

# YENİ TASARIM HİDROLİK TİP KUVVET KALİBRASYON MAKİNASI

Uğur USLUKILIÇ  
Bülent AYDEMİR

## ÖZET

KALMET kalibrasyon laboratuvarında, çekme ve basma yönlerinde kalibrasyon yapabilen 2 MN kapasiteli yeni hidrolik tip kuvvet kalibrasyon makinası kurulmuştur. Bu makina TÜBİTAK UME danışmanlığı ile KALMET firması tarafından tasarlanmıştır. Tüm mekanik imalat ve geliştirme yazılımı tamamlanmış ve performans ölçümleri yapılmıştır. Cihazın performans olarak, 2E-4'ten daha iyi tekrarlanabilirlik hatasına sahip olduğu ölçümler ile belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrolik makina, kuvvet kalibrasyon makinası, performans testi, 2 MN kapasitesi

## ABSTRACT

A new hydraulic type force standard machine with a 2 MN capacity in tension and compression modes is established in KALMET calibration laboratory. This machine is designed by KALMET Company with TÜBİTAK UME consultancy. All mechanical manufacturing and development software is made by the company. The performance measurement results of the device are satisfied relative repeatability error better than 2E-4.

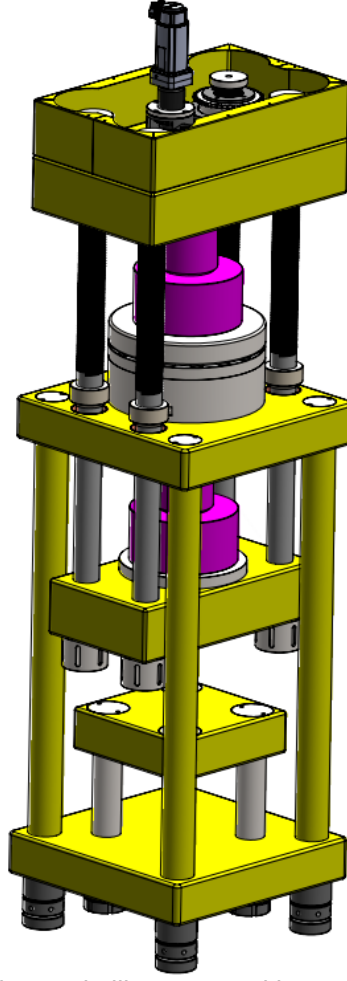
**Key Words:** Hydraulic machine, force calibration machine, performance test, 2 MN capacity

## 1. GİRİŞ

Bir kuvvet ölçüm sistemi, kuvvet değişimini algılayan sensör elemanı (kuvvet dönüştürücü), gösterge elemanı ve bağlantı parçalarından oluşur. Genel olarak çalışma yapısı, kuvvet dönüştürücünün uygulanan kuvvet tarafından sıkıştırılması ile dönüştürücünün metal gövdesindeki değişimin sensör tarafından algılanarak gösterge elemanından belirli bir değer olarak okunması biçimindedir.

Kuvvet ölçümleri, farklı prensipler (dirençli uzama ölçerli, piezo elektrik, kapasitif, indüktif, optik, hidrolik vs.) ile çalışan ve kuvvetin oluşturduğu etkiyi farklı bir fiziksel büyüklüğe dönüştürebilen kuvvet dönüştürücü adı verilen cihazlar ile gerçekleştirilir.

Kuvvet ölçme cihazların ne kadar doğruluk veya belirsizlik ile ölçüm yaptıkları ise uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda belirlenir. Kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonu ISO 376 ve ASTM E74 standartlarında tarif edilen yöntemlere göre gerçekleştirilir. Kalibrasyon işlemi yapabilmek için kuvvet kalibrasyon makinalarının kullanılması gereklidir. Farklı prensiplere sahip pek çok tip kuvvet kalibrasyon makinası mevcuttur. En düşük belirsizliğe sahip kuvvet kalibrasyon makinaları ölü ağırlıklı makinalardır. Kalibrasyon kapasitesinin artması yani büyük kuvvetlerde kuvvet kalibrasyonuna ihtiyaç duyulduğunda gerek maliyet gerekse cihaz boyutunun büyümesi nedeniyle ölü ağırlıklı makinalar yerine hidrolik prensipli makinalar tercih edilir.



**Şekil 1.** 2 MN kuvvet kalibrasyon makinasının şematik resmi

Daha küçük boyutlarda ve 2 MN kapasiteye kadar kalibrasyon kabiliyeti olan bir kuvvet kalibrasyon makinası yapılması fikri ile bir proje oluşturulmuştur. Bu makina TÜBİTAK UME danışmanlığı ile KALMET firması tarafından tasarlanmıştır. 2 MN kapasiteli makine şekil 1 de gösterildiği şekilde 4 kolonlu ana gövde üzerinde ayarlanabilir yükleme tablası, hidrolik piston ve bir adet referans kuvvet ölçme cihazından oluşturulmuştur. Makine istenen kuvvet değerlerini basamaklı ve sürekli yükleme şeklinde uygulamayı sağlayan bir yazılımlı kontrol sistemine de sahiptir. Tüm mekanik tasarım ve imalata ilave olarak yazılımın geliştirilmesi KALMET firması bünyesinde yapılmıştır.

Bu çalışmada 2 MN kapasiteli hidrolik tip kuvvet kalibrasyon makinasının tasarım ve performans ölçümü sonuçları verilmiştir.

## 2. HİDROLİK TİP KUVVET KALİBRASYON MAKİNASI

Kuvvet kalibrasyon makinası (FCM), mekanik gövde, servo-hidrolik kuvvet oluşturma sistemi ve kontrol ünitesinden oluşur. Makina gövdesi dört sütun prensibine göre tasarlanmıştır. Kalibre edilecek kuvvet ölçme cihazının yerleştirileceği yükleme tablası kuvvet üreten hidrolik silindir ile referans kuvvet dönüştürücü ile doğrudan temas halindedir. Referans kuvvet dönüştürücünün sinyali kontrol sistemi tarafından sürekli olarak alınarak sistemin kuvvet değerlerinin ayarlanmasında kullanılır. Bu referans cihaz hassas olarak merkezlenmiş şekilde kuvvet üreten silindirin üzerine yerleştirilmiştir.

Makina, bir servo hidrolik sistem tarafından tahrik edilen bir piston-silindir sistemini kullanarak kuvvet oluşturur. Bu sistemin hidrolik pompa sistemine göre avantajı hidrolik pompa sisteminin neden olduğu gürültüyü, titreşimi ve bakım maliyetini azaltmasıdır. Servo hidrolik sistemin kullanılması ile hassas olarak silindir içindeki basınç ayarlanabilmekte ve basınç dalgalanmaları azaltılmıştır. Bu sayede sistemin hassas olarak kuvvet değerini sağlayabilmesi ve ölçüm belirsizliğinin düşük olması sağlanmıştır.

2 MN hidrolik kuvveti kalibrasyon makinesinin genel teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

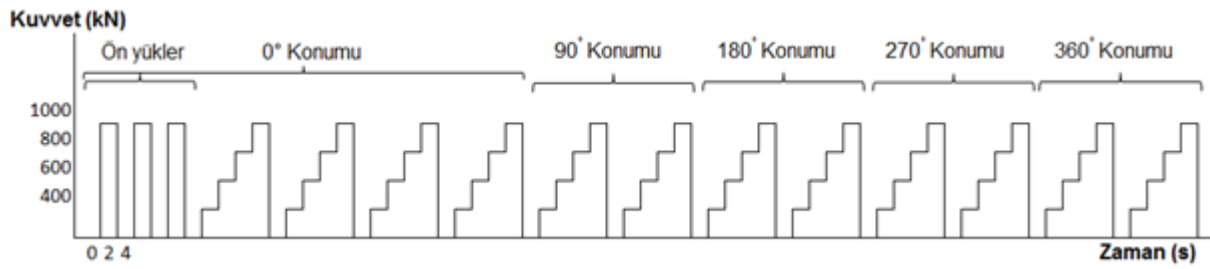
**Tablo 1.** Hidrolik Kuvveti Kalibrasyon Makinesinin Teknik Özellikleri

Kuvvet makina tipi:	Referans kuvvet dönüştürücülü Hidrolik kuvvet kalibrasyon makinası
Maksimum kapasitesi:	2 MN
Çalışma Aralığı :	50 kN - 2000 kN arasında seçilebilir kuvvet
Makine gövde tipi:	4 kolonlu
Kontrol sistemi:	PC ve manuel kontrollü

Makinenin kontrol sistemi tamamen bilgisayar kontrollü olup, ana piston silindir sistemi korumak için sürekli geri bildirim sinyali almaktadır. Makina hem otomatik hem de manuel kalibrasyon yapabilmeye kabiliyetine sahiptir. Otomatik kalibrasyon seçeneğinde, yazılım tarafından tanımlanan uluslararası standartlara uygun prosedürlere göre kalibrasyonlar yapılabilir ve veriler kaydedilebilir. Uluslararası kuvvet kalibrasyonları olan ISO 376, ASTM E74, Dakks R 3 3 dokümanlarına ve bunların dilinde kullanıcı tarafından tanımlanan prosedüre göre ölçümler gerçekleştirilebilir. Manuel seçeneğinde, kullanıcı tarafından girilebilen bir ekrandan kuvvet değeri seçilir, uygulanır ve veriler manuel işlem fonksiyonları ile kaydedilebilir.

### 3. PERFORMANS TESTLERİ

Performans ölçümü, "EURAMET-CG-04.01 Uncertainty of Force Measurements" dokümanı esas alınarak hazırlanan ölçüm protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kapasiteye uygun olarak belirlenen kuvvet dönüştürücü, öncelikle TÜBİTAK UME de protokole uygun olarak ölçülmüş, daha sonra KALMET firmasında aynı prosedür ile ölçümler alınmıştır. Son olarak TÜBİTAK UME'de tekrar son ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler transfer standardı olarak kullanılan kuvvet dönüştürücünün cihaz tablası üzerinde 0°, 90°, 180°, 270° ve 360° açılarda konumlandırılması sonrası belirli kuvvet adımları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme şekli grafiği şekil 2 de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek kuvvet kalibrasyon makinesinin ölçüm belirsizliği belirlenmiştir. Belirsizlik hesaplanmasında "EURAMET-CG-04.01 Uncertainty of Force Measurements" dokümanı esas alınmıştır. Performans testi ölçümlerinde 1000 kN kapasiteye sahip transfer kuvvet dönüştürücü kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları tablo 2, 3 ve 4 te verilmiştir.



**Şekil 2.** Yükleme şekli grafiği

**Tablo 2.** TÜBİTAK UME'de yapılan ilk ölçüm sonuçları

Kuvvet	0° konum	90° konum	180° konum	270° konum	360° konum	Ortalama Değer	Tekrarlanabilirlik
kN	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	-
0,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-
400	0,800065	0,800127	0,800179	0,800180	0,800057	0,800122	1,54E-04
600	1,200271	1,200393	1,200499	1,200473	1,200319	1,200391	1,90E-04
800	1,600289	1,600633	1,600646	1,600530	1,600477	1,600515	2,23E-04
1000	2,000301	2,000685	2,000665	2,000619	2,000448	2,000544	1,92E-04

**Tablo 3.** KAL-MET'de yapılan ölçüm sonuçları

Kuvvet	0° konum	90° konum	180° konum	270° konum	360° konum	Ortalama Değer	Tekrarlanabilirlik
kN	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	-
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-
400	0,800103	0,800145	0,800191	0,800047	0,800106	0,800118	1,80E-04
600	1,200261	1,200404	1,200268	1,200255	1,200283	1,200294	1,24E-04
800	1,600431	1,600584	1,600447	1,600464	1,600485	1,600482	9,56E-05
1000	2,000547	2,000772	2,000517	2,000580	2,000644	2,000612	1,27E-04

**Tablo 4.** TÜBİTAK UME'de yapılan son ölçüm sonuçları

Kuvvet	0° konum	90° konum	180° konum	270° konum	360° konum	Ortalama Değer	Tekrarlanabilirlik
kN	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	-
0,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-
400	0,800108	0,800188	0,800252	0,800223	0,800240	0,800202	1,80E-04
600	1,200232	1,200410	1,200402	1,200379	1,200414	1,200367	1,52E-04
800	1,600360	1,600440	1,600472	1,600536	1,600635	1,600488	1,72E-04
1000	2,000605	2,000665	2,000843	2,000758	2,000756	2,000725	1,19E-04

Karşılaştırma sonucu,  $E_n$  değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir.  $E_n$  değeri ise eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_n = \frac{X_{LAB} - X_{REF}}{\sqrt{U_{LAB}^2 + U_{REF}^2}} \quad (1)$$

$X_{lab}$  = Laboratuvarın ölçüm değeri

$X_{ref}$  = Referans laboratuvarın ölçüm değeri

$U_{lab}$  = Laboratuvarın ölçüm belirsizliği

$U_{ref}$  = Referans laboratuvarın ölçüm belirsizliği,

$$\begin{cases} |E_n| \leq 1 = \text{başarılı} \\ |E_n| > 1 = \text{başarısız} \end{cases}$$

Başarılı bir karşılaştırma sonucu için, ISO/IEC 17043 [4] dokümanında belirtilen  $|E_n| \leq 1$  şartının sağlanması gereklidir. Laboratuvarların ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan  $E_n$  sayıları Tablo 5' te verilmiştir.

## SONUÇLAR

Yeni tasarım hidrolik tip kuvvet kalibrasyon makinası, çekme ve basma yönlerinde kalibrasyon yapabilen 2 MN kapasiteli bu cihazın performans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu makina TÜBİTAK UME danışmanlığı ile KALMET firması tarafından tasarlanmıştır. Cihazın performans ölçümleri sonucunda KALMET te yapılan ölçümler sonucunda olarak, 2E-4'ten daha iyi tekrarlanabilirlik hatasına sahip olduğu ölçümler ile belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre belirsizlik hesaplanmasında "EURAMET-CG-04.01 Uncertainty of Force Measurements" dokümanı göre yapılmış ve cihazın belirsizliği. % 0,026 olarak belirlenmiştir.

Bu karşılaştırmanın En sayısının değerlendirilmesi sonucunda, laboratuvarın karşılaştırma ölçümlerinin "başarılı" olduğu belirlenmiştir. Laboratuvarların ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan En sayıları Tablo 5' te verilmiştir.

**Tablo 5.** Ölçümler sonucunda hesaplanan En değerleri ve Belirsizlik değeri

Kuvvet Değeri	En	Kalibrasyon Makinası Belirsizlik Değeri, k=2 için, $W_{CMC}$
kN	-	%
400	0,19	0,026
600	0,27	
800	0,06	
1000	0,05	

## KAYNAKLAR

- [1] Aydemir, B., Dizdar, H., Vatan, C., (2017), "Genel Kuvvet Metrolojisi Eğitim Dokümanı", G2KV-010, TÜBİTAK UME, Gebze-Kocaeli, Aralık 2017.
- [2] Aydemir, B., Dizdar, H., Vatan, C., "Tek Eksenli Statik Malzeme Test Makinalarının Kuvvet Kalibrasyonu Eğitim Dokümanı", TÜBİTAK UME Gebze-Kocaeli, Mayıs 2018
- [3] ISO 376:2011, Metallic Materials-Calibration of Force-proving Instruments Used for the Static Verification of Uniaxial Testing Machines.
- [4] EURAMET CG-04, Uncertainty of Force Measurements Version 2.0, 2011.
- [5] Dizdar, H., Aydemir, B., Vatan, C., 2015, EURAMET CG-04, Kalibrasyon Rehberi, "Kuvvet Ölçümlerinde Belirsizlik" TÜBİTAK UME, Şubat 2015
- [6] ASTM E74, Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines, 2013
- [7] TSE EN ISO/IEC 17043:2013, Uygunluk Değerlendirmesi – Yeterlilik Deneyi İçin Genel Şartlar

## ÖZGEÇMİŞ

### Uğur USLUKILIÇ

1969 yılı Yozgat doğumludur. 1994 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2006 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Bölümünü bitirmiştir. 1995-2003 yılları arasında Türk Standartları Enstitüsü Bursa Bölge Müdürlüğü'nde Kalite Yönetim Sistemleri konusunda denetçilik ve eğitimcilik yapmıştır. 2003 yılından itibaren Kal-Met Kalibrasyon Tic. Ltd. Şti. Firmasının şirket Müdürlüğünü yürütmektedir. 2013 yılının

Eylül ayından itibaren Kalibrasyon ve Test makinalarının tasarım ve üretimi üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır, şu ana kadar Ölü ağırlıklı Yük Hücresi Transfer standardı, Hidrolik Kuvvet kalibrasyon makinası, Malzeme Test Makinası, Ölü ağırlıklı Tork kalibrasyon Standardı, Elektromekanik Tork Sensörü Kalibrasyon Makinası projelerine liderlik yapmış, bu makinaların hem Türkiye’de satışını hem de yurt dışına ihracatını gerçekleştirmiştir.

### **Bülent AYDEMİR**

1994 Makina mühendisliği bölümünü, 1996 yılında makina mühendisliği imalat konstrüksiyon alanında yüksek lisansını ve 2003 yılında da makina mühendisliği alanında doktora derecesini almıştır. İlgili alanda 2016 yılında Doçent unvanına sahip olmuştur. 2000 yılından beri TÜBİTAK UME kuvvet laboratuvarında çalışmakta olup şu an Laboratuvar sorumlusu olarak görev yapmaktadır.