan davranışlardan dolayı oluşan farklı davranışlar ve numuneye olan etkileri,
- Test edilecek malzemenin eksenine makine ekseninin uyuşmaması,
- Makinenin merkezleme sisteminin iyi olamaması ve yük uygulama sisteminin eksende olmaması

gibi nedenlerden dolayı kuvvet ölçüm elemanı ile birlikte, makinenin test koşullarında ne kadar doğru ölçüm yaptığının belirlenmesi gerekmektedir. Kalibrasyon işlemi; test makinesinin numune koyulan veya bağlanan kısmına, makinenin çalışma eksenine yönünde kalibre edilmiş kuvvet dönüştürücüsü bağlanarak yapılmaktadır (Can 2008).

3.2.1.1 Kalibrasyon için ön şartlar

Malzeme test makinasının kalibrasyonu; ilgili standarda göre göz kontrolü yapılması sonucunda, uygun yerleştirildiği ve genel durumunun hatasız bir çalışma sağlayacağı kanaati uyandırır ise yapılmaktadır (Birbil 2009).

Makinanın kullanılması, kalibrasyon değerlerinin alınması ve kullanma ehliyeti hakkında imalatçı firmanın hazırladığı bir kullanma kılavuzu mevcut olmalı ve bu kılavuz makinanın yanında bulundurulmalıdır (Can 2008).

TS EN ISO 7500-1 standardına göre makinanın kontrolü aşağıdaki başlıklar altında yapılmaktadır (Anonim 2005a ve Can 2008).

1. Makine genel durumunun ve yerleştirilmesinin gözle kontrolü,
2. Makine gövdesinin kontrolü,
3. Basma test makinalarında basma plakalarının kontrolü,
4. Test makinasının kuvvet ölçüm sisteminin kontrolü,
5. İlave ölçüm teçhizatının kontrolü,
6. Değişik piston konumlarının etkisinin kontrolü,
7. Bağıl histerezis hatasının (Geri dönüş) kontrolü,
8. Çözünürlüğün kontrolü.

Makine genel durumunun ve yerleştirilmesinin gözle kontrolü: Test makinasının fonksiyonlarını yerine getirebilecek şekilde ve tam fonksiyonel olarak yerleştirilip yerleştirilmediği kontrol edilmektedir (Şekil 3.9). Ayrıca kontrol sırasında test makinasının;

- Harici tesir, sarsıntı ve titreşimlere maruz kalıp kalmadığı,
- Tek taraflı ısı tesirlerine maruz kalıp kalmadığı,
- Dik olarak yerleştirilip yerleştirilmediği,
- Klavuz makaralarının çok sıkı veya çok serbest olup olmadığı,
- Travers klavuzlarının aşınıp aşınmadığı,
- Klavuz makaralarının doğru ayarlanıp ayarlanmadığı,
- Sütün ve travers bağlantıları,
- Basma tablalarının düzgünlüğü ve üst basma başlığının oynaklığı,
- Pandüllü sistemlerdeki değiştirilebilen pandül disklerinin makine numarası ile işaretlenmiş olması ve disk ağırlıklarının üzerine yazılmış olması,

-Makine gövdesi ve kuvvet aktarma elemanlarının çekme numunelerine aksel kuvvet uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilmelidir (Can 2008).



Şekil 3.9 Yük hücrelerinin bağlantısı

Makine gövdesinin kontrolü: Makine tahrik sisteminin yapılan deneyler için kuvvet artırımını yeterli hassasiyette sağlayıp sağlamadığı ve kuvvetin kesintisiz yüklemesi esnasında tedrici ve darbesiz çıkıp çıkmadığı kontrol edilmektedir. Müşteri isteğine göre ayrıca yükleme hızı da kontrol edilebilmektedir (Anonim 2005a ve Can 2008).

Basma test makinalarında basma plakalarının kontrolü: Söz konusu basma plakaları, sabit plakalar ve kullanılan ara plakalardır. Basma plakalarının kullanım amacına uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Basma plakalarının eğilmesini ölçmek için bir silindirik çelik blok kullanılmaktadır. Çelik blok, test makinasının en büyük ölçüm sahasında 200 N/mm^2 değerinde bir basma gerilimi basınç uygulamalıdır. Değişik standartlarda değişik değerler istenmediği takdirde Çizelge 3.3'de verilen değerlerin aşılmaması gerekmektedir (Anonim 2005a ve Can 2008).

Çizelge 3.3 Basma plakalarının özellikleri (Anonim 2005a, Can 2008 ve Birbil 2009Hata! Yer işareti tanımlanmamış.)

Deney malzemesi	Sertlik (min)	Düzlemsellik sapması f_E	Aritmetik yüzey pürüzlülüğü R_a (max)	Maksimum kuvvette eğilme
Metaller	58 HRC	100 mm boyda 0.01 mm	tesbit edilmemiş	tesbit edilmemiş
Mineral yapıştırma malzemesi	58 HRC	100 mm boyda 0.01 mm	0.1 ile 0.8 μm arası	plaka boyunda 0.01 mm
Beton	50 HRC	250 mm boyda 0.03 mm	0.8 ile 1.6 μm arası	250 mm boyda 0.1 mm

Bu bölümde ayrıca referans alınan merkezleme kanallarının veya yan dayanma yüzeylerinin numuneleri merkezleyip merkezlemediği kontrol edilmektedir. Merkezleme kanallarının genişliği 0.3 mm'den büyük ve derinliği de 1 mm'den fazla olmamalıdır. Üst basma başlığı küresel yataklanmış ve yüksüz durumda boşluksuz olmalı ve yaklaşık 3^0 'lık bir açığa kadar kolay ayarlanabilir olmalıdır (Anonim 2005a ve Can 2008).

Test makinasının kuvvet ölçüm sisteminin kontrolü: Kalibrasyon, kullanılan bütün ölçüm sahasında ve kullanılan bütün kuvvet gösterge sistemleriyle beraber yapılmaktadır. Kontrol sırasında aşağıda sıralanan işlemler gerçekleştirilmektedir: (Anonim 2005a ve Can 2008).

- Kontrol; kuvvet ölçüm sistemini etkileyebilecek yardımcı teçhizat (yazıcı yardımcı ibre) devrede iken yapılmalıdır.
- Makine birden fazla gösterge sistemine sahipse, her gösterge cihazı bir makine olarak kabul edilerek kontrol edilmelidir.
- Çift pistonlu hidrolik makinelerde da her pistonu ayrı bir makine gibi işlem yapılmalıdır.
- Kalibrasyon, yük hücreleri kullanılarak yapılmalıdır.

-Kalibrasyonu yapılan kuvvet, kullanılan yük hücresinin alt sınırında kalıyorsa (≤ 500 N), kütleler kullanılarak kalibrasyon yapılabilir. Bu durumda yerel yerçekimi ivmesi, sertifikada belirtilmelidir.

-Bir ölçüm sahasının kalibrasyonunda birden fazla yük hücresi kullanılıyorsa, büyük ve küçük yük hücreleri arasında büyük için en küçük basamak ve küçük için en büyük basamak geçiş basamağı olarak verilmelidir.

-Kalibrasyonda genel olarak, makine gövdesi F_i sabit tutularak okuma yapılmaktadır. Şayet bu okuma metodu uygulanamıyorsa; gerçek kuvvet F sabit tutularak makine göstergesinden okuma yapılmalıdır.

-Kalibrasyonda kullanılan ölçüm cihazları Uluslararası Birimler Sistemine (SI) izlenebilir olmalıdır.

-Kalibrasyonda kullanılan yük hücreleri ISO 376 standardına uygun olmalıdır.

-Kullanılan yük hücresinin sınıfı, kalibrasyonu yapılan makinaya verilecek sınıfa eşit veya daha iyi olmalıdır.

İlave ölçüm teçhizatının kontrolü: Test makinasının kullanım şekline (yani ilave teçhizatın beraber kullanılıp kullanılmamasına) göre, bu teçhizatların uygun kullanım durumu ve sürtünme etkileri aşağıda belirtilen yöntemlerden bir tanesi ile kontrol edilmektedir (Anonim 2005a ve Can 2008).

a. Test makinası genellikle ilave teçhizatla birlikte kullanıldığında;

Her ölçüm sahasında ve her ölçüm serisinde bütün ilave teçhizat ile beraber kalibrasyon yapılmalıdır. Sadece kullanılan en küçük ölçüm bölgesinde ilave teçhizat kullanılmadan ek bir ölçüm serisi daha yapılabilir.

b. Test makinası genellikle ilave teçhizatla birlikte kullanılmadığında;

Her ölçüm sahasında ve her ölçüm serisinde bütün ilave teçhizat devre dışı bırakılarak kalibrasyon yapılır. Sadece kullanılan en küçük ölçüm bölgesinde ilave teçhizat kullanılarak ek bir ölçüm serisi daha yapılabilir.

Her iki durumda da bağıl gösterge sapması önceden yapılan üç ölçüm serisinden yararlanarak hesaplanmaktadır. Fakat bağıl tekrarlanabilirlik sapması, yapılan dört ölçüm serisinden yararlanılarak belirlenmelidir. Bulunan değerler makinaya ait sınıf

değerleri Çizelge 3.4’de verilen sınırlar dahilinde olmalıdır. Ayrıca aşağıdaki şartlarda sağlanmış olmalıdır (Anonim 2005b ve Birbil 2009).

Çizelge 3.4 Kuvvet gösterge sisteminin sınıflandırma kriterleri (Anonim 2005b ve Birbil 2009).

Makine Sınıfı	Müsade Edilen Sınır Değerler (%)				
	Bağıl Gösterge Hatası q	Bağıl Tekrarlanabilirlik Hatası b	Bağıl Histerezis Hatası v	Bağıl Sıfır Hatası f ₀	Bağıl Çözünürlük a
0,5	± 0,5	0,5	± 0,75	± 0,05	0,25
1	± 1,0	1,0	± 1,5	± 0,1	0,5
2	± 2,0	2,0	± 3,0	± 0,2	1,0
3	± 3,0	3,0	± 4,5	± 0,3	1,5

* Bağıl histerezis hatası sadece istek üzerine tesbît edilir.

Gösterge sabit tutularak yapılan kalibrasyonlarda:

$$\left| \frac{F_i - F_c}{F_c} \right| < 1,5 |q| \dots\dots\dots(3.1)$$

Gerçek kuvvet sabit tutulduğu veya kütlelerle yükleme yapıldığında:

$$\left| \frac{F_{ic} - F}{F} \right| < 1,5 |q| \dots\dots\dots(3.2)$$

bağıntıları dikkate alınmalıdır. Bu bağıntılarda;

F_i : Doğruluğu kontrol edilecek test makinesinin kuvvet gösterge elemanındaki artan test kuvvetlerinde kuvvet gösterge değeri (kN),

F_c : Tamamlayıcı ölçüm dizilerinde kullanılan en küçük aralık için kuvvet ölçüm cihazının artan deney kuvvetiyle gösterdiği gerçek kuvvet (kN),

F_{ic} : Kullanılan en küçük aralıkta tamamlayıcı ölçüm dizileri için, artan deney kuvvetiyle doğrulanacak deney makinesinin kuvvet ölçüm cihazından okunan kuvvet (kN),

F : Artan test kuvveti esnasında yük hücresinin gösterdiği gerçek kuvvet (kN)'dir.

Bu eşitlikte q değeri, söz konusu sınıf için Çizelge 3.4'de verilen kabul edilebilir azami değerlerdir (Anonim 2005b ve Birbil 2009).

Değişik piston konumlarının etkisinin kontrolü: Deney kuvvetini ölçüm için tahrik organındaki hidrolik basıncın kullanıldığı hidrolik makinelerde, piston konumundaki değişikliğin etkisi, üç dizi ölçüm esnasında kullanılan makinenin en küçük ölçüm aralığı için doğrulanmaktadır. Her ölçüm serisinde pistonun konumu farklı olmalıdır. Çift pistonlu hidrolik makinelerde, her iki piston da dikkate alınmalıdır (Anonim 2005a ve Can 2008).

Bağıl histerezis hatasının (geri dönüş) kontrolü: Bu kontrol sadece müşteri isteğine göre yapılmaktadır. Bağıl histerezis sapması, aynı kuvvet basmağında artan ve eksilen test kuvvetlerinden kontrol edilmektedir. Histerezisin belirlenebilmesi için, makina eksilen kuvvetlerde de kalibre edilmektedir. Makinenin artan kuvvet basmaklarında kalibrasyonu yapıldıktan sonra arkasından geri dönüş basamaklarında kalibrasyonu yapılmaktadır. Daha sonra tekrar artan basmaklarda kalibrasyona devam edilmektedir. Artan ve eksilen kuvvet değerleri arasındaki farktan bağıl histerezis hatası hesaplanmaktadır (Fank ve Demirkol 2003 ve Can ve Binark 2008).

$$v = \frac{F - F'}{\bar{F}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots(3.3)$$

Formülde;

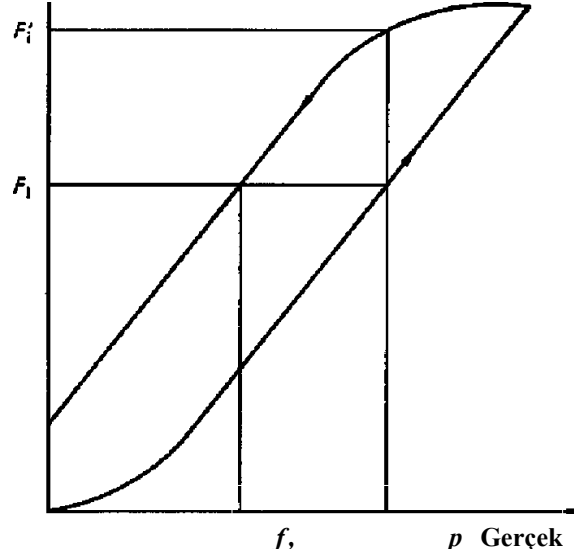
v : Deney makinasının kuvvet ölçüm sisteminin bağıl histerezis hatası (%),

F : Artan test kuvveti esnasında yük hücresinin gösterdiği gerçek kuvvet (kN),

F' : Azalan test kuvveti esnasında yük hücresinin gösterdiği gerçek kuvvet (kN),

\bar{F} : Aynı kuvvetle yapılan birçok F ölçümlerinin aritmetik ortalaması (kN)'dir.

Histeresis hatasının değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Histeresis hatasının grafiği (Anonim 1995)

Histerisiz hatası üzerindeki en etken faktörün kuvvet dönüştürücünün yay elemanı malzemesine ait özellikler olduğu öne sürülmektedir (Bir kuvvet dönüştürücünün doğruluğunu etkileyen diğer faktörler olarak; malzemenin elastik şekil değişimini elektriksel çıktıya çeviren dirençli uzama ölçerler, bunların yapıştırma uygulamasında kullanılan yapıştırıcı, oluşturulan elektriksel devre ile uygulanan gerilimin kararlılığı ve gösterge elemanının kalitesi sayılabilir (Fank ve Demirkol 2003).

Çözünürlüğün kontrolü: Çözünürlüğün kontrolü göstergenin tipine göre farklılık göstermektedir.

Analog göstergelerde; skalaların bölüntü çizgileri ve ibre kalınlığı yaklaşık bölüntü çizgilerinin kalınlığı kadar olmalıdır. Göstergenin çözünürlüğü r ibre kalınlığının iki bölüntü çizgi aralığına oranından bulunmaktadır. Oran olarak 1/2, 1/5 veya 1/10

değerlerinin kullanılması önerilmektedir. 1/10 oranı kullanıldığında iki bölüntü çizgi arası en az 2,5 mm olmalıdır (Anonim 2005b, Can ve Binark 2008 ve Fank vd 2009)

Dijital göstergelerde; yüksüz durumda, motor ve kumanda sistemi devrede iken göstergedeki son dijit bir adımdan fazla oynamıyorsa, çözünürlük dijital skalanın son dijit adımına eşit olmaktadır. Yüksüz durumda iken son dijit bir adımdan fazla oynama yapıyorsa, çözünürlük olarak oynama değerinin yarısı alınmaktadır. Çözünürlük kuvvet birimiyle birlikte verilmelidir (Anonim 2005a).

Gösterge sisteminin bağıl çözünürlüğü a aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Anonim 2005, Can ve Binark 2008).

$$a = \frac{r}{F} \times 100 \dots \dots \dots (3.4)$$

Burada;

a : Bağıl okuma hatası,

r : Gösterge çözünürlüğü,

F : İncelenen skala noktasındaki test kuvveti (kN)'dir.

Bağıl çözünürlük a , gösterge skalasının %20'sinden itibaren bütün kuvvetler için belirlenmektedir. Çözünürlük değeri, istenen makina sınıfı için Çizelge 3.4 'te verilen değerleri aşmamalıdır (Anonim 2005a). Skalanın %20'sinin altında da çözünürlük değeri bir sınır ile belirlenir, ancak makina bir sınıfa dahil edilecek ise Çizelge 3.4 'teki değerlere uygun olmalıdır.

Yük hücresinin montajı: Yük hücreğine eksenel kuvvet uygulanabilmesi için, yük hücresinin makinaya dik ve merkezde monte edilmesine dikkat edilmelidir (Anonim 2005a).

Kalibrasyon, 10°C ile 35°C arasında ortam sıcaklığında yapılmalıdır. Kalibrasyona başlamadan önce yük hücresi sabit bir sıcaklığa ulaşmaya kadar beklenmelidir. Yük

hücresinin sıcaklığı her ölçüm serisi için $\pm 2^{\circ}\text{C}$ oranında sabit olmalıdır. Kalibrasyon esnasındaki ortam sıcaklığı sertifikada verilmelidir (Fank vd 2009).

3.2.1.2 Kalibrasyon yöntemi

Kalibrasyon yapılırken ön yükleme için test makinası, yük hücresi monte edilmiş durumda iken, en az üç kez tam kapasiteye kadar yüklenir ve boşaltılır. Bu işlem için şu yöntem uygulanmaktadır (Anonim 2005b, Can ve Binark 2008 ve Fank vd 2009):

Test makinasına, göstergesinde belli bir F_i kuvveti gösterinceye kadar yükleme yapılmakta ve yük hücresinin gösterdiği gerçek F kuvveti kaydedilmektedir. Bu yöntemin uygulanmadığı durumlarda ise; yük hücresine veya kütleler vasıtasıyla gerçek kuvvet F kuvveti uygulanmakta ve makina göstergesindeki F_i kuvveti kaydedilmektedir.

Artan test kuvveti yönünde üç ölçüm serisi uygulanmaktadır. Her ölçüm serisi, tam kapasitenin %20'si üzerinde eşit şekilde bölünmüş, en az beş kuvvet basamağından oluşmaktadır. Her kuvvet basamağı Çizelge 3.4'te verilen sınıf değerlerine uygun olmalıdır. Şayet tam kapasitenin % 20'si altında da ölçüm yapılacaksa ilave olarak tam kapasitenin %10-5-2-1-0.5-0.2-0.1 değerlerinde de ölçüm yapılmaktadır (Anonim 2005b ve Can ve Binark 2008).

Ölçüm sahasının alt sınırı; çözünürlüğün aşağıdaki faktörlerle çarpılması ile bulunmaktadır (Anonim 2005b). Bu faktörler;

0,5 sınıfı için 400,

1 sınıfı için 200,

2 sınıfı için 100,

3 sınıfı için 67'dir

Ölçüm sahası otomatik olarak değişen dijital göstergeli makinalarda, çözünürlüğü değişen her ölçüm sahasında en az iki kuvvet basamağı olacak şekilde ölçüm yapılmaktadır.

Her ölçüm serisine başlamadan önce yük hücresi bulunduğu konumdan 120° çevrilerek konumu değiştirilir. Bu durumda ölçüme başlamadan önce ön yükleme yapılmalıdır. Her kuvvet basamağı için, ölçüm serilerinden alınan değerlerin aritmetik ortalaması alınır. Bu aritmetik ortalamalardan makina göstergesinin bağıl gösterge sapması ve bağıl tekrarlanabilirlik sapması hesaplanmaktadır. Her ölçüm serisine başlamadan önce, sıfır ayarı yapılmalı ve her ölçüm serisi sonucunda göstergedeki kalıcı değer kaydedilmelidir (Anonim 2005b).

Analog göstergelerde ibre sıfır üzerinde serbest oynamalıdır. Dijital göstergelerde değerlerin sıfırın altına indiği (+ veya -) işaretleri ile belli olmalıdır. Kalıcı değerlerin okunması, kuvvet tamamen boşaltıldıktan sonra yaklaşık 30 saniye sonra yapılmalıdır. Hesaplanan her dizi için bağıl sıfır hatası aşağıdaki formül ile hesaplanıp kaydedilmelidir (Anonim 2005b ve Birbil 2009).

$$f_0 = \frac{F_{i0}}{F_N} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (3.5)$$

Bu bağıntıda;

f_0 : Bağıl sıfır hatası,

F_{i0} : Test makinesi yüklenip boşaltıldıktan sonra gösterge üzerinde kalan kalıcı değer (kN),

F_N : Test makinesinin en yüksek kapasitesi (kN)'dir.

Kuvvet gösterge sisteminin değerlendirilmesi: Bağıl gösterge hatası aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır (Anonim 2005b):

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (3.6)$$

Burada;

q : Bağıl gösterge hatası (%)

F_i :Doğruluğu kontrol edilecek test makinesinin kuvvet gösterge elemanındaki artan test kuvvetlerinde kuvvet gösterge değeri (kN),

\bar{F} : Aynı kuvvetle yapılan birçok F ölçümlerinin aritmetik ortalaması (kN)'dır.

Bağıl tekrarlanabilirlik hatası (b) her kuvvet basamağındaki en büyük ve en küçük kuvvet değerleri farkının ortalama kuvvete (\bar{F}) oranı ile bulunmaktadır (Anonim 2005b, Birbil 2009).

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots(3.7)$$

Burada;

b : Deney makinesinin kuvvet ölçüm sisteminin bağıl tekrarlanabilirlik hatası(%)

F_{\max} : Aynı kuvvet için F'in en yüksek değeri (kN),

F_{\min} : Aynı kuvvet için F'in en düşük değeri (kN),

\bar{F} : Aynı kuvvetle yapılan birçok F ölçümlerinin aritmetik ortalaması (kN)'dır.

Bir test makinasının sınıflandırılması için, gösterge sisteminin sahip olması gereken sınır değerler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Bir kuvvet gösterge sistemi, bir ölçüm sahasının en az %20'den tam kapasiteye kadar Çizelge 3.4'de verilen sınıf değerlerine sahipse sınıflandırılmaktadır (Anonim 2005b ve Birbil 2009).

Kalibrasyon sonucu hazırlanan rapor aşağıdaki bilgileri içermelidir (Anonim 2005b).

1. Genel bilgiler:

a) Uygulanan işlem için standardın numarasına atıf (TS EN ISO 7500-1),

- b) Test makinasının tanıtılması (tip, üretici, üretim yılı, seri no), mümkün ise göstergenin tanımlanması (tipi, seri numarası, çözünürlüğü, çalışma prensibi vb.),
- c) Makinanın bulunduğu yer (adres),
- d) Kullanılan kuvvet ölçüm cihazının tipi ve seri no ile kalibrasyon sertifikası no ve sertifikanın geçerliliğinin sona erdiği tarih,
- e) Kalibrasyonun yapıldığı ortam sıcaklığı,
- f) Kalibrasyonun yapıldığı tarih,
- g) Kalibrasyonu gerçekleştiren otoritenin adı veya işareti bulunmalıdır.

2. Kontrol Sonuçlarında;

- a) Genel muayene sırasında belirlenen her türlü anormallik,
- b) Kullanılan her bir kuvvet ölçüm sistemi için, kalibre edilen her bir aralığın sınıfı, talep edildiği durumda bağıl doğruluk, tekrarlanabilirlik, sıfır ve çözünürlük hatalarının basamak değerleri,
- c) Değerlendirmenin geçerli olduğu her bir aralığın alt sınırı yer almalıdır.

Kalibrasyon geçerlilik süresi: İki kalibrasyon arasındaki süre, test makinesinin tipine, bakım standardına, kullanım sıklığına ve test edilen malzeme tipine bağlıdır. Aksi belirtilmediği takdirde, doğruluğun kontrolü (kalibrasyonu) 12 ayı geçmeyen sürelerle tekrarlanmaktadır. Doğruluğun kontrolü, makine bir yerden bir yere taşınmışsa veya büyük bir bakım veya onarım görmüş ise derhal tekrarlanır (Anonim 2005b).

3.2.2 Kalibrasyona ilişkin ölçüm belirsizliği

Ölçüm belirsizliği, ölçümün gerçek değerinin içinde bulunmasının olası olduğu bir aralığı tanımlamaktadır. Ölçümün kalitesi, ölçüm belirsizliği ile doğrudan ilişkilidir. Ölçüm belirsizliği tahmininde GUM yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ayrıntılı

olarak EA-4/02 yayınında ele alınmaktadır. Yöntemin önceliği ölçüm belirsizliği analizini gerçekçi bir şekilde yapılmasını sağlamaktır (Anonymous 1999).

GUM yöntemine göre; ölçüm belirsizliği analizinde uygulanması gereken çalışma adımları ve işlemler Çizelge 3.5’de verilmektedir.

Çizelge 3.5. Ölçüm belirsizliği analizinde uygulanması gereken adımlar ve işlemler (Cengiz 2008)

GUM’A GÖRE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ ANALİZİNDE ADIMLAR	YAPILMASI GEREKEN İŞLEMLER
1.Ölçüme ilişkin matematiksel eşitliğin (model fonksiyon) oluşturulması	Matematiksel ve fiziksel veriler yardımıyla model fonksiyonun oluşturulması
2.Mevcut verinin hazırlanması	Ölçüm sonucunun kaydedilmesi
	Ölçüm sonucu üzerinde önemli etkisi olan ölçüm koşullarının kaydedilmesi (Laboratuvar sıcaklığı, nem vb.)
3.Sonuçların hesaplanması	Ölçüm serilerinin hazırlanması, ortalama değer hesabı, min / max tespiti, standart sapma ve varyans hesabı
	Ölçüm belirsizliği hesaplanması
	Ara hesaplamaların gözden geçirilmesi
4.Ölçüm sonucunun ifade edilmesi	Ölçüm sonucunun ifade edilmesi
	Ölçüm sonucuna ölçüm belirsizliğinin eklenmesi

Tez çalışmasının ölçüm belirsizliği hesaplamaları ‘‘EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration’’ (kalibrasyonda ölçüm belirsizliğinin açıklanması) dokümanına göre yapılmaktadır (Anonymous 1999).

EA-4/02 dokümanına göre; ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasında, öncelikle belirsizlik kaynaklarının tanımlanması gerekmektedir. Her bir kaynaktan gelen belirsizliklerin

büyükliğünün tahmin edilmesi gerekmektedir. Son olarak her bir belirsizlik birleşerek toplam şeklini almaktadır. Her bir belirsizliğin katkısını ve belirsizliklerin birleşimini değerlendirmek için belirli kurallar bulunmaktadır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

3.2.2.1 Ölçümlerdeki genel belirsizlik türleri

Belirsizlik kaynağı ne tür olursa olsun, "A tipi" ve "B tipi" olmak üzere iki tip değerlendirme yaklaşımı bulunmaktadır. Çoğu ölçümlerde her iki tip belirsizlik değerlendirmesine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

A tipi değerlendirme: Belirsizlik tahmini, istatistiksel hesaplamalarla yapılmaktadır. Genellikle tekrarlı ölçüm sonuçları kullanılmaktadır.

B tipi değerlendirme: Belirsizlik tahmini, istatistik dışı diğer bilgilerden elde edilmektedir. Bu bilgiler; geçmiş ölçüm tecrübeleri, kalibrasyon sertifikası verileri, üreticinin verdiği özellikler, yayınlanmış bilgiler ve benzeri kaynaklar olabilmektedir.

A tipi "rastgele", B tipi ise "sistemik" belirsizliklerin değerlendirilmesi şeklinde düşünülebilmektedir.

Rastgele belirsizlikler: Aynı büyüklüğün bir dizi ölçümleri esnasında, önceden tahmin edilemeyecek şekilde değişen ölçüm hatası bileşenleridir. Tekrarlanan ölçümler sonucunda rastgele farklı sonuçlar alınmaktadır. Çok fazla ölçüm ve bunların ortalaması alınarak en iyi tahminin elde edilmesi beklenmektedir (Anonim 1995).

Sistemik belirsizlikler: Aynı büyüklüğün bir dizi ölçümleri boyunca, sabit kalan veya önceden tahmin edilebilen değişimler gösteren ölçüm hatası bileşenleridir. Sistemik etkilerin oluşturduğu belirsizliğin belirlenmesinde, farklı ölçüm cihazları veya farklı hesaplamalar kullanılabilir (Anonim 1995).

3.2.2.2 Ölçüm belirsizliğinin hesaplanması

Belirsizliğin değerlendirilmesinde sekiz temel adım yer almaktadır. Bunlar (Anonim 1995, Anonymous 1996 ve Anonymous 1999);

1. Ölçümlerin sonucunda neyin bulunmasına ihtiyaç olduğuna yani; istenilen sonuçları elde etmek için hangi ölçüm işlemi ve hesaplamanın kullanılacağına karar verilir.
2. Gereken ölçüm işlemleri uygulanır.
3. Nihai sonucu oluşturacak her bir giriş büyüklüğünün belirsizlik değeri tahmin edilir.
4. Giriş büyüklüklerinin hatalarının birbirinden bağımsız olup olmadığına karar verilir. Eğer bir bağımlılık olduğu düşünülüyorsa ekstra hesaplama ve veriye ihtiyaç vardır.
5. Ölçüm sonuçları hesaplanır.
6. Bireysel girdilerden birleşik standart belirsizlik bulunur.
7. Belirsizlik kapsama faktörüne göre, belirsizlik aralığı ve güvenilirlik katsayısı birlikte ifade edilir.
8. Ölçüm sonuçları ve belirsizliğinin nasıl elde edildiğine dair açıklama yapılır.

Birleşik belirsizlik ifadesinin oluşturulmasından önce; belirsizliğe katkı eden bütün girişler benzer terimlerle ifade edilmektedir. Böylece bütün belirsizlikler aynı birimde verilmiş olmakta ve aynı güvenilirlik seviyesi sağlanmaktadır (Anonim 1995).

Belirsizliğe katkı yapan bütün girişler standart belirsizliğe dönüştürülerek aynı güvenilirlik seviyesinde ifade edilmektedir. Standart belirsizlik bir aralık sınırıdır ve bu sınırın büyüklüğü ± 1 standart sapma olarak düşünülebilmektedir. Standart belirsizlik genellikle "u" ile veya $u(y)$: y'nin standart belirsizliği şeklinde gösterilmektedir (Anonim 2008).

A tipi değerlendirme için standart belirsizliğin hesaplanması: Tekrarlanan ölçümler sonucu elde edilen değerler grubunda, ortalama "x" ve tahmini standart sapma "s" hesaplanmaktadır. Burada tahmin edilen standart belirsizlik "u" aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

$$u = s / \sqrt{n} \dots\dots\dots(3.8)$$

Burada;

u: Standart belirsizlik

s: Standart sapma

n: Değerler grubundaki ölçüm sayısıdır.

Ortalamanın standart belirsizliği, veya ortalamanın standart hatası olarak da adlandırılmaktadır.

B tipi değerlendirme için standart belirsizliğin hesaplanması: Bazı ölçümlerde gereken bilgi çok zor elde edilebilmekte veya bazı durumlarda belirsizliğin yalnızca üst ve alt limitleri tahmin edilebilmektedir. Ölçülen değerlerin de bu limitler arasında eşit bir şekilde dağılacağı varsayılmaktadır. Düzgün dağılım ya da dikdörtgensel dağılım buna örnektir (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999, Anonymous 2008).

Standart belirsizliklerin hesaplanmasında;"a" üst ve alt sınır genişliğinin yarısı olarak alınmaktadır (Anonymous 1996 ve Kuzu vd. 1999).

$$\text{Dikdörtgensel dağılım için} \dots\dots\dots a / \sqrt{3} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\text{Bu ifade üçgen dağılım için} \dots\dots\dots a / \sqrt{6} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$\text{U şeklinde dağılım için} \dots\dots\dots a / \sqrt{2} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$\% 95 \text{ güvenirlilikle verilen sertifika değerinden ise} \dots\dots\dots a / 2 \dots\dots\dots(3.12)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Anonim 1996 ve Kuzu vd 1999).

Ölçüm belirsizliklerinin birleşik belirsizlik hesabına katılmadan önce, aynı birimde olması sağlanmalıdır. Bu işlem, dönüşüm hassasiyet katsayısı ile yapılmaktadır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

3.2.2.3 Standart belirsizliklerin birleştirilmesi

A ve B tipi değerlendirme ile hesaplanan bireysel standart belirsizlikler, karelerinin karekök içinde toplanmasıyla birleştirilebilmektedir. Sonuç ise; birleşik standart belirsizlik şeklinde ifade edilerek u_c veya $u_c(y)$ şeklinde gösterilmektedir (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

Toplama ve çıkarma işlemlerinden oluşan fonksiyonlarda aşağıdaki formüller ile hesaplama yapılmaktadır (Anonymous 2008).

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \dots \dots \dots (3.13)$$

$$y=(c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n) \dots \dots \dots (3.14)$$

Burada;

y : Çıktı büyüklüğü,

x : Giriş belirsizlik bileşeninin değeri,

c : Hassasiyet katsayısıdır.

Genel hesaplama formülü ise;

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Big|_{x_1=x_1, \dots, x_N=x_N} \dots \dots \dots (3.15)$$

olarak hesaplanır. Burada;

X : Giriş belirsizlik bileşenidir.

Standart birleşik belirsizlik $u_c(y)$ ise;

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} \dots \dots \dots (3.16)$$

şeklinde hesaplanır (Anonymous 2008).

Birleşik standart belirsizliği bulmak amacıyla belirsizlik bileşenleri devamlı olarak ölçeklendirilmektedir. Bazen de bulunan sonucun tekrar ölçeklendirilmesi istenmektedir. Birleşik standart belirsizliğin 1 standart sapmaya eşit olduğu düşünülmektedir. Bu tüm belirsizlik aralığının % 66 oranında kapsadığı anlamını taşımaktadır. Fakat belirsizlik durumunun daha fazla bir alanı kapsamaması, yani %95 oranında olan güvenilirlik seviyesi istenmektedir. Bu tekrar ölçeklendirme, bir kapsama faktörü (k) ile çarpılarak gerçekleştirilmektedir. Birleşik standart belirsizliğin (u) kapsam faktörü (k) ile çarpılması ile elde edilen sonuca genişletilmiş belirsizlik (U) denilmektedir.

Genişletilmiş belirsizlik;

$$U = k \cdot u \dots\dots\dots(3.17)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Kuzu vd 1999).

Genişletilmiş belirsizlik için kapsam faktörünün değeri belli bir güvenilirlik seviyesi ile verilmektedir. Genellikle daha büyük bir kapsama oranında ölçeklendirme için %95 güvenilirlik seviyesi ile k=2 kullanılmaktadır. Birleşik standart belirsizliğin normal dağılım göstermesi durumunda k=2'dir. Bu değer ürün pratik uygulamalarda kullanılmaktadır.

Normal dağılım için bazı kapsama faktörleri;

- % 68 güvenilirlik seviyesi için k=1,
- % 99 güvenilirlik seviyesi için k=2.58,
- % 99.7 güvenilirlik seviyesi için k=3

olmaktadır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

Çok daha az kullanılan dağılım şekilleri de farklı kapsama faktörlerine sahiptir. Genişletilmiş belirsizlik, kapsama faktörü belirtilerek ifade edilmekte ve yapılan işlemi tersine çevirerek standart belirsizlik hesaplanabilmektedir. Yani; herhangi bir kalibrasyon sertifikasında verilen genişletilmiş belirsizlik, standart belirsizliğe çevrilerek başka belirsizlik hesaplarında da kullanılabilir (Kuzu vd 1999).

3.2.2.4 Malzeme test makinalarının temel belirsizlik bileşenleri ve tahmini bağlı varyansları

Ölçüm belirsizliğini hesaplamak için öncelikle tüm girdiler ve çıktı değerler arasındaki matematiksel ilişki belirlenerek model fonksiyon kurulmaktadır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

Standart belirsizlik fonksiyonu;

$$u^2(F) = u^2(F_{ref}) + u^2(F_s) + u^2(F_{f0}) + u^2(a) + u^2(F_v) + u^2(F_b) \dots\dots\dots(3.18)$$

şeklinde oluşturulmaktadır. Fonksiyonda yer alan tüm bileşenler ise aşağıda hesaplanmaktadır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

Referans ölçüm cihazından kaynaklanan belirsizlik bileşeni;

$$u_{(ref)} = \sqrt{u^2_{(rkoc)} + u^2_{(sck)} + u^2_{(drift)}} \dots\dots\dots(3.19)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada;

$u_{(rkoc)}$: Referans kuvvet ölçüm cihazının sertifikasında belirtilen toplam belirsizlik,

$u_{(sck)}$: Referans kuvvet ölçüm cihazının sıcaklık farkından kaynaklanan belirsizlik bileşenidir.

Referans kuvvet ölçüm cihazının sıcaklık farkından kaynaklanan belirsizlik bileşeni;

$$u_{(sck)} = \frac{\alpha \cdot \Delta t_{\max}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(3.20)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada;

α : Yük hücresi sıcaklık faktörü (üretici beyanıdır),

Δt_{\max} : Maksimum sıcaklık farkı,

$u_{(drift)}$: Uzun süre cihaz kararlılığından kaynaklanan belirsizlik bileşenidir.

Uzun süre cihaz kararlılığından kaynaklanan belirsizlik bileşeni;

$$u_{(drift)} = \frac{d}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(3.21)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada;

d: Kalibrasyon periyodu için referans ölçüm cihazındaki kaymadır. Bu değer;

$$d = \frac{drift_{maks}}{2} \dots\dots\dots(3.22)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Standart sapmadan kaynaklanan belirsizlik bileşeni;

$$u(s) = \frac{s}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (\bar{x} - x_i)^2} \dots\dots\dots(3.24)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Burada;

s: Standart sapmadan kaynaklanan belirsizlik bileşeni,

n: Her kuvvet basamağındaki ölçüm sayısı,

x_i : i. ölçümün değeri (kN),

\bar{x} : Ölçüm yapılan kuvvet basamağındaki ortalama değer (kN), dir.

Bağıl sıfır hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni $u(f_0)$; aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanmıştır. Burada f_0 değeri 3.5 no'lu bağıntıdan elde edilmiştir.

$$u(f_0) = \frac{f_0}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots(3.25)$$

Burada;

$u(f_0)$: Bağıl sıfır hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni (%),

f_0 : Bağıl sıfır hatası(%), dir

Bağıl çözünürlük hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni $u(a)$; aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanmıştır. Burada a değeri 3.4 no'lu bağıntıdan elde edilmiştir.

$$u(a) = \frac{a}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots(3.26)$$

Burada;

$u(a)$: Bağıl çözünürlük hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni (%),

a : Bağıl çözünürlük hatası (%), dir.

Bağıl tersinebilirlik hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni $u(v)$; aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanmıştır. Burada v değeri 3.3 no'lu bağıntıdan elde edilmiştir.

$$u(v) = \frac{v}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots(3.27)$$

Burada;

$u(v)$: Bağıl tersinebilirlik hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni (%),

v : Bağıl tersinebilirlik hatası(%), dir.

Bağıl tekrarlanabilirlik hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni $u(b)$; aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanmıştır. Burada b değeri 3.7 no'lu bağıntıdan elde edilmiştir.

$$u(b) = \frac{b}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots(3.28)$$

Burada;

$u(b)$: Bağıl tekrarlanabilirlik hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni (%),

b : Bağıl tekrarlanabilirlik hatası (%), dir.

Hesaplamalar sonrasında; Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi belirsizlik bütçesi oluşturularak standart birleşik belirsizlik ve genişletilmiş belirsizliğin değerleri verilmektedir (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

Çizelge 3.6 Belirsizlik bütçesi

Belirsizlik Kaynakları	Büyüklik	Standart Belirsizlik	Dağılım	Duyarlılık katsayısı	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u_{(ref)}$	$= \frac{u_{(ref)}}{2\sqrt{3}}$	Normal	1	
Standart Belirsizlik	$u_{(s)}$	$= \frac{u_{(s)}}{\sqrt{n}}$	Dikdörtgen	1	
Sıfır Sapması	$u_{(m)}$	$= \frac{u_{(f_0)}}{2\sqrt{3}}$	Dikdörtgen	1	
Çözünürlük	$u_{(a)}$	$= \frac{u_{(a)}}{2\sqrt{3}}$	Dikdörtgen	1	
Histerezis	$u_{(v)}$	$= \frac{u_{(v)}}{2\sqrt{3}}$	Dikdörtgen	1	
Tekrarlanabilirlik	$u_{(b)}$	$= \frac{u_{(b)}}{2\sqrt{3}}$	Normal	1	
Standard Varyans					
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					

3.2.2.5 Sonuçların raporlanması

Belirsizlik hesaplamaları sonucunda elde edilen değerlerin ayrıntılı bir şekilde raporlanması gerekmektedir. En düşük seviyeli güvenilirlik aralığı % 95 için genişletilmiş belirsizlik hesaplandıktan sonra, ölçülmüş değer ve genişletilmiş belirsizlik $y \pm U$ şeklinde verilerek, belirsizlik hesaplanmasında kullanılan yöntemi de kapsayacak şekilde aşağıdaki gibi ifade edilmelidir (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

Kalibrasyondaki belirsizlik EA-4/02 dokümanına uygun olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyonun toplam belirsizliği genişletilmiş belirsizlik olup, standart belirsizlikten kapsam faktörü $k=2$ kullanılarak elde edilmiştir. Güvenilirlik düzeyi % 95'tir.

Belirsizlik hesaplamaları sonucunda verilen rapor;

- Ölçüm sonuçlarının ve bunların belirsizliklerini, deney verilerinden ve girdi büyüklüklerinden hesaplama yöntemini açıklamalıdır.
- Tüm belirsizlik bileşenleri ve bu bileşenlerin hesaplama yöntemi gösterilmelidir.
- Verilerin hesaplanma yöntemleri öyle bir şekilde açıklanmalıdır ki, bu hesaplamalar tekrarlandığında açıklanan aynı belirsizlik değeri bulunabilsin.
- Hesaplamalarda kullanılan tüm düzeltme değerleri ve sabitler açıklanmalıdır (Anonim 1995, Anonymous 1996, Anonymous 1999 ve Anonymous 2008).

3.3 Hesap Tablosu Hazırlanması

Elektronik tablolama programları; her türlü veriyi (özellikle sayısal verileri) satır ve sütunlardan oluşan tablolar halinde tutma ve verilere ihtiyaç duyulan farklı aritmetiksel (temel dört işlem, ortalama hesaplama, standart sapma, vb.) ve mantıksal (“ve”, “veya” operatörleri gibi) işlemleri uygulayabilme olanağı sunan programlardır. Bu temel işlemlerin yanı sıra elektronik tablolama programları ile, ileri düzey işlemler olarak tanımlanan grafik çizme ve düzenleme, rapor oluşturma, veri özeti çıkarma, verilerin

istenen şekillerde süzülmesi, sıralanması ve sorgulanması, yazıcıdan çıktı alınması gibi işlemler de gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, bir kısım veri üzerinde yapılacak olan değişikliklerin neleri etkileyeceği de görülebilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan farklı elektronik tablolaama programları bulunmaktadır. Bunlardan en yaygınları Lotus ve Microsoft Excel'dir. Microsoft Office paketinin içerisinde yer alan Excel ile üretilen dosyaların uzantısı xls olur (Tınmaz 2009).

Tez çalışmasında; belirsizlik hesaplamalarında kullanılmak üzere Microsoft Excel tabanlı bir hesap tablosu geliştirilmiştir. Excel tabanlı olması nedeni ile kolaylıkla kullanılabilir. Hazırlanan hesap tablosu ile kalibrasyon ve belirsizlik konularında bilgi sahibi olmayan uygulayıcılara yapmış oldukları belirsizlik hesaplamalarında güçlük çekmeden sonuç alma olanağı verilmektedir. Aynı zamanda kişilerden kaynaklanan hesaplama hatalarının da azaltılması sağlanmaktadır

Hazırlanan hesap tablosunda, seri yükleme deneylerinde elde edilen mV/V değerleri 1. ölçüm, 2. ölçüm, 3. ölçüm ve histerezis sütunları altındaki hücrelere manuel olarak girilmektedir. Girilen ham veriler, referans cihazın kalibrasyon sertifikasındaki referans mV/V değerlerine bölünmek suretiyle otomatik olarak kN'a dönüştürülmektedir. Bundan sonraki süreçte, tüm hata bileşenleri ile bunlardan kaynaklanan belirsizlik bileşenleri (tekrarlanabilirlik, sıfır, histerezis, çözünürlük, referans cihaz ve standart sapma), belirsizlik hesaplama prosedüründeki formül ve sabitler kullanılarak seri bir şekilde elde edilmekte, standart birleşik belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik hesaplanmaktadır.

Ayrıca kalibre edilen ve kalibrasyonda kullanılan cihazlara ait kodlama bilgileri de ilgili hücrelere girilmektedir.

Çizelge 3.7 ve 3.8'de belirsizlik hesaplamalarında kullanılan hesap tablosunun excel tabanlı çizelgesi verilmektedir.

Çizelge 3.7 Belirsizlik bütçesi girdi değerleri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1					Ölçümler (mVV)									
2					Ölçüm No	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	Histerezis		Referans Kuvvet (kN)	Referans Kuvvete Karşılık Gelen Değerleri (mV/V)	
3	Referans Cihaz Kodu				1							5		
4	Referans Cihaz Adı				2							10		
5	Kalibre Edilen Cihaz Kodu				3							20		
6	Kalibre Edilen Cihaz Adı				4							30		
7	Ref. Amp. Kodu				5							40		
8	Ref Amp. Adı				6							50		
9	Kalibre Edilen Amp Kodu				7							60		
10	Kalibre Edilen Amp Adı				8							70		
11					9							80		
12	Ölçüm Aralığı	(kN)			10							100		
13	Çözünürlük				Sıfır Sapması									
14	Maks. Kapasite (kN)	(kN)												
15	Sref Bileşenleri				Sıfır sapması kN:									
16	Ref. Cihazın Ölçüm Belirs.	(%)			Relatif Sıfır sapması (f_0) %:									
17	Ref. Cihaz k değeri													
18	Ref. Cihaz Kibrsyn Sıcaklığı													
19	Kalibrasyon Anındaki Sıcak.													
20	Yük Hücresi Sıcaklık Faktörü	(%)												
21	Maksimum Drift	(%)												
22	Kalibrasyon													
23	Numarası													
24	Yöntemi													
25	Tarihi													

Çizelge 3.8 Belirsizlik bütçesi çıktı değerleri

ADI : DİNAMOMETRE KALİBRASYON PROTOKOLÜ																		
	KODU				ADI				ÖLÇÜM ARALIĞI(kN)	ÇÖZÜNÜRLÜK(kN)	Maksimum Kapasite (kN)							
	Referans	Kalibre Edilen	Referans	Kalibre Edilen														
Ağırlık Seti veya YÜK Hücresi	0	0	0	0	0	0	0											
Amplifikatör	0	0	0	0														
ÖLÇÜM DEĞERLERİ VE SONUÇLARI																		
Gerçek Kuvvet kN	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Histerisiz Ölçüm	Ortalama	b	u_D	u_S	v	u_V	s	u_S	f_0	u_{f_0}	q	u_{ref}	U_{ref} (%)	U_{toplam} (%)
5																		
10																		
20																		
30																		
40																		
50																		
60																		
70																		
80																		
100																		
Ortam Sıcaklığı	0	C°																
u_{drift}	0,00000																	
u_{kbc}	0																	
u_{sck}	0,00000																	
Kalibrasyon																		
No	0																	
Yöntemi	0																	
Tarihi	00.01.1900																	
Yapanlar (İsim - İmza)	0																	
Sonuç / Açıklama																		
u_D : Nisbi Tekrarlanabilirlik Sapması (%)	u_V : Nisbi Histerisiz Sapması (%)	u_S : Nisbi Okunabilirlik Sapması (%)																
u_{f_0} : Nisbi Sıfır Sapması (%)	u_q : Nisbi Gösterge Sapması (%)	u_{ref} : Referans Cihaz Sapması (%)																
U_{TOP} : Toplam Sapma (%)	U_{ref} : Relatif Ölçüm Belirsizliği (%)	u_D : Drift (%)																

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Kalibrasyon Öncesi Yapılan Kontroller

Çekme-basma cihazlarının kalibrasyonu ve kontrolü TS EN ISO 7500-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Standarda göre; kalibrasyona başlamadan önce ilk adım olarak kalibrasyonu yapılacak kuvvet makinasının gözle muayenesi ve ön kontrolü yapılmıştır (Anonim 2005a, Anonim 2005b ve Can ve Binark 2008). Bu kontroller sonucunda;

- Test makinası fonksiyonlarını yerine getirebilecek şekilde ve tam fonksiyonel olarak yerleştirilmiştir.
- Basma tablalarının düzgün olduğu belirlenmiştir.
- Harici tesir, sarsıntı ve titreşimlere maruz kalmadığı görülmüştür.
- Makine tahrik sisteminin çalışır durumda olduğu belirlenmiştir.
- Basma plakalarının kullanım amacına uygun olduğu görülmüştür.
- Üst basma başlığının küresel yataklanmış olduğu belirlenmiştir.
- Ortam sıcaklığının uygun olduğu (10-35°C) belirlenmiştir.

Test makinası kuvvet ölçüm sisteminin kontrolünde;

Kalibrasyonda kullanılacak referans yük hücresinin Uluslararası Birimler Sistemine (SI) izlenebilir olduğu belirlenmiştir.

Kalibrasyonda kullanılan referans yük hücresinin ISO 376 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Kullanılan yük hücresinin sınıfının, kalibrasyonu yapılan makinaya verilecek sınıfa eşit olduğu belirlenmiştir.

Yukarıdaki kontrollerden sonra, kuvvet makinasının hatasız bir çalışma sağlayacağı, kalibrasyona engel bir durum olmadığı belirlenmiş ve TS EN ISO 376 standardına göre kalibre edilmiş referans yük hücresi (HBM U2A-10 t) ile kalibre edilecek kuvvet makinasına ait yük hücresi (HBM U2A-10 t) uygun aparatlarla birbirine seri olarak

bağlanarak, kuvvetin uygulanacağı yönde makine pistonu ucundaki yuvasına dik ve merkezde monte edilmiştir. Sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

-Kalibreli referans yük hücresinin birlikte kullanıldığı HBM MGA II amplifikatörü ile bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

-Piston ve seri bağlı yük hücrelerinin paralelliği kalibreli su terazisi ile kontrol edilmiştir.

-İki yük hücresine basma yönünde kuvvet uygulamak için sabitlenen kolon tertibatının bağlantısı kontrol edilmiştir.

-Kalibrasyona başlamadan önce yük hücresi sabit bir sıcaklığa ulaşınca kadar beklenilmiştir.

-Ön yükleme yapmak için, test makinası, yük hücresi monte edilmiş durumda iken üç kez tam kapasiteye (100 kN) kadar yüklenip üçer dakika bekledikten sonra yük boşaltılmıştır.

-Yükleme işlemi kuvvet makinasının kumanda panelinden gerçekleştirilmiştir.

-Test makinasına, göstergesinde belli bir F_i kuvveti gösterinceye kadar yükleme yapılmış ve yük hücresinin gösterdiği değer (gerçek kuvvet) mV/V olarak amplifikatör göstergesinden okunarak kaydedilmiştir.

-Bu işlem, tam kapasitenin eşit şekilde bölünmüş on kuvvet basamağında ve artan test kuvveti yönünde üç ölçüm serisi şeklinde tekrar edilmiştir.

-Her ölçüm serisine başlamadan önce, yük hücresi bulunduğu konumdan 120° çevrilerek konumu değiştirilmiştir.

-Artan ve eksilen kuvvet değerleri arasındaki farktan bağıl histerezis hatasını belirlemek için, artan yöndeki üçüncü yüklemeden sonra, geri dönüş basamaklarındaki değerleri de kaydedilmiştir.

4.2 Kalibrasyon ve Seri Yükleme Ölçümleri

TS EN ISO 7500-1 standardına göre kuvvet makinasının kalibrasyonu esnasında tam kapasitenin eşit aralıklı on kademesinde artan yönde üç, azalan yönde bir seri yükleme ölçümlerinde elde edilen veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Seri ölçümlerde alınan mV/V değerleri

Cihazda Okunan Yük (kN)	Ölçülen mV / V Değerleri				Referans mV/V	
	1.Seri	2.Seri	3.Seri Artan-Azalan			Ortalama
5	0,508	0,506	0,507	0,508	0,507	0,507
10	1,017	1,013	1,014	1,016	1,015	1,017
20	2,032	2,025	2,029	2,026	2,029	2,037
30	3,050	3,040	3,046	3,042	3,045	3,058
40	4,069	4,056	4,058	4,059	4,061	4,079
50	5,090	5,072	5,078	5,079	5,080	5,099
60	6,114	6,094	6,100	6,100	6,103	6,120
70	7,132	7,110	7,118	7,119	7,120	7,141
80	8,144	8,120	8,129	8,130	8,131	8,162
100	10,195	10,166	10,173	.....	10,178	10,203
Sıfır Sapması F _{io} [mV/V]	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	

Seri yükleme testlerinin artan yöndeki birinci, ikinci ve üçüncü serilerinde elde edilen değerler kalibre edilen kuvvet makinasının amplifikatör göstergesinden okunmuştur. Sonuçlar çizelgede; 1. seri, 2. seri ve 3. seri sütunları altında artan ve eksilen kuvvet değerleri olarak verilmiştir. Bağlı histerezis hatasını belirlemek için, artan yöndeki üçüncü yüklemeden sonraki geri dönüşte elde edilen değerler ise 3.seri azalan sütununda mV/V olarak verilmiştir.

Artan yöndeki her kuvvet kademesinde elde edilen üç seri yüklemenin aritmetik ortalaması ise ortalama sütünü altında mV/V olarak verilmiştir.

Referans yük hücresinin çalışılan kuvvet basamaklarına karşılık gelen amplifikatör gösterge değerleri ise referans cihaza ait kalibrasyon sertifikasından (TÜBİTAK UME G2KV-0142/06-08) alınmış ve referans sütunu altında mV/V olarak verilmiştir.

Her bir seri yükleme sonrası yükün boşaltılmasından 30 s sonra amplifikatör göstergesindeki kalıcı sıfır değerleri ise en alt satırda mV/V olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1’de referans olarak verilen mV/V değerlerine karşılık okunan mV/V değerleri interpolasyon yardımıyla kN olarak kuvvete çevrilmiştir (Çizelge (4.2)).

Çizelge 4.2 mV/V değerlerine karşılık hesaplanan kuvvet değerleri

Cihazda Okunan Yük (kN)	Hesaplanan Kuvvet Değerleri (kN)				
	1. Seri	2. Seri	3. Seri Artan-Azalan		Ortalama
5	5,01	4,99	5,00	5,01	5,00
10	10,00	9,96	9,97	9,99	9,98
20	19,95	19,88	19,92	19,89	19,92
30	29,92	29,82	29,88	29,84	29,88
40	39,90	39,77	39,79	39,80	39,82
50	49,91	49,74	49,79	49,80	49,81
60	59,94	59,75	59,80	59,80	59,83
70	69,91	69,70	69,77	69,78	69,79
80	79,82	79,59	79,68	79,69	79,70
100	99,92	99,64	99,71	.....	99,75
Sıfır Sapması F _{io} [kN]	0,03				

Örnek olarak; 1.ölçüm serisi 5 kN kademesi için hesaplama aşağıdaki gibidir.

(Cihazda okunan yük x ölçülen mV/V değeri) / Referans mV/V değeri

$$(5 \times 0,508) / 0,507 = 5 \text{ kN}$$

Bu örnek hesaplama yöntemi her seri ve her ölçüm kademesi için ayrı ayrı yapılarak elde edilen mV/V değerlerine karşılık gelen kuvvet değerleri (N) elde edilmiştir.

Çizelge 4.2’teki verilerden yararlanılarak belirsizlik hesaplarında kullanılmak üzere belirsizlik bileşenleri hesaplanmıştır. Bu bileşenler; bağıl doğruluk hatası, bağıl tekrarlanabilirlik hatası, bağıl çözünürlük hatası, geri dönüş-histerezis hatası ve bağıl sıfır hatasıdır. Bu bileşenler yöntem bölümünde verilen bağıntılardan yararlanılarak hesaplanmıştır (Anonim 2005a, Anonim 2005b ve Can ve Binark 2008). Her bir kuvvet kademesi için yapılan belirsizlik bileşenleri değerleri Çizelge 4.3’te verilmektedir.

Çizelge 4.3 Her ölçüm kademesi için hesaplanan belirsizlik bileşenlerinin değerleri

Okunan Kuvvet Değeri	Gerçek Kuvvet Değeri	Bağlı Doğruluk Hatası	Bağlı Tekrarlanabilirlik Hatası	Bağlı Çözünürlük	Bağlı Geri Dönüş Hatası	Bağlı Sıfır Hatası
F_i [kN]	F [kN]	q [%]	b [%]	a [%]	v [%]	f_0 [%]
5	4,99	0,200	0,394	0,200	-0,197	+0,03
10	9,97	0,301	0,394	0,100	-0,197	
20	19,92	0,402	0,345	0,050	0,148	
30	29,87	0,435	0,328	0,033	0,131	
40	39,81	0,477	0,320	0,025	-0,025	
50	49,79	0,422	0,354	0,020	-0,020	
60	59,79	0,351	0,328	0,017	0,000	
70	69,78	0,315	0,309	0,014	-0,014	
80	79,68	0,402	0,295	0,013	-0,012	
100	99,71	0,291	0,285	0,010	.....

4.3 Belirsizlik Hesaplamaları

Kuvvet makinasının kalibrasyonu sırasında hesaplanan ve Çizelge 4.3'te verilen bileşenler ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasında kullanılmıştır (Anonim 1995, Anonymous 1996 ve Anonymous 1999).

Örnek olarak; 5 kN kuvvet kademesi için ölçüm belirsizliği hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Çözünürlükten gelen hata;

Göstergede okunan en küçük r çözünürlük değeri 0,01 kN dur.

$$a = \frac{0,01}{5} \times 100 = 0,2\%$$

Çözünürlükten kaynaklanan belirsizlik bileşeni ise dikdörtgen dağılım kabul edilerek

$$u(a) = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = \%0,0578$$

Makina göstergesinin bağıl gösterge sapması;

$$q = \frac{5 - 4,99}{4,99} \times 100 = 0,2 (\%)$$

Makinanın bağıl tekrarlanabilirlik hatası;

$$b = \frac{5 - 4,98}{4,99} \times 100 = 0,4 (\%)$$

Tekrarlanabilirlikten kaynaklanan belirsizlik bileşeni normal dağılım kabul edilerek

$$u(b) = \frac{0,4}{2\sqrt{2}} = \% 0,141$$

Standart sapmadan kaynaklanan belirsizlik bileşeni;

$$u(s) = \frac{0,0173}{\sqrt{3}} = 0,01$$

Bağıl sıfır hatası;

Test makinesi yüklenip boşaltıldıktan sonra gösterge üzerinde kalan kalıcı değer F_{i0} değeri 0,003 mV/V a karşılık gelen kuvvet değeri interpolasyonla aşağıdaki gibi hesaplanır,

$(0,003 \times 5) / 0,507 = 0,030$ kN değeri yük hücresinin tam kapasitesi 100 kN' a bölünerek,

$$f_0 = \frac{0,03}{100} \times 100 = \%0,03$$

Buradan da sıfır hatasından kaynaklanan belirsizlik bileşeni dikdörtgen dağılım kabul edilerek,

$$u(f_0) = \frac{0,03}{2\sqrt{3}} = \% 0,00867$$

Bağlı histerezis hatası;

$$v = \frac{5 - 5,01}{4,99} \times 100 = 0,2 (\%)$$

Histerezisten kaynaklanan belirsizlik bileşeni; dikdörtgen dağılım kabul edilerek,

$$u(v) = \frac{0,2}{2\sqrt{3}} = 0,0578$$

Referans ölçüm cihazından kaynaklanan belirsizlik bileşeni;

$u_{(rköc)}$ = Referans kuvvet ölçüm cihazının sertifikasında belirtilen belirsizlik bileşeni direkt olarak cihazın kalibrasyon sertifikasından alınır ve hesaplamalarda kullanırken $k=1$ seviyesine indirgemek için güvenilirlik düzeyi $k=2$ 'ye bölünür, TÜBİTAK UME G2KV-0142/06-08 numaralı kalibrasyon sertifikasındaki belirsizlik değeri % 0,055 dir, dolayısıyla;

$$u_{(rköc)} = 0,055 / k = 0,055 / 2 = 0,0275 \text{ alınır.}$$

Referans kuvvet cihazının sıcaklık farkından kaynaklanan belirsizlik bileşeni,

α = Yük hücresi sıcaklık faktörü üretici katalogunda $\alpha = 0,01 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ olarak beyan edilmiştir.

$$\Delta t_{\max} = 3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$u_{(sck)} = \frac{0,01 \cdot 3}{\sqrt{3}} = 0,0173$$

Uzun süre cihaz kararlılığından kaynaklanan belirsizlik bileşeni

$drift_{maks}$ = Referans cihazın ölçüm belirsizlikleri arasındaki en büyük fark cihazın tanıtım kartından % 0,001 tesbit edilmiştir.

$$d = 0,001 / 2\sqrt{3} = \% 0,00029.$$

Bu bileşenlerin toplamından da referans cihazdan kaynaklanan **toplam belirsizlik bileşeni**,

$$u(\text{ref}) = \sqrt{(0,0275)^2 + (0,0173)^2 + (0,00029)^2} = \% 0,0324 \text{ elde edilir.}$$

Bütün bu hatalardan kaynaklanan belirsizlik bileşenlerinin toplanmasıyla **birleşik standart belirsizlik** değerine ulaşılır;

$$u = \sqrt{u^2(\text{ref}) + u^2(s) + u^2(\text{fo}) + u^2(a) + u^2(v) + u^2(b)}$$

$$u = \sqrt{(0,0324)^2 + (0,01)^2 + (0,00867)^2 + (0,0578)^2 + (0,0578)^2 + (0,141)^2}$$

$$u = 0,165$$

Elde edilen birleşik standart belirsizlik değeri k=2 ile genişletilerek 5 kN kademesi için **genişletilmiş belirsizlik** değeri;

$$U = kxu$$

$$U = 2 \times 0,165$$

$$U = 0,33 (\%) \text{ elde edilir.}$$

Yukarıda hesaplamaları verilen 5 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 5 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (_{ref})$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (_s)$	= 0,0173	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,0001
Sıfır Sapması	$u (_{f0})$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (_a)$	= 0,2	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,00334
Histerezis	$u (_v)$	= 0,2	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,00334
Tekrarlanabilirlik	$u (_b)$	= 0,4	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,01988
Standard Varyans					0,028
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,165
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,33

Yukarıda gerçekleştirilen kompleks ve uzun zaman alan işlemler her kuvvet basamağı için ayrı ayrı yapılarak sonuçlar Çizelge 4.5–4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 10 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (_{ref})$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (_s)$	= 0,02	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,000134
Sıfır Sapması	$u (_{f0})$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (_a)$	= 0,1	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,0008294
Histerezis	$u (_v)$	= 0,197	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,003219
Tekrarlanabilirlik	$u (_b)$	= 0,394	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,019454
Standard Varyans					0,0247618
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,16
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,32

Çizelge 4.6 20 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağlı varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyüklik	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (ref)$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (s)$	= 0,035	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,000409
Sıfır Sapması	$u (f_0)$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (a)$	= 0,05	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000207
Histerezis	$u (v)$	= 0,148	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,001837
Tekrarlanabilirlik	$u (b)$	= 0,345	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,014916
Standard Varyans					0,01847
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,14
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,28

Çizelge 4.7 30 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağlı varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyüklik	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (ref)$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (s)$	= 0,05	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,000835
Sıfır Sapması	$u (f_0)$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (a)$	= 0,033	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000090
Histerezis	$u (v)$	= 0,131	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,001423
Tekrarlanabilirlik	$u (b)$	= 0,328	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,011348
Standard Varyans					0,016956
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,13
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,26

Çizelge 4.8 40 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (ref)$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (s)$	= 0,07	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,001637
Sıfır Sapması	$u (f_0)$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (a)$	= 0,025	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,0000518
Histeresis	$u (v)$	= 0,025	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,0000518
Tekrarlanabilirlik	$u (b)$	= 0,32	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,0112832
Standard Varyans					0,015698
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,125
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,25

Çizelge 4.9 50 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (ref)$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (s)$	= 0,087	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,002529
Sıfır Sapması	$u (f_0)$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (a)$	= 0,02	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000033
Histeresis	$u (v)$	= 0,02	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000033
Tekrarlanabilirlik	$u (b)$	= 0,354	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,015704
Standard Varyans					0,01942
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,14
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,28

Çizelge 4.10 60 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (_{ref})$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (_s)$	= 0,098	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,003209
Sıfır Sapması	$u (_{f0})$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (_a)$	= 0,017	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000024
Histerezis	$u (_v)$	= 0	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0
Tekrarlanabilirlik	$u (_b)$	= 0,328	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,013482
Standard Varyans					0,01784
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,13
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,26

Çizelge 4.11 70 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (_{ref})$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (_s)$	= 0,107	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,003825
Sıfır Sapması	$u (_{f0})$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (_a)$	= 0,014	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000016
Histerezis	$u (_v)$	= 0,014	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000016
Tekrarlanabilirlik	$u (_b)$	= 0,309	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,011965
Standard Varyans					0,016948
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,13
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,26

Çizelge 4.12 80 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

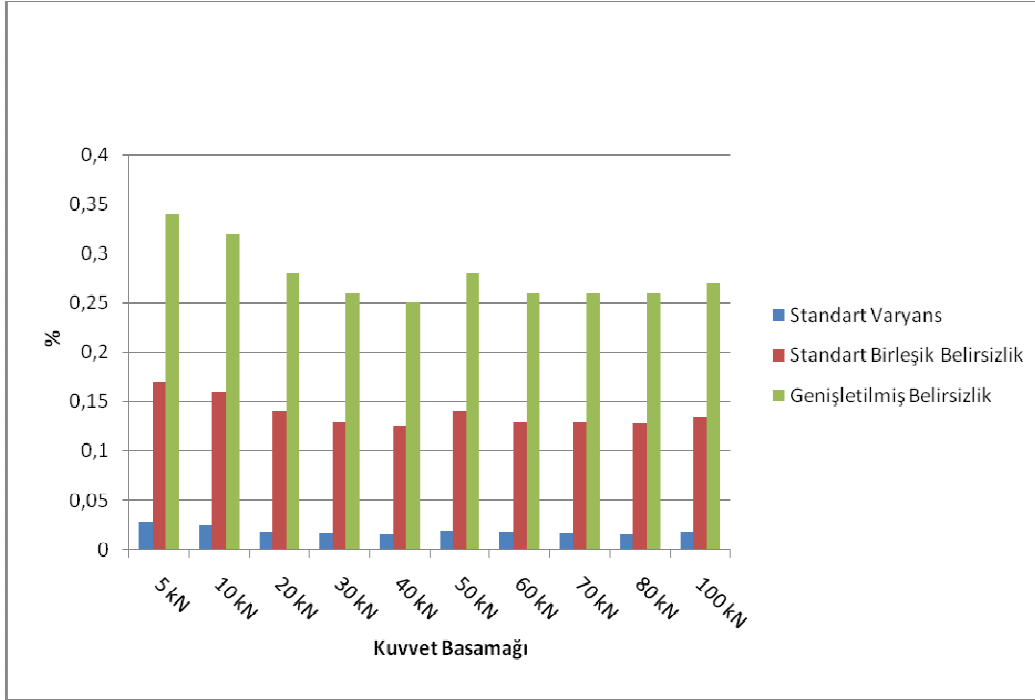
Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (_{ref})$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (_s)$	= 0,115	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,004419
Sıfır Sapması	$u (_{f0})$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (_a)$	= 0,013	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000014
Histerezis	$u (_v)$	= 0,012	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000012
Tekrarlanabilirlik	$u (_b)$	= 0,295	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,010906
Standard Varyans					0,016475
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,128
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,26

Çizelge 4.13 100 kN kuvvet basamağı için belirsizlik bileşenleri ve bağıl varyansları

Belirsizlik Kaynakları	Büyükük	Standart Belirsizlik	Dağılım Fonksiyonu	Değeri	Kısmi Varyans
Referans Cihazın Belirsizliği	$u (_{ref})$	= 0,0324	Normal	1	0,00105
Standart Belirsizlik	$u (_s)$	= 0,0145	Dikdörtgen	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,007025
Sıfır Sapması	$u (_{f0})$	= 0,03	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,000075
Çözünürlük	$u (_a)$	= 0,01	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,0000083
Histerezis	$u (_v)$	= 0	Dikdörtgen	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0
Tekrarlanabilirlik	$u (_b)$	= 0,285	Normal	$\frac{1}{2\sqrt{2}}$	0,010179
Standard Varyans					0,018337
Standard Birleşik Belirsizlik (u) (k=1)					0,135
Genişletilmiş Belirsizlik (U) (k=2)					0,27

Her kuvvet basamağı için standart varyans, birleşik belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik değerleri Çizelge 4.14' de verilmiştir.

Çizelge 4.14 Her bir kuvvet basamağı için hesaplanan standart varyans, birleşik belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik değerleri



Grafikte genişletilmiş belirsizlik değerlerinin % 0,25 ile % 0,33 arasında değiştiği görülmektedir. Kuvvet basamaklarının belirsizlik değerleri arasında büyük bir farklılık görülmemektedir. Bu farklılıklar; ortam şartları, sistemin ısınma durumu, sistemin kararlılığı, sürtünme, yük hücresinin tekrarlanabilirliği gibi unsurlardan kaynaklanmaktadır.

Her kuvvet basamağı için hesaplanan ve Çizelge 4.4-4.13'te verilen belirsizlik değerleri Çizelge 4.15'te toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 4.15 Her bir kuvvet basamağı için hesaplanan belirsizlik değerleri

Okunan Kuvvet Değeri	Gerçek Kuvvet Değeri	Bağlı Doğruluk Hatası	Bağlı Tekrarlan. Hatası	Bağlı Çözünürlük	Bağlı Geri Dönüş Hatası	Bağlı Sıfır Hatası	Bağlı Ölçüm Belirsizliği
Fi [kN]	F [kN]	q [%]	b [%]	a [%]	v [%]	fo [%]	±U [%]
5	4,99	0,200	0,394	0,200	-0,197	+0,03	0,33
10	9,97	0,301	0,394	0,100	-0,197		0,32
20	19,92	0,402	0,345	0,050	0,148		0,28
30	29,87	0,435	0,328	0,033	0,131		0,26
40	39,81	0,477	0,320	0,025	-0,025		0,25
50	49,79	0,422	0,354	0,020	-0,020		0,28
60	59,79	0,351	0,328	0,017	0,000		0,26
70	69,78	0,315	0,309	0,014	-0,014		0,26
80	79,68	0,402	0,295	0,013	-0,012		0,26
100	99,71	0,291	0,285	0,010	.....		0,27

Sertifika elde edilen souçara göre; kalibrasyon sertifikası aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

"Kalibrasyon TS EN 7500-1 standardındaki yöntem ve prosedürlere uygun olarak yapılmıştır."

"Kalibrasyondaki belirsizlik EA-4/02 dökümanına uygun olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyonun toplam belirsizliği genişletilmiş belirsizlik olup, standart belirsizlikten kapsam faktörü k=2 kullanılarak elde edilmiştir. Güvenilirlik düzeyi % 95'tir."

Makinanın bulunduğu yer : TAMTEST

Kalibrasyon tarihi : 17.01.2010

Kalibrasyon sıcaklığı : 23 °C

Kalibrasyonu yapan : Erol AKDEMİR

Kalibrasyon süresi : 1 yıl

Makinanın sınıfı : 0.5

Sonuçlardan görüleceği üzere kuvvet makinası ile 5-100 kN aralığında yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlar % 95 olasılıkla ± % 0,33 belirsizlik içermektedir.

Kalibrasyonu yapılan yük hücresinin test işlemlerinde kullanılıp kullanılmayacağına karar verirken en önemli kriter müşterinin talep ettiği ölçüm belirsizliğidir. Ölçüm belirsizliği dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, ölçüm belirsizliği ile sapma değeri toplandığında elde edilen değer, müşterinin talep ettiği sınıfın sapma değerini (%) geçmemelidir. Çizelge 3.4’de sınıflandırma kriterleri verilmiştir. Bu çizelgeden hareket edilerek kalibrasyonu yapılan test makinasının sınıfı 0,5 olarak belirlenmiştir. Bu rakamın düşük olması, test makinasının daha düşük gösterge hatasına, sahip olduğunu, tekrarlanabilirliğin kuvvetli olduğunu, histerezis hatasının az olduğunu ve çözünürlüğünün daha yüksek olduğunu göstermektedir.

4.4. Hesap Tablosu

Belirsizlik hesaplamalarında kullanılmak üzere hazırlanan hesap tablosunda; seri yükleme deneylerinde elde edilen mV/V değerleri 1. ölçüm, 2. ölçüm, 3. ölçüm ve histerezis sütunları altındaki hücrelere manuel olarak girilmiştir. Girilen ham veriler, referans cihazın kalibrasyon sertifikasındaki referans mV/V değerlerine bölünmek suretiyle otomatik olarak kN’a dönüştürülmekte ve bundan sonraki süreçte tüm hata bileşenleri ile bunlardan kaynaklanan belirsizlik bileşenleri (tekrarlanabilirlik, sıfır, histerezis, çözünürlük, referans cihaz ve standart sapma), belirsizlik hesaplama prosedüründeki formül ve sabitler kullanılarak seri bir şekilde elde edilmekte, standart birleşik belirsizlik ve genişletilmiş belirsizlik hesaplanmaktadır.

Microsoft Office Excel hesap tablosu akış şeması şöyledir;

-Birinci adımda seri yüklemelerde elde edilen kuvvet değerleri, çözünürlük değeri ve referans cihaza ait belirsizlik değeri manuel olarak girilmektedir.

-İkinci adımda bu verilerden ortalama değerler hesaplanmaktadır.

-Üçüncü adımda tekrarlanabilirlikten kaynaklanan hata ve belirsizlik bileşeni hesaplanmaktadır.

-Dördüncü adımda histerezisten kaynaklanan hata ve belirsizlik bileşeni hesaplanmaktadır.

-Beşinci adımda çözünürlükten kaynaklanan hata ve belirsizlik bileşeni hesaplanmaktadır.

-Altıncı adımda kalıcı sıfırdan kaynaklanan hata ve belirsizlik bileşeni hesaplanmaktadır.

-Yedinci adımda referans cihazdan kaynaklanan hata ve belirsizlik bileşeni hesaplanmaktadır.

Sekizinci adımda ise, tüm belirsizlik bileşenlerinin toplamından elde edilen genişletilmiş belirsizlik değeri ($k=2$ alınarak) elde edilmektedir.

Çizelge 4.16 ve 4.17' da hesap tablosundaki girdi ve çıktı değerler verilmiştir.

Çizelge 4.16 Hesap tablosunda girdi değerleri

Microsoft Excel - TEZ_YAZILIM.xls [Uyumluluk Modu]			Ölçümler (mV/V)						Referans Kıvılcık Karşılık Gelen Değerleri (mV/V)						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
					Ölçüm No	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	Histeresis		Referans Kıvılcık (kN)	Referans Kıvılcık Karşılık Gelen Değerleri (mV/V)		
3	Referans Cihaz Kodu	04.TİM.03.09			1	0,508	0,506	0,507	0,507	0,508		5	0,507		
4	Referans Cihaz Adı	HBM U2A 10 t			2	1,017	1,013	1,014	1,015	1,016		10	1,017		
5	Kalibre Edilen Cihaz Kodu	04.TİM.03.05			3	2,032	2,025	2,029	2,029	2,026		20	2,037		
6	Kalibre Edilen Cihaz Adı	HBM U2A 10 t			4	3,050	3,040	3,046	3,045	3,042		30	3,058		
7	Ref. Amp. Kodu	08.TİM.01.04			5	4,069	4,056	4,058	4,061	4,059		40	4,079		
8	Ref. Amp. Adı	HBM MGA II			6	5,090	5,072	5,078	5,080	5,079		50	5,099		
9	Kalibre Edilen Amp Kodu	08.TİM.01.05			7	6,114	6,094	6,100	6,103	6,100		60	6,12		
10	Kalibre Edilen Amp Adı	HBM MGA II			8	7,132	7,110	7,118	7,120	7,119		70	7,141		
11					9	8,144	8,120	8,129	8,131	8,130		80	8,162		
12	Ölçüm Aralığı	(kN) 0-100			10	10,195	10,166	10,173	10,178	0		100	10,203		
13	Çözünürlük		0,01		Sfır Sapması	0,003	0,002	0,003	0,003						
14	Maks. Kapasite (kN)	(kN)	100		Sfır sapması kN:		0,026								
15	Sfır Bileşenleri				Relatif Sfır sapması (f) %:		0,026								
16	Ref. Cihazın Ölçüm Belirs.	(%)	0,055												
17	Ref. Cihaz k değeri		2												
18	Ref. Cihaz Kırsın Sıcaklığı		20												
19	Kalibrasyon Anındaki Sıcak.		23												
20	Yük Hücresi Sıcaklık Faktörü	(%)	0,01												
21	Maksimum Drift	(%)	0,001												
22	Kalibrasyon														
23	Numarası		1												
24	Yöntemi		KARŞILAŞTIRMA												
25	Tarihi		17.01.2010												
26	Yapanlar		EROL AKDEMİR												
27															

Çizelge 4.17 Hesap tablosunda çıktı değerleri

ADI : DİNAMOMETRE KALİBRASYON PROTOKOLÜ																		
	KODU				ADI				ÖLÇÜM ARALIĞI	ÇÖZÜNÜRLÜK	Maksimum Kapasite							
	Referans	Kalibre Edilen	Referans	Kalibre Edilen														
Ağırlık Seti veya Yük Hücresi	04.TİM.03.09	04.TİM.03.06	HBM U2A 10 t	HBM U2A 10 t	0-100	0,01	100											
Amplifikatör	08.TİM.01.04	08.TİM.01.05	HBM MGA II	HBM MGA II														
ÖLÇÜM DEĞERLERİ VE SONUÇLARI																		
Gerçek Kuvvet kN	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Histersiz Ölçüm	Ortalama	b	u _b	u _s	v	u _v	a	u _a	f ₀	u _{f0}	q	u _{ref}	U _{rel} (%)	U _{toplam} (%)
5	5,01	4,99	5,00	5,01	5,00	0,39	0,14	0,01	-0,20	-0,057	0,200	0,058	0,03	0,00760	0,000	0,0325	0,165	0,330
10	10,00	9,96	9,97	9,99	9,98	0,39	0,14	0,01	-0,20	-0,057	0,100	0,029	0,03	0,00760	0,230	0,0325	0,157	0,315
20	19,95	19,88	19,92	19,89	19,92	0,35	0,12	0,02	0,15	0,043	0,050	0,014	0,03	0,00760	0,411	0,0325	0,136	0,271
30	29,92	29,82	29,88	29,84	29,88	0,33	0,12	0,03	0,13	0,038	0,033	0,010	0,03	0,00760	0,416	0,0325	0,130	0,260
40	39,90	39,77	39,79	39,80	39,82	0,32	0,11	0,04	-0,02	-0,007	0,025	0,007	0,03	0,00760	0,443	0,0325	0,125	0,250
50	49,91	49,74	49,79	49,80	49,81	0,35	0,13	0,05	-0,02	-0,006	0,020	0,006	0,03	0,00760	0,374	0,0325	0,140	0,280
60	59,94	59,75	59,80	59,80	59,83	0,33	0,12	0,06	0,00	0,000	0,017	0,005	0,03	0,00760	0,284	0,0325	0,134	0,268
70	69,91	69,70	69,77	69,78	69,79	0,31	0,11	0,06	-0,01	-0,004	0,014	0,004	0,03	0,00760	0,295	0,0325	0,131	0,261
80	79,82	79,59	79,68	79,69	79,70	0,30	0,10	0,07	-0,01	-0,004	0,013	0,004	0,03	0,00760	0,381	0,0325	0,129	0,259
100	99,92	99,64	99,71	0,00	99,75	0,28	0,10	0,09	0,00	0,000	0,010	0,003	0,03	0,00760	0,246	0,0325	0,136	0,273
Ortam Sıcaklığı	23	C°																
u _{drift}	0,00029																	
u _{nonc}	0,055																	
u _{back}	0,01732																	
Kalibrasyon																		
No	1																	
Yöntemi	KARŞILAŞTIRMA																	
Tarihi	17.01.2010																	
Yapanlar (İsim - İmza)	EROL AKDEMİR																	
Sonuç / Açıklama																		
u ₀ : Nisbi Tekrarlanabilirlik Sapması (%)						u _v : Nisbi Histerezis Sapması (%)						u _s : Nisbi Okunabilirlik Sapması (%)						
u _{f0} : Nisbi Sıfır Sapması (%)						u _a : Nisbi Gösterge Sapması (%)						u _{ref} : Referans Cihaz Sapması (%)						
u _{topc} : Toplam Sapma (%)						u _{rel} : Relatif Ölçüm Belirsizliği (%)						u _d : Drift (%)						

5. SONUÇ

Günümüzde teknik veri kalitesinin önem kazanması ile teknik veri üretiminde kullanılan ölçüm sistemlerinin kontrolü daha da önem kazanmıştır. Her alanda olduğu gibi tarım makinalarında da kalite, ortaya çıkan ürün için en önemli ölçüttür. Kalite isteklerini karşılamak amacıyla kalite politikası ve hedeflerinin başarı ile elde edilmesi için sürdürülen faaliyetler olarak tanımlanan TS EN ISO 9000'in kalite yönetim sisteminin şartları arasında Ürün Gerçekleştirme başlığı altında İzleme ve Ölçüm Cihazlarının Kontrolü maddesi bulunmaktadır.

Tarım traktörleri koruyucu yapı statik testlerinde kullanılan; kuvvet ölçüm sistemi malzeme test makinalarının kontrolü ve doğrulamaları, Avrupa Birliği standartları içerisinde yer alan EN 10002-2 veya EN ISO 7500-1 standardına göre gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında da; Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğünde tesis edilmiş olan kuvvet makinasının TS EN ISO 7500-1 standardına göre gerçekleştirilen kalibrasyonu sonucu elde edilen verilerden EA-4/02 dökümanı referans alınarak ölçüm belirsizliği hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada; ölçüm belirsizliği hesaplamalarının uzun zaman alan karışık hesaplamaları içerdiği açıkça görülmektedir.

Endüstride kolay ve güvenilir üretim ve yönetimi, temelde prosesin doğru işletilmesi ve her adımında kontrol edilmesiyle mümkün olabilmektedir. Bu şekilde bir prosesi planlarken daha az insan gücü ile daha kontrollü ve kaliteli sonuç almak için en iyi yöntem otomasyon olacaktır.

Bu çalışmada da, kuvvet makinalarının belirsizlik hesaplamalarında kullanılmak üzere Microsoft Excel tabanlı bir hesap tablosu geliştirilmiştir. Excel tabanlı olması nedeni ile kolaylıkla kullanabilen ve taşınabilen bu program ile;

- Kalibrasyon işlemi; yapılan ölçümlerin sıklığı, çalışma koşulları ve ölçülen büyüklüğe bağlı olarak sık periyotlarla yapılan bir işlem olduğundan, her kalibrasyon sonrası belirsizlik hesaplanması gerekmektedir. Hesaplamalarda insan faktörü minimize edilerek, veri analizlerinde sıkça yapılan kullanıcı hataları azaltılabilmektedir.
- Uygulayıcılara belirsizlik hesaplamalarında güçlük çekmeden sonuç alma olanağı verilmektedir.
- Veriler arasındaki ilişkiler hızlı ve güvenilir şekilde elde edilmekte ve etkin bir hesaplama sağlanabilmektedir.
- Belirsizlik hesaplamalarında kullanılan prosedürlerdeki bütün belirsizlik bileşenleri ile bunlara ait formüller, dağılım fonksiyonlarına ait katsayı ve sabitler excel tabanlı hesap tablosuna önceden yüklenerek bu konuda yeterli bilgiye sahip olmayan uygulayıcının da faydalanması sağlanabilmektedir.
- Kalibrasyon ve belirsizlik hesaplamaları süreklilik arz eden bir proses olduğundan sonraki kullanıcılara da büyük bir kolaylık sağlayacaktır.

Bu çalışmada kalibrasyon ve ölçüm belirsizliği hesaplamaları için gerçekleştirilen işlemler; beton presler ve çekme-basma test makinalarına da uygulanabilir.

Tezde yapılan çalışma ışığında başka araştırma olanakları da bulunmaktadır. Dinamik kuvvet ölçümleri, statik kuvvet ölçme cihazları kullanılarak gerçekleştirilmekte ve bu da belirli bir hataya sebep olmaktadır. Bu hata, dinamik kuvveti ölçecek cihazın statik olarak kalibre edilmiş olması ve bu nedenle ölçme cihazının dinamik yük karşısında nasıl bir davranış göstereceğinin bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda; dinamik kuvvet ölçen cihazların dinamik olarak kalibre edilmeleri üzerine araştırmalar yapılabilir ve hatayı en aza indirecek ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

Amaç ölçüm belirsizliğini en aza indirmek olduğundan, sonuca etki eden bileşenlerden etkisi en büyük olan bileşen yada bileşenlerin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar da yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim. 1995. Ölçüm Belirsizliği, Marmara Araştırma Merkezi, Ulusal Metroloji Enstitüsü UME 95-014.
- Anonymous. 1996. EAL-G22 Uncertainty of Calibration Results in Force Measurements.
- Anonymous. 1999. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.
- Anonim. 2005a. Metal malzemeler-Tek eksenli statik deney makinalarının doğrulanması -Bölüm 1: Çekme/basma deney makinaları -Kuvvet ölçüm sisteminin doğrulanması ve kalibrasyonu (TS EN ISO 7500-1).
- Anonim. 2005b. Metal malzemeler -Tek eksenli deney makinalarının doğrulanmasında kullanılan kuvvet ölçüm cihazlarının kalibrasyonu (TS EN ISO 376).
- Anonim. 2006. Makina Emniyeti Yönetmeliği 2006/42/AT. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı: Resmi Gazete Tarihi : 03/03/2009, Resmi Gazete Sayısı : 27158.
- Anonymous. 2007a. OECD Standard Code for The Official Testing of Protective Structures on Agricultural and Forestry Tractors-Code 4 (Static Test). OECD.
- Anonymous. 2007b. JCGM/WG 2 Document N341, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, 3rd edition , I
- Anonymous. 2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement JCGM 100:2008
- Anonim.2009.Web sitesi. http://www.zmo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=133. Erişim Tarihi: 05.01.2010.

- Aydemir, B., Pelit, E. ve Fank S. 2006. Malzeme Test Makinalarının Kalibrasyon ve Belirsizlik Hesabı. Tübitak UME(Ulusal Metroloji Enstitüsü) Eğitim Dökümanı, Gebze-Kocaeli.
- Aydemir, B., Çal, B. ve Fank, S. 2009. Malzeme Test Makinalarının Kalibrasyonunda Makine Hızının Etkileri. Web sitesi.
http://www.mmo.org.tr/resimler/ekler/091164de5649dac_ek.pdf. Erişim Tarihi: 25.12.2009.
- Bayraklılar, E. 2005. Sıcaklık Ölçüm Tekniklerinin Kalibrasyon Metodları Açısından İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı ve Proses Tekniği Programı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Birbil, G. 2009. Çekme ve Basma Testlerinde Kullanılan Malzeme Test Makinalarının Yerde Muayene ve Kalibrasyonu. Web sitesi.
www.mmo.org.tr/resimler/ekler/fa08f1b1f0d76c4_ek.pdf. Erişim Tarihi: 23.11.2009.
- Bray, A. 1996. Rotational and End effects: a model for uncertainty evaluation in force measurements by means of dynamometers. Dipartimento di Sistemi di Produzione ed Economia dell'Azienda, Politecnico di Torino - Corso Duca degli Abruzzi, 24, 10129 Torino, Italy
- Can, C. 2008. Kuvvet Makinelerinde Kullanılan Ölçüm Elemanlarının Kalibrasyonu ve Hata Analizleri. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programı, İstanbul.
- Can, C. ve Binark, A. K. 2008. Kuvvet Makinalarının Kalibrasyonunda Karşılaşılan Uyumsuzluklar ve Çözüm Önerileri. VII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi 30 Ekim - 1 Kasım 2008

- Candemir, A. ve Kınal, E. 2009. Ölçüm Belirsizliği ve Laboratuvar Uygulaması. Web sitesi. http://www.mmo.org.tr/resimler/ekler/3d9325eba0e37c9_ek.pdf. Erişim Tarihi: 06.11.2009.
- Carmignato, S. 2009. A New Method for Thread Calibration on Coordinate Measuring Machines, University of Padova, Padova, Italy
- Cengiz, A. 2008. Kalibrasyon Çalışmalarında Ölçüm Belirsizliği İçin Optimizasyon Fırsatları. VII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi 30 Ekim - 1 Kasım 2008.
- Eren, G.T. 1995. Kalibrasyon Kavramı ve Önemi, 1. Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir
- Fabio, J.P.S. 2006 Evaluation of measurement uncertainties for a scratching tester. Materials Laboratory, EMC, UFSC, CEP 88040-970, C.P. 5153, Florianópolis, SC, Brazil
- Fank, S. 1992. Strain Gage 'li Kuvvet Transduseri Dizaynı. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE, İstanbul.
- Fank, S. ve Demirkol, M. 2003. Kuvvet Dönüştürücülerde Isıl ve Mekanik İşlemlerin Histerisiz Hatasına Etkisi. İTÜ dergisi/*d* mühendislik Cilt:2, Sayı:2, 60-70.
- Fank, S., Özbay, H. ve Baytaroğlu, Ş. 2009. Kuvvet Dönüştürücüler Kalibrasyon Prosedürü. Web sitesi. http://www.mmo.org.tr/resimler/ekler/8220636944bd2df_ek.pdf. Erişim Tarihi: 09.01.2010.
- Godina, A. 2006. New approach to uncertainty evaluation in the calibration of gauge block comparators. Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Smetanova 17, SI-2000 Maribor, Slovenia

- Gülal, E. ve Deniz, R. 2005. Elektronik lm Aletlerinin Kontrol ve Kalibrasyonu. Harita ve Kadastro Mhendisleri Odası, Mhendislik lmleri STB Komisyonu 2. Mhendislik lmleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İT – İstanbul.
- Haitjema, H.1998. Uncertainty analysis of roughness standard calibration using stylus instruments. Eindhoven University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Precision Engineering Section, Eindhoven, The Netherlands.
- Kumme, R. 1998. Investigation of the comparison method for the dynamic calibration of force transducers. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig, Germany
- Kuzu, C., Fank, S., Doğan, . ve Parlatrk, H. 1999. Kuvvet lm Cihazlarının lm Belirsizliği. TMMOB Makine Mhendisleri Odası Eskişehir Őubesi III. Ulusal lmbilim Kongresi 7-8 Ekim 1999 Eskişehir.
- Mohamed, M. I. ve Aggag, G. A. 2003. Uncertainty evaluation of shore hardness testers National Institute for Standards, Egypt.
- Onurbaş Avcıoğlu, A. 2002. Tarım Traktörleri Deney Tekniği. A.. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Silleli, H., Taşbaş, H. ve ay, C. İ. 2009. Tarım ve Orman Traktrlerinde n Sert Bölgenin Değerlendirilmesi zerine Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 15(2) 166-172.
- Tınmaz, H. 2009. Bilgi Teknolojileri ve Uygulamalarına Giriş. Hesap Tablosu Uygulaması 1. Modül 6: Hesap Tablosu Uygulaması. Web sitesi. http://moodle.midas.baskent.edu.tr/file.php/3/ders_notlari/hesap_tablosu.pdf. Erişim Tarihi: 16.02.2010.

Turgut, Y. ve Korkut, İ. 2009. Talaşlı İmalatta Kesme Kuvveti Ölçüm Sistemleri. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye

Uğur, H. 1995. Ulusal Metroloji Enstitüsü (Ume), 1. Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir .

Wilhelm, R.G. 2009. Task Specific Uncertainty in Coordinate Measurement. Center for Precision Metrology, Dept. of Mechanical Engineering and Engineering Science, University of North Carolina at Charlotte, Charlotte, USA

Yusaku, F. 2009. Toward dynamic force calibration. Gunma University, Department of Electrical Engineering, 1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu 376-8515, Japan.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Erol AKDEMİR

Doğum Yeri: Ankara/ Çubuk

Doğum Tarihi: 20.04.1967

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Keçiören Lisesi / 1981 - 1984

Lisans: A.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü / 1985 - 1989

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Bağkur İstanbul İl Müdürlüğü 1992

Bağkur Ankara İl Müdürlüğü 1993 -1994

T.C. Tarım Bakanlığı Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğü 1995 – Halen
Çalışmaktayım

Yayımları (SCI ve diğer)

EKLER

EK 1. Kullanılan referansın kalibrasyon sertifikası



TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ

TÜBİTAK
UME
G2KV-0142
06-08

Kalibrasyon Sertifikası Calibration Certificate

Cihazın Sahibi / Adresi Customer / Address	:	T.C. TARIM VE KÖYİŞLERİ BAKANLIĞI TARIM ALET VE MAKİNALARI TEST MERKEZİ MÜDÜRLÜĞÜ İstanbul Yolu 5. Km. Tarım Kampüsü P.K.22 06172 Yenimahalle - ANKARA
İstek Numarası Order No.	:	2008.01205
Makine / Cihaz Instrument / Device	:	Kuvvet Ölçme Cihazı Force-proving Instrument
İmalatçı Manufacturer	:	HBM
Tip Type	:	U2A/10t
Seri Numarası Serial Number	:	H78055
Kalibrasyon Tarihi Date of Calibration	:	10.06.2008
Sertifikanın Sayfa Sayısı Total Number of Pages	:	13

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri gerçekleştiren ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler. UME, BIPM nezdinde Karşılıklı Tanınma Anlaşmasına (MRA) taraf bir kuruluştur.
This calibration certificate documents traceability to national standards, which realize units of measurement according to the International System of Units (SI). UME is a signatory of the BIPM Mutual Recognition Arrangement (MRA).

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.
Measurement results, expanded uncertainties and calibration methods are given on the following pages, which are part of this certificate.

19.06.2008

Tarih
Date

M. Sermet SÜER

Enstitü Müdür Vekili
Acting Director

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Sayfa 2 / 13 Page	TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ NATIONAL METROLOGY INSTITUTE	TÜBİTAK
		UME G2KV-0142
		06-08

Makine / Cihaz

Instrument / Device

Cihaz Adı : Kuvvet Dönüştürücü (*)

Üretici Firma : HBM
Çalışma Aralığı : 0 - 100 kN
Kuvvet Uygulama Yönü : Basma – Çekme
Tip / Model : U2A/10t / -,-
Seri Numarası : H78055
Parça No : -,-
Ölçüm Prensibi : Uzama Ölçerli ✓

Cihaz Adı : Gösterge Elemanı (*)

Üretici Firma : HBM
Çalışma Aralığı : 0 - 10 GD
Tip / Model : -,- / MGA
Seri No / Parça No : 801083075 / -,-
Kanal / Kalibrasyon Sinyali : 1 / 5,003
Besleme Gerilimi : 220 VAC
Çözünürlük : 0,001 GD
Ölçüm Prensibi : Sayısal

(*) Kuvvet ölçme cihazı, kuvvet dönüştürücüsünden başlayarak, gösterge elemanına kadar olan ve gösterge elemanını da kapsayan birleşimdir.

Kalibrasyonun Yapıldığı Yer

Location

UME

Cihazın Laboratuvara Kabul Tarihi

Date of Receipt of the Device

05.08.2008

Kalibrasyonda Kullanılan Referans Cihaz(lar)

Reference(s) Used in Calibration

Sıra No	Cihaz Adı	Üretici Firma	Tip / Model	Seri No	İzlenebilirlik
1	Kuvvet Standardı	GTM	Ölü Ağırlıklı	-,-	BIPM – NPL İngiltere karşılaştırma Ölçümü (2005)

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Unsigned certificates without signatures are null and void.

TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi, PK 54 41470 Kocaeli / TÜRKİYE. T +90 262 579 50 00 F +90 262 679 50 01 www.ume.tubitak.gov.tr

Sayfa 3 / 13 Page	TÜBİTAK	TÜBİTAK
	ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ	UMF G2KV-0142
	NATIONAL METROLOGY INSTITUTE	06-08

Kalibrasyon Yöntemi ve Prosedürü

Calibration Method and Procedure

Kuvvet ölçme cihazının kalibrasyonu, EN ISO 376 : 2004 standardına uygun olarak hazırlanan TLM-05-G2KV-04-01 "Kuvvet Ölçme Cihazları Kalibrasyonu Talimatı"na göre gerçekleştirilmiştir.

Çevre Şartları

Environmental Conditions

Sıcaklık : $21,0 \pm 1,0$ °C
Bağıl Nem : % $45,0 \pm 10,0$

Kalibrasyon Sonuçları

Calibration Results

- KSM** : Kuvvet Standardı Makinası
- SK** : Standart kuvvet değeri
- GD** : Gösterge değeri
- F** : Standart kuvvet değeri
- F_s** : Hesapla Bulunmuş gerçek kuvvet değeri
- X_r** : Dönümlü gösterge değerlerinin ortalama değeri
- X_{wr}** : Dönümsüz gösterge değerlerinin ortalama değeri
- X_N** : Maksimum kapasiteye karşılık gelen gösterge değeri
- X_s** : Hesapla bulunmuş cihaz gösterge değeri
- X** : Herhangi bir anda kuvvet ölçme cihazının göstergesinden okunan değer
- i₀** : Kuvvet uygulanmadan önceki gösterge değeri
- i_r** : Kuvvet kaldırıldıktan sonraki gösterge değeri
- X_{1,2}** : Artan test kuvvetlerindeki gösterge değerleri
- X_{3,5}** : Artan test kuvvetlerindeki gösterge değerleri
- X_{4,5}** : Azalan test kuvvetlerindeki gösterge değerleri
- f₀** : Bağıl sıfır hatası
- b** : Dönümlü bağıl tekrarlanabilirlik hatası
- b'** : Dönümsüz bağıl tekrarlanabilirlik hatası
- f_c** : Bağıl enterpolasyon hatası
- e** : Bağıl çözünürlük hatası
- v** : Bağıl tesinebilirlik hatası

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

TÜBİTAK Genel Yerleşkesi, PK 54 01470 Kocaeli / TÜRKİYE T +90 262 679 50 00 F +90 262 679 50 01 www.umc.tubitak.gov.tr

Sayfa 4 / 13 Page	TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ NATIONAL METROLOGY INSTITUTE	TÜBİTAK
		UME G2KV-0142
		08-08

Basma Yönü

Gösterge Değerleri

Kuvvet Ölçme Cihazının Sıfır Değeri : -0,020GD

Ön Yükleme Verileri

F [kN]	=>	0,0	100,0	0,0
		i_0 [GD]	X_N [GD]	i_0 [GD]
0° Konumu		0,000	10,203	0,001
120° Konumu		0,000	10,203	0,000
240° Konumu		0,000	10,203	0,000

Artan Yöndeki Kuvvetler İçin Gösterge Değerleri

F [kN]	0° Konumu	
	1. Seri	2. Seri
	X_1 [GD]	X_2 [GD]
0,0	0,000	0,000
5,0	0,507	0,507
10,0	1,017	1,017
20,0	2,037	2,038
30,0	3,058	3,058
40,0	4,078	4,079
50,0	5,099	5,099
60,0	6,120	6,120
70,0	7,141	7,141
80,0	8,161	8,162
100,0	10,202	10,203
0,0	0,000	0,000

Artan ve Azalan Yöndeki Kuvvetler İçin Gösterge Değerleri

F [kN]	120° Konum / 3. Seri		240° Konum / 4. Seri	
	X_3 [GD]	X_4 [GD]	X_5 [GD]	X_6 [GD]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
5,0	0,507	0,508	0,508	0,508
10,0	1,017	1,018	1,018	1,018
20,0	2,038	2,038	2,038	2,038
30,0	3,058	3,058	3,058	3,059
40,0	4,079	4,079	4,079	4,079
50,0	5,099	5,099	5,100	5,099
60,0	6,120	6,120	6,120	6,120
70,0	7,141	7,141	7,141	7,141
80,0	8,162	8,162	8,162	8,162
100,0	10,203	-,-	10,203	-,-

GD: Cihazın Gösterge Değeri "-,-" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Kuvvet Ölçme Cihazının Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bağıl Sıfır Hatası Tablosu

F [kN] =>	0	100	0	f ₀ (%)
	i ₀ [GD]	X _v [GD]	i ₀ [GD]	
1.ÖnYük(1.Seri Öncesi)	0,000	10,203	0,000	0,000
2.ÖnYük(1.Seri Öncesi)	0,000	10,203	0,001	0,010
3.ÖnYük(1.Seri Öncesi)	0,000	10,203	-0,001	-0,010
4.ÖnYük(3.Seri Öncesi)	0,000	10,203	0,000	0,000
5.ÖnYük(4.Seri Öncesi)	0,000	10,203	0,000	0,000
1. Seri (Artan)	0,000	10,202	0,000	0,000
2. Seri (Artan)	0,000	10,203	0,000	0,000
3. Seri (Artan-Azalan)	0,000	10,203	0,000	0,000
4. Seri (Artan-Azalan)	0,000	10,203	0,000	0,000

Hata Değerleri Tablosu (Belirsizlik Bileşenleri)

F [kN]	X _r [GD]	X _{wr} [GD]	X _e [GD]	f ₀ [%]	b [%]	b' [%]	f _c [%]	e [%]	v [%]
5,0	0,5073	0,5070	0,5090	--	0,197	0,000	-0,332	0,197	0,099
10,0	1,0173	1,0170	1,0183	--	0,098	0,000	-0,095	0,098	0,049
20,0	2,0377	2,0375	2,0376	--	0,049	0,049	0,006	0,049	0,000
30,0	3,0580	3,0580	3,0576	--	0,000	0,000	0,015	0,033	0,016
40,0	4,0787	4,0785	4,0781	--	0,025	0,025	0,014	0,025	0,000
50,0	5,0993	5,0990	5,0990	--	0,020	0,000	0,008	0,020	-0,010
60,0	6,1200	6,1200	6,1201	--	0,000	0,000	-0,002	0,016	0,000
70,0	7,1410	7,1410	7,1412	--	0,000	0,000	-0,003	0,014	0,000
80,0	8,1617	8,1615	8,1621	--	0,012	0,012	-0,005	0,012	0,000
100,0	10,2027	10,2025	10,2024	--	0,010	0,010	0,002	0,010	--
0,0	--	--	--	0,010	--	--	--	--	--

GD: Cihazın Gösterge Değeri "--" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Enterpolasyon Tabloları

Standart Kuvvet Değerlerine Karşılık Gelen Cihazın Hesaplanmış Gösterge Değerleri [kN-GD]

F	X _a	F	X _a	F	X _a	F	X _a
[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]
5,00	0,509	29,00	2,956	53,00	5,405	77,00	7,856
6,00	0,611	30,00	3,058	54,00	5,507	78,00	7,958
7,00	0,713	31,00	3,160	55,00	5,610	79,00	8,060
8,00	0,815	32,00	3,262	56,00	5,712	80,00	8,162
9,00	0,916	33,00	3,364	57,00	5,814	81,00	8,264
10,00	1,018	34,00	3,466	58,00	5,916	82,00	8,366
11,00	1,120	35,00	3,568	59,00	6,018	83,00	8,468
12,00	1,222	36,00	3,670	60,00	6,120	84,00	8,570
13,00	1,324	37,00	3,772	61,00	6,222	85,00	8,672
14,00	1,426	38,00	3,874	62,00	6,324	86,00	8,774
15,00	1,528	39,00	3,976	63,00	6,426	87,00	8,876
16,00	1,630	40,00	4,078	64,00	6,529	88,00	8,979
17,00	1,732	41,00	4,180	65,00	6,631	89,00	9,081
18,00	1,834	42,00	4,282	66,00	6,733	90,00	9,183
19,00	1,936	43,00	4,384	67,00	6,835	91,00	9,285
20,00	2,038	44,00	4,486	68,00	6,937	92,00	9,387
21,00	2,140	45,00	4,589	69,00	7,039	93,00	9,489
22,00	2,241	46,00	4,691	70,00	7,141	94,00	9,591
23,00	2,343	47,00	4,793	71,00	7,243	95,00	9,693
24,00	2,445	48,00	4,895	72,00	7,345	96,00	9,795
25,00	2,547	49,00	4,997	73,00	7,448	97,00	9,897
26,00	2,649	50,00	5,099	74,00	7,550	98,00	9,999
27,00	2,751	51,00	5,201	75,00	7,652	99,00	10,100
28,00	2,854	52,00	5,303	76,00	7,754	100,00	10,202

Yukardaki tablo "En Küçük Kareler Yöntemi" kullanılarak elde edilen "Eşitlik 1" yardımıyla oluşturulmuştur. Bu tablo, standart kuvvet değerlerine karşılık gelen hesapla bulunmuş gösterge değerlerini gösterir. İstenildiği takdirde cihaz gösterge değerleri kullanıcı tarafından da hesaplanabilir. Bunun için herhangi bir standart kuvvet değeri ve aşağıda verilen a₁, b₁, c₁ katsayıları kullanılıp bu eşitlikte yerine konularak hesaplanabilir.

Eşitlik 1

$$X_1[\text{GD}] = a_1 \cdot F[\text{kN}] + b_1 \cdot F^2[\text{kN}] + c_1 \cdot F^3[\text{kN}]$$

$$a_1 = 1,01776566\text{E-}01$$

$$b_1 = 5,69440378\text{E-}06$$

$$c_1 = -3,21777033\text{E-}08$$

GD: Cihazın Gösterge Değeri "-,-" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced either in full or in part without the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

BASMA YÖNÜ

Cihazın Gösterge Değerlerine Karşılık Gelen Hesaplanmış Gerçek Kuvvet Değerleri [GD-kN]

X	F _a	X	F _a	X	F _a	X	F _a
[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]
0,500	4,911	3,000	29,436	5,500	53,927	8,000	78,412
0,600	5,893	3,100	30,416	5,600	54,906	8,100	79,392
0,700	6,875	3,200	31,396	5,700	55,885	8,200	80,371
0,800	7,857	3,300	32,376	5,800	56,865	8,300	81,351
0,900	8,839	3,400	33,356	5,900	57,844	8,400	82,331
1,000	9,820	3,500	34,336	6,000	58,823	8,500	83,311
1,100	10,802	3,600	35,316	6,100	59,803	8,600	84,291
1,200	11,783	3,700	36,296	6,200	60,782	8,700	85,271
1,300	12,765	3,800	37,275	6,300	61,761	8,800	86,251
1,400	13,746	3,900	38,255	6,400	62,741	8,900	87,231
1,500	14,727	4,000	39,235	6,500	63,720	9,000	88,211
1,600	15,708	4,100	40,214	6,600	64,699	9,100	89,191
1,700	16,689	4,200	41,194	6,700	65,679	9,200	90,171
1,800	17,670	4,300	42,174	6,800	66,658	9,300	91,151
1,900	18,651	4,400	43,153	6,900	67,637	9,400	92,132
2,000	19,632	4,500	44,133	7,000	68,617	9,500	93,112
2,100	20,612	4,600	45,112	7,100	69,596	9,600	94,092
2,200	21,593	4,700	46,092	7,200	70,576	9,700	95,073
2,300	22,574	4,800	47,071	7,300	71,555	9,800	96,053
2,400	23,554	4,900	48,051	7,400	72,535	9,900	97,034
2,500	24,535	5,000	49,030	7,500	73,514	10,000	98,015
2,600	25,515	5,100	50,009	7,600	74,494	10,100	98,995
2,700	26,495	5,200	50,989	7,700	75,473	10,200	99,976
2,800	27,476	5,300	51,968	7,800	76,453	10,300	100,957
2,900	28,456	5,400	52,947	7,900	77,432		

Yukardaki tablo "En Küçük Kareler Yöntemi" kullanılarak elde edilen "Eşitlik 2" yardımıyla oluşturulmuştur. Bu tablo, kuvvet ölçme cihazının gösterge değerlerine karşılık gelen hesaplanmış gerçek kuvvet değerlerini gösterir. İstenildiği takdirde gerçek kuvvet değerleri kullanıcı tarafından da hesaplanabilir. Bunun için herhangi bir standart kuvvet değeri ve aşağıda verilen a₂, b₂, c₂ katsayıları kullanılıp bu eşitlikte yerine konularak hesaplanabilir.

Eşitlik 2

$$F_a \text{ [kN]} = a_2 \cdot X \text{ [GD]} + b_2 \cdot X^2 \text{ [GD]} + c_2 \cdot X^3 \text{ [GD]}$$

$$a_2 = 9,8253881E+00$$

$$b_2 = -5,3630606E-03$$

$$c_2 = 2,9706613E-04$$

GD: Cihazın Gösterge Değeri "-,-" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Certification certificates without signature and seal are not valid.

Sayfa 8 / 13 Page	TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ NATIONAL METROLOGY INSTITUTE	TÜBİTAK
		UME GZKV-0142
		06-08

Çekme Yönü

Gösterge Değerleri

Kuvvet Ölçme Cihazının Sıfır Değeri :-0,031 GD

Ön Yükleme Verileri

F [kN]	=>	0,0	100,0	0,0
		i_0 [GD]	X_N [GD]	i_0 [GD]
0° Konumu		0,000	-10,173	0,000
120° Konumu		0,000	-10,173	0,000
240° Konumu		0,000	-10,173	0,000

Artan Yöndeki Kuvvetler İçin Gösterge Değerleri

F [kN]	0° Konumu	
	1. Seri	2. Seri
	X_1 [GD]	X_2 [GD]
0,0	0,000	0,000
5,0	-0,510	-0,510
10,0	-1,020	-1,020
20,0	-2,039	-2,039
30,0	-3,058	-3,058
40,0	-4,076	-4,076
50,0	-5,093	-5,093
60,0	-6,110	-6,110
70,0	-7,127	-7,127
80,0	-8,143	-8,143
100,0	-10,174	-10,174
0,0	0,000	0,000

Artan ve Azalan Yöndeki Kuvvetler İçin Gösterge Değerleri

F [kN]	120° Konum / 3. Seri		240° Konum / 4. Seri	
	X_3 [GD]	X_4 [GD]	X_5 [GD]	X_6 [GD]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
5,0	-0,510	-0,510	-0,510	-0,510
10,0	-1,020	-1,020	-1,020	-1,020
20,0	-2,039	-2,039	-2,039	-2,039
30,0	-3,058	-3,058	-3,058	-3,058
40,0	-4,076	-4,076	-4,075	-4,075
50,0	-5,093	-5,094	-5,093	-5,093
60,0	-6,110	-6,111	-6,110	-6,110
70,0	-7,126	-7,127	-7,126	-7,126
80,0	-8,142	-8,143	-8,142	-8,142
100,0	-10,174	--	-10,173	--

GD: Cihazın Gösterge Değeri "-,-" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Kuvvet Ölçme Cihazının Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bağıl Sıfır Hatası Tablosu

F [kN] =>	0,0	100,0	0,0	f ₀ (%)
	i ₀ [GD]	X _N [GD]	i ₀ [GD]	
1.ÖnYük(1.Seri Öncesi)	0,000	-10,173	0,000	0,000
2.ÖnYük(1.Seri Öncesi)	0,000	-10,173	0,000	0,000
3.ÖnYük(1.Seri Öncesi)	0,000	-10,173	0,000	0,000
4.ÖnYük(3.Seri Öncesi)	0,000	-10,173	0,001	-0,010
5.ÖnYük(4.Seri Öncesi)	0,000	-10,173	0,000	0,000
1. Seri (Artan)	0,000	-10,174	0,000	0,000
2. Seri (Artan)	0,000	-10,174	0,000	0,000
3. Seri (Artan-Azalan)	0,000	-10,174	0,000	0,000
4. Seri (Artan-Azalan)	0,000	-10,173	0,000	0,000

Hata Değerleri Tablosu (Belirsizlik Bileşenleri)

F [kN]	X _r [GD]	X _{wr} [GD]	X _a [GD]	f ₀ [%]	b [%]	b' [%]	f _c [%]	e [%]	v [%]
5,0	-0,5100	-0,5100	-0,5101	--	0,000	0,000	-0,017	-0,196	0,000
10,0	-1,0200	-1,0200	-1,0200	--	0,000	0,000	0,002	-0,098	0,000
20,0	-2,0390	-2,0390	-2,0392	--	0,000	0,000	-0,011	-0,049	0,000
30,0	-3,0580	-3,0580	-3,0578	--	0,000	0,000	0,008	-0,033	0,000
40,0	-4,0757	-4,0760	-4,0757	--	-0,025	0,000	-0,001	-0,025	0,000
50,0	-5,0930	-5,0930	-5,0931	--	0,000	0,000	-0,001	-0,020	0,000
60,0	-6,1100	-6,1100	-6,1099	--	0,000	0,000	0,001	-0,016	0,000
70,0	-7,1283	-7,1270	-7,1263	--	-0,014	0,000	0,000	-0,014	0,000
80,0	-8,1423	-8,1430	-8,1424	--	-0,012	0,000	-0,001	-0,012	0,000
100,0	-10,1737	-10,1740	-10,1736	--	-0,010	0,000	0,000	-0,010	--
0,0	--	--	--	0,010	--	--	--	--	--

GD: Cihazın Gösterge Değeri "--" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Enterpolasyon Tabloları

ÇEKME YÖNÜ

Standart Kuvvet Değerlerine Karşılık Gelen Cihazın Hesaplanmış Gösterge Değerleri [kN-GD]

F	X _a	F	X _a	F	X _a	F	X _a
[kN]	[GD] ^(yg)	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]
5,00	-0,510	29,00	-2,956	53,00	-5,398	77,00	-7,838
6,00	-0,612	30,00	-3,058	54,00	-5,500	78,00	-7,939
7,00	-0,714	31,00	-3,160	55,00	-5,602	79,00	-8,041
8,00	-0,816	32,00	-3,261	56,00	-5,703	80,00	-8,142
9,00	-0,918	33,00	-3,363	57,00	-5,805	81,00	-8,244
10,00	-1,020	34,00	-3,465	58,00	-5,907	82,00	-8,346
11,00	-1,122	35,00	-3,567	59,00	-6,008	83,00	-8,447
12,00	-1,224	36,00	-3,669	60,00	-6,110	84,00	-8,549
13,00	-1,326	37,00	-3,770	61,00	-6,212	85,00	-8,650
14,00	-1,428	38,00	-3,872	62,00	-6,313	86,00	-8,752
15,00	-1,530	39,00	-3,974	63,00	-6,415	87,00	-8,853
16,00	-1,632	40,00	-4,076	64,00	-6,517	88,00	-8,955
17,00	-1,734	41,00	-4,177	65,00	-6,618	89,00	-9,057
18,00	-1,835	42,00	-4,279	66,00	-6,720	90,00	-9,158
19,00	-1,937	43,00	-4,381	67,00	-6,821	91,00	-9,260
20,00	-2,039	44,00	-4,483	68,00	-6,923	92,00	-9,361
21,00	-2,141	45,00	-4,584	69,00	-7,025	93,00	-9,463
22,00	-2,243	46,00	-4,686	70,00	-7,126	94,00	-9,564
23,00	-2,345	47,00	-4,788	71,00	-7,228	95,00	-9,666
24,00	-2,447	48,00	-4,890	72,00	-7,330	96,00	-9,767
25,00	-2,549	49,00	-4,991	73,00	-7,431	97,00	-9,869
26,00	-2,650	50,00	-5,093	74,00	-7,533	98,00	-9,971
27,00	-2,752	51,00	-5,195	75,00	-7,634	99,00	-10,072
28,00	-2,854	52,00	-5,296	76,00	-7,736	100,00	-10,174

Yukardaki tablo "En Küçük Kareler Yöntemi" kullanılarak elde edilen "Eşitlik 1" yardımıyla oluşturulmuştur. Bu tablo, standart kuvvet değerlerine karşılık gelen hesapla bulunmuş gösterge değerlerini gösterir. İstenildiği takdirde cihaz gösterge değerleri kullanıcı tarafından da hesaplanabilir. Bunun için herhangi bir standart kuvvet değeri ve aşağıda verilen a₁, b₁, c₁ katsayıları kullanılıp bu eşitlikte yerine konularak hesaplanabilir.

Eşitlik 1

$$X_a[\text{GD}] = a_1 \cdot F[\text{kN}] + b_1 \cdot F^2[\text{kN}] + c_1 \cdot F^3[\text{kN}]$$

$$a_1 = -1,02037531\text{E-}01$$

$$b_1 = 4,04781584\text{E-}06$$

$$c_1 = -1,03651601\text{E-}08$$

GD: Cihazın Gösterge Değeri "-." dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçerlidir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

ÇEKME YÖNÜ

Cihazın Gösterge Değerlerine Karşılık Gelen Hesaplanmış Gerçek Kuvvet Değerleri [kN-GD]

X	F _a	X	F _a	X	F _a	X	F _a
[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]	[GD]	[kN]
-0,500	4,901	-3,000	29,433	-5,500	54,001	-8,000	78,598
-0,600	5,882	-3,100	30,415	-5,600	54,985	-8,100	79,583
-0,700	6,862	-3,200	31,397	-5,700	55,968	-8,200	80,567
-0,800	7,843	-3,300	32,379	-5,800	56,952	-8,300	81,551
-0,900	8,823	-3,400	33,361	-5,900	57,935	-8,400	82,536
-1,000	9,804	-3,500	34,344	-6,000	58,919	-8,500	83,520
-1,100	10,785	-3,600	35,326	-6,100	59,902	-8,600	84,505
-1,200	11,766	-3,700	36,309	-6,200	60,886	-8,700	85,489
-1,300	12,747	-3,800	37,291	-6,300	61,870	-8,800	86,474
-1,400	13,728	-3,900	38,274	-6,400	62,854	-8,900	87,458
-1,500	14,709	-4,000	39,256	-6,500	63,837	-9,000	88,443
-1,600	15,690	-4,100	40,239	-6,600	64,821	-9,100	89,427
-1,700	16,671	-4,200	41,222	-6,700	65,805	-9,200	90,412
-1,800	17,652	-4,300	42,204	-6,800	66,789	-9,300	91,397
-1,900	18,634	-4,400	43,187	-6,900	67,773	-9,400	92,381
-2,000	19,615	-4,500	44,170	-7,000	68,757	-9,500	93,366
-2,100	20,597	-4,600	45,153	-7,100	69,741	-9,600	94,351
-2,200	21,578	-4,700	46,136	-7,200	70,725	-9,700	95,336
-2,300	22,560	-4,800	47,119	-7,300	71,709	-9,800	96,320
-2,400	23,541	-4,900	48,102	-7,400	72,693	-9,900	97,305
-2,500	24,523	-5,000	49,085	-7,500	73,677	-10,000	98,290
-2,600	25,505	-5,100	50,068	-7,600	74,661	-10,100	99,275
-2,700	26,487	-5,200	51,052	-7,700	75,645	-10,200	100,260
-2,800	27,469	-5,300	52,035	-7,800	76,630		

Yukardaki tablo "En Küçük Kareler Yöntemi" kullanılarak elde edilen "Eşitlik 2" yardımıyla oluşturulmuştur. Bu tablo, kuvvet ölçme cihazının gösterge değerlerine karşılık gelen hesapla bulunmuş gerçek kuvvet değerlerini gösterir. İstenildiği takdirde gerçek kuvvet değerleri kullanıcı tarafından da hesaplanabilir. Bunun için herhangi bir standart kuvvet değeri ve aşağıda verilen a₂, b₂, c₂ katsayıları kullanılıp bu eşitlikte yerine konularak hesaplanabilir.

Eşitlik 2

$$F_a[\text{kN}] = a_2 \cdot X[\text{GD}] + b_2 \cdot X^2[\text{GD}] - c_2 \cdot X^3[\text{GD}]$$

$$a_2 = -9,8002908E+00$$

$$b_2 = 3,8255409E-03$$

$$c_2 = 9,5517540E-05$$

GD: Cihazın Gösterge Değeri "-" dir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signatures and stamps are not valid.

Sayfa 12 / 13 Page	TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ NATIONAL METROLOGY INSTITUTE	TÜBİTAK
		UME G2KV-0142
		06-08

Ölçüm Belirsizliği

Measurement Uncertainty

Basma Yönü İçin

Cihazın belirsizliği; % 0,055 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 20 kN - 100 kN aralığındaki kuvvet değerlerinde geçerlidir.

EN ISO 376' ya Göre Kuvvet Ölçme Cihazının Ölçüm Belirsizlikleri ve Sınıflandırılması

Ölçüm Aralığı	Belirsizlik	Sınıf
5 kN - 100 kN	% 0,221	Sınıf Dışı
10 kN - 100 kN	% 0,1	1
20 kN - 100 kN	% 0,055	0,5
30 kN - 100 kN	% 0,032	00
40 kN - 100 kN	% 0,028	00

Çekme Yönü İçin

Cihazın belirsizliği; % 0,033 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 20 kN - 100 kN aralığındaki kuvvet değerlerinde geçerlidir.

EN ISO 376' ya Göre Kuvvet Ölçme Cihazının Ölçüm Belirsizlikleri ve Sınıflandırılması

Ölçüm Aralığı	Belirsizlik	Sınıf
5 kN - 100 kN	% 0,115	00
10 kN - 100 kN	% 0,059	00
20 kN - 100 kN	% 0,033	00
30 kN - 100 kN	% 0,025	00
40 kN - 100 kN	% 0,022	00

Beyan edilen genişletilmiş belirsizlik değeri, standart belirsizliğin normal dağılım için yaklaşık % 95 güvenlilik seviyesini sağlayan k=2 kapsam faktörü ile çarpımının sonucudur. Standart ölçüm belirsizliği GUM ve EA-4/02 dokümanlarına uygun olarak belirlenmiştir.

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signatures and seals are not valid.

TÜBİTAK Bесе: Yeriştesesi PK 54 41410 Nispetiye / ÜBÜK/ME T: +90 312 679 53 00 F: +90 312 679 53 01 www.ume.tubitak.gov.tr



Sayfa 13 / 13 Page	TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ NATIONAL METROLOGY INSTITUTE	TÜBİTAK
		UME G2KV-0142
		06-05

Görüşler, Açıklamalar ve Uygunluk Beyanı

Comments, Remarks and Statement of Compliance

Bu kuvvet ölçme cihazının, EN ISO 376 normuna uygun olarak gerçekleştirilen kalibrasyonu neticesinde elde edilen ölçüm sonuçlarına göre, Çekme Yönünde Sınıf '00' ; Basma Yönünde Sınıf '0,5' dir

Kalibrasyon sonuçları sadece kalibrasyonu yapılan Kuvvet Ölçme Cihazına aittir. Cihazın performansı için gerekli çevre şartlarında kullanımından ve uygun aralıklarla kalibre edilmesinin sağlanmasından kullanıcı sorumludur.

Kalibrasyonu Yapan(lar) <i>Performed By</i>		Laboratuvar Sorumlusu <i>Head of the Laboratory</i>	
İsim	İmza	İsim	İmza
Cemal VATAN		Dr. Sinan FANK	

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

TÜBİTAK Ege- Yereğlisi PK 54 41470 Kocaeli / TÜRKİYE T 90 262 676 90 00 F+90 262 676 90 01 www.ume.tubitak.gov.tr

EK 2. Makinanın yük hücresine ait katalog bilgileri



U2A...

Load cells

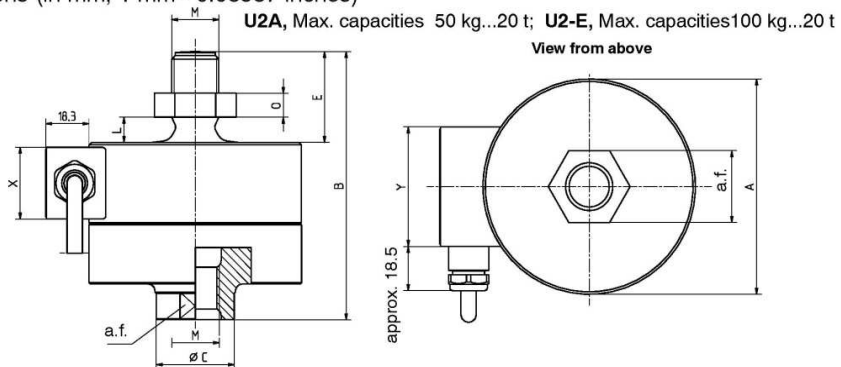
Data Sheet



Special features

- Load cells made of corrosion-resistant materials
- Max. capacities: 50 kg ... 20 t
- Suitable for scales according to OIML R60 up to 1000 d
- Six wire circuit
- Low profile
- For tensile loads
- Meets EMC requirements according to EN 45 501
- Explosion proof version acc. to ATEX 95 optional

Dimensions (in mm; 1 mm = 0.03937 inches)



Max. cap. [t]	A _{0,2}	B	C	E	K	L _{min}	M	O	a.f.	X	Y
0.05...1	50	72	21	24	22	5 ¹⁾	M12	6	19	20	35
2	90	112	33	38	25	10.6	M20x1.5	10	30	30	50
5	100	141	40	47	25	13.2	M24x2	12	36	30	50
10	135	197	68	67	26	19	M39x2	19	60	30	50
20	155	232	82	85	26.5	24.2	M48x2	22	70	30	50

¹⁾ with U2A/1 t: 7.4 mm

B1000-30 en



Specifications

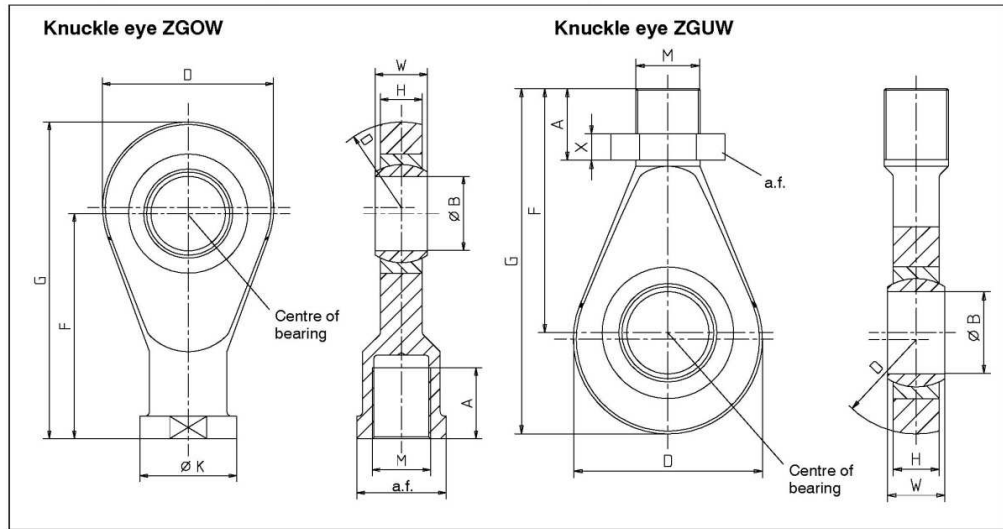
Type		U2A		
Accuracy class		0.2	0.1	D1
Max. numbers of load cell verific. interv. (n_{LC})		–	–	1000
Max. capacity (E_{max})	kg t	50 –	100, 200, 500 10, 20	500 1, 2, 5
Minimum load cell verification interval (v_{min})		–	–	0.0286
Sensitivity (C_n)	mV/V	2		
Tolerance on sensitivity				
with tensile loads	%	<±0.20		<±0.20
with compressive loads	%	<±1.50	<±0.50	<±0.50
Temperature effect on sensitivity (TK_C)				
in nominal temperature range	%/10 K	<±0.05		<±0.05
in service temperature range	%/10 K	<±0.10		<±0.10
Temperature effect on zero balance (TK_0)				
in nominal temperature range	%/10 K	<±0.05		<±0.04
in service temperature range	%/10 K	<±0.10		<±0.10
Hysteresis error (d_{hy})	%	<±0.15		<±0.05
Non-linearity (d_{lin})	%	<±0.20	<±0.10	<±0.05
Creep (d_{cr}) over 30 min.	%	<±0.06		<±0.05
Input resistance (R_{LC})	Ω	340...450		
Output resistance (R_0)	Ω	356±0.2		
Reference excitation voltage (U_{ref})	V	5		
Nominal range of excitation voltage (B_U)	V	0.5...10		0.5...12
Insulation resistance (R_{iso})	GΩ	>5		
Nominal temperature range (B_T)	°C [°F]	-10...+40 [14...104]		
Service temperature range (B_{tw})	°C [°F]	-30...+85 (-30...+120) ¹⁾ [-22...185] [-22...248]		
Storage temperature range (B_{st})	°C [°F]	-50...+85[-58...185]		
Safe load limit (E_L)	% from max. capac.	130		150
Breaking load (E_d)	% from max. capac.	300		
Lateral load limit (E_{lq})	% from max. capac.	25		
Permissible dynamic load (F_{sref}) (peak to peak according to DIN 50100)	% from max. capac.	100		160
Protection class (IP) to EN 60 529 (IEC 529)		IP67 (increased test conditions: 1 mW s; 100 h)		
Material: Measuring body		Stainless steel		
Cable gland		Nickel plated brass, Silicone		
Cable sheath		Thermoplast. elasomere		

¹⁾ Optionally available with extended service temperature range.

Mechanical values

Max. capacity [t]	Deflection at max. capacity (s_{nom}), approx. [mm]	Weight (G), approx. [kg]	Cable length [m]
0.05	< 0.1	0.8	3
0.1	< 0.1	0.8	3
0.2	< 0.1	0.8	3
0.5	< 0.1	0.8	3
1	< 0.1	0.8	3
2	< 0.07	2.9	6
5	< 0.07	4.3	6
10	< 0.09	10.7	12
20	< 0.09	15.9	12

Mounting accessories (in mm; 1 mm = 0.03937 inches)

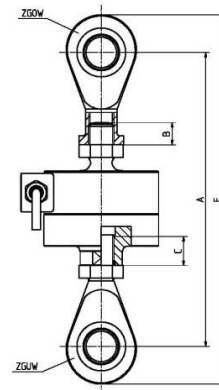


Max. cap. [t]	Knuckle eye ZGOW	Weight [kg]	A	ØB	D	F	G	H	ØK	M	a.f.	W
0,05...1	U2A/1T/ZGOW	0,2	22	12 ^{H7}	32	50	66	12	22	M12	19	16
2	U2A/2T/ZGOW	0,5	33	20 ^{H7}	50	77	102	18	34	M20x1,5	32	25
5	U2A/5T/ZGOW	0,8	42	25 ^{H7}	60	94	124	22	42	M24x2	36	31
10	U2A/10T/ZGOW	3,2	50	50 ^{+0,002 -0,014}	115	151	212,5	28	65	M39x2	60	35
20	U2A/20T/ZGOW	4,8	60	60 ^{+0,003 -0,018}	126	167	235	36	82	M48x2	70	44

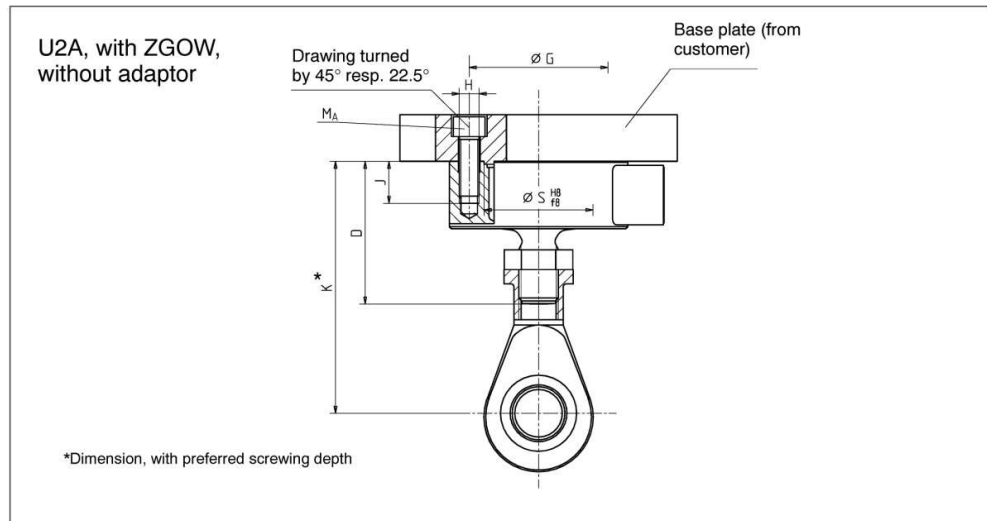
Max. cap. [t]	Knuckle eye ZGUW	Weight [kg]	A	ØB	D	F	G	H	M	a.f.	W	X
0,05...1	U2A/1T/ZGUW	0,1	33	12 ^{H7}	32	54	70	12	M12	19	16	7
2	U2A/2T/ZGUW	0,2	47	20 ^{H7}	50	78	103	18	M20x1,5	32	25	9
5	U2A/5T/ZGUW	0,4	57	25 ^{H7}	60	94	124	22	M24x2	36	31	10
10	U2A/10T/ZGUW	1,1	65,5	50 ^{+0,002 -0,014}	115	148,5	210	28	M39x2	60	35	16
20	U2A/20T/ZGUW	3,2	80	60 ^{+0,003 -0,018}	126	168	236	36	M48x2	70	44	18

Load cell U2A with monted knuckle eyes ZGOW, ZGUW

Max. capacity [t]	A _{min}	A _{max}	F _{min}	F _{max}	Min. depth for screwing	
					B	C
0,05...0,5	139	156	171	188	9,6	9,6
1	141	156	173	188	9,6	9,6
2	212	234	262	284	16	16
5	260	288	320	348	19,2	19,2
10	418	436	541	559	27	31,2
20	466	489	602	625	36,6	38,4

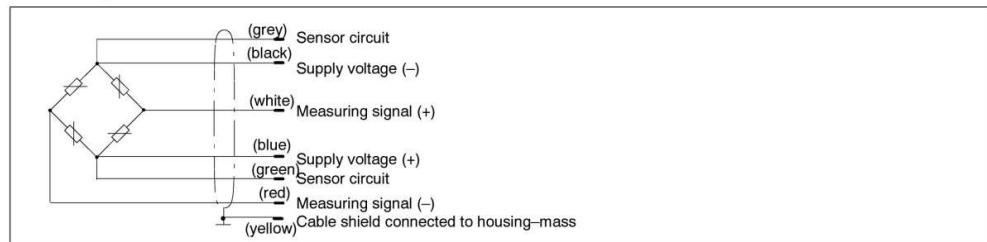


Mounting accessories, continued (in mm; 1 mm = 0.03937 inches)



Max. capacity [t]	D	ØG	H	J	K	ØS	MA [N·m]
0,05...0,5	47	42	4xM5	13	84...86,4	34	5
1	47	42	4xM5	13	86,4	34	5
2	72	70	4xM10	20,5	131,6	55	35
5	86	78	4xM12	19	158,2	61	60
10	122	105	8xM12	16	244	79	60
20	142	125	8xM16	26	270,2	97	150

Pin assignment



Options

Explosion-proof versions according to ATEX 95: II 2 G EEx ia IIC T4 resp. T6 (Zone 1)
II 3 G EEx nA II T6 (Zone 2)
II 3 D IP68 (Zone 22 for non-conductive dust)

Service temperature range extended to 120°C [248°F]

Modifications reserved.
All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

B1000-30 en

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt, Germany
Tel.: +49 6151 8030; Fax: +49 6151 803 9100
E-mail: support@hbm.com www.hbm.com



measurement with confidence