

YENİ TASARIM ELEKTROMEKANİK TORK EL ALETLERİ KALİBRASYON SİSTEMİ

Uğur USLUKILIÇ
Bülent AYDEMİR

ÖZET

KAL-MET kalibrasyon Tic. Ltd. Şti tarafından UVE Markası ile, saat yönü (CW) ve saat yönü tersinde (CCW) yönlerinde kalibrasyon yapabilen 1000 N·m kapasiteli Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sistemin kontrol yazılımı yine KAL-MET bünyesinde geliştirilmiştir. Tüm mekanik imalat ve geliştirme yazılımı tamamlanmış ve performans ölçümleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi, Tork el aleti, UVE, Elektromekanik Tork Kalibrasyonu

ABSTRACT

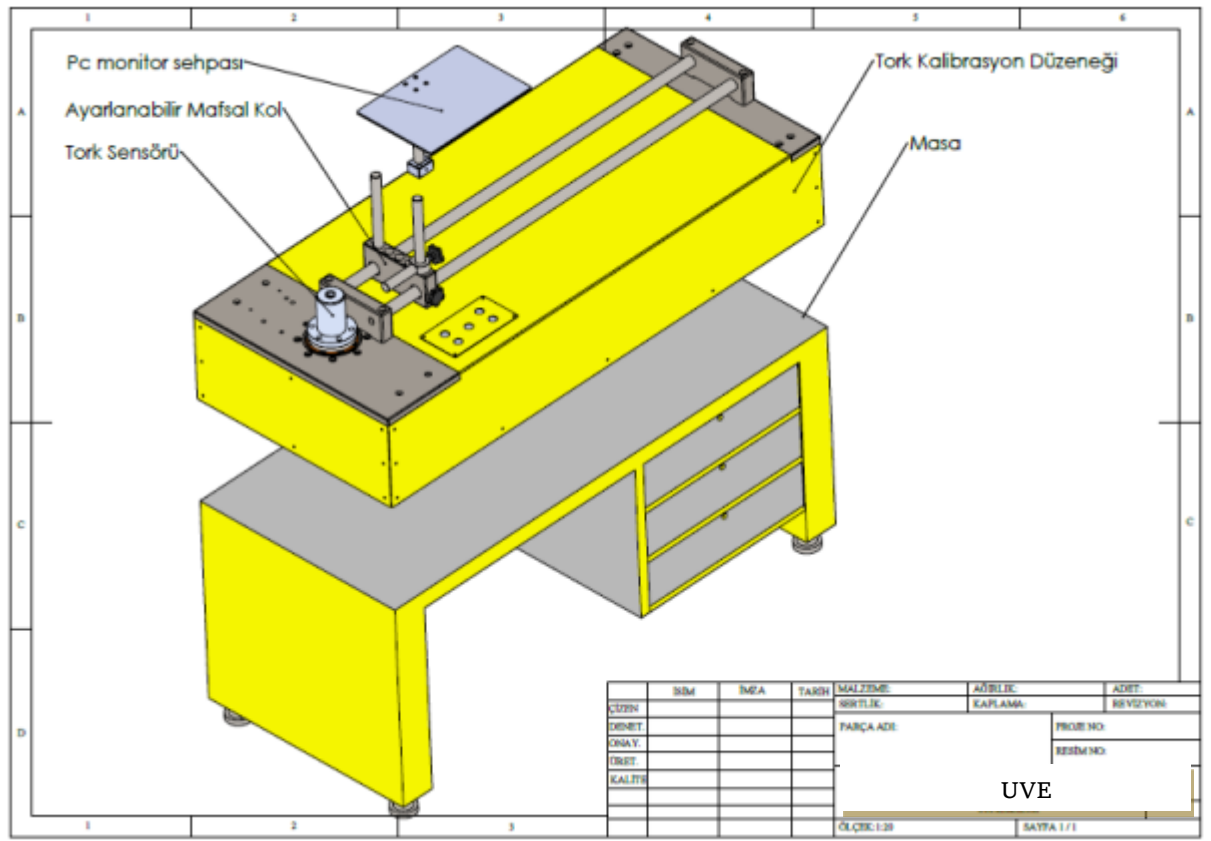
KAL-MET calibration Tic. Ltd. Ltd. Şti. with UVE Brand has designed and manufactured a new 1000 N·m capacity Electromechanical Torque Hand Tools Calibration System which can calibrate clockwise (CW) and counterclockwise (CCW) directions. The control software of this system has also been developed within KAL-MET. All mechanical manufacturing and development software has been completed and performance measurements have been made.

Key Words: Torque Hand Tools Calibration System, Torque Hand Tool, UVE, Electromechanical Torque Calibration

1. GİRİŞ

Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi, tork değişimini algılayan referans tork dönüştürücü ve bu dönüştürücüden elde edilen sinyallerin okunduğu gösterge cihazı, otomatik ölçümlerin yapılabilmesi için prosedürlerin oluşturulduğu ve verilerin toplandığı otomasyon yazılımı ile bilgisayar ve de kalibre edilecek tork el aletinin bağlanabileceği bağlantı noktalarından oluşur. Genel olarak, çalışma prensibi, tork el aletine uygulanan tork kuvvetinin referans tork dönüştürücü gövdesindeki değişimin dirençli uzama ölçer (strain gauge) tarafından algılanarak gösterge elemanından okunması biçimindedir. Daha açık bir şekilde referans tork dönüştürücü değeri ile tork el aleti üzerindeki değerlerin kıyaslanması şeklinde kalibrasyon gerçekleştirilir.

Tork El Aletlerinin kalibrasyonu ISO 6789-1 ve ISO 6789-2 standartlarında tarif edilen yöntemlere göre gerçekleştirilir. Müşteri isteğine bağlı olarak başka standartlar veya şartnamelerde kullanılabilir. Tork el aletlerinin kalibrasyonu yapabilmek için bir referans kalibrasyon sisteme sahip olmak gereklidir. Aynı prensiplere sahip ama farklı şekillerde tasarlanmış bir çok tip tork el aleti kalibrasyon sistemi mevcuttur. Otomatik tork uygulayan, sabit dönüş hızına sahip ve ilgili standartta tanımlanan şartları karşılayan Tork El Aletleri Kalibrasyon sistemi düşük belirsizlikler elde edebilmek için önemlidir. Standartlardaki farklılıklara göre kalibrasyon adımlarının artması, ölçüm belirsizliği hesaplama adımlarının değişiklik göstermesi, ölçüm belirsizliklerinin azaltılması için otomatik ve/veya yarı otomatik ve daha kısa sürede kalibrasyon imkanı sağlayan Tork Kalibrasyon Sistemleri ihtiyaç haline gelmiştir.



Şekil 1. 1000N-m Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi tasarım resmi

Tüm kapasitelerde kalibrasyon yapmak ve insan kaynaklı hataları en aza indirebilmek için otomasyonlu tork kalibrasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Son zamanlarda, bu tür sistemlerin yurt dışından temin edildiğinde de yatırım maliyelerinin yüksek ve kalibrasyon piyasasının mevcut şartlarında geri dönüşümünün olmaması, böyle bir kalibrasyon sisteminin tasarlanması ve üretimini zaruri kılmıştır. 2014 yılında KAL-MET firması tarafından saat ibresi (CW) ve saat ibresi ters (CCW) yönlü hızı ayarlanabilir otomasyonlu ilk tork el aleti kalibrasyon makinası tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu makina sensör açısından belirli markalara bağımlı olarak tasarlanmıştır. Sensörlerin yazılımı ile kalibrasyon makinası yazılımı birbirinden bağımsız olarak çalışmakta, sınırlıda olsa kalibrasyon süresini kısaltma avantajı sağlamıştır. Ayrıca bu makinada aşırı yük risklerine karşılık korunma ve kişiye bağılı dikkatsizlik risklerinin ortadan kaldırılamadığı görülmüştür.

2019 yılında tasarlanan ve üretilen yeni nesil Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi, isminden de anlaşılacağı gibi bir makine olmaktan çıkmış bir sistem haline gelmiştir. Yeni sistemin avantajları şu şekilde sayılabilir:

- Eski sistem sensör, sensör yazılımı, kalibrasyon makinası, makina otomasyon yazılımı gibi birbirinden bağımsız elemanlardan oluşmakta ve tüm hareketler personel tarafından veriliyordu, Yeni sistemde kontrol direkt sensörden alınan verilerden sağlanıyor ve sistem tek yazılıma sahip, prosedür oluşturarak otomatik kalibrasyona imkanını sağlamaktadır.
- Eski sistemde ISO 6789-1 ve ISO 6789-2 standartlarına uygun olan kalibrasyon faaliyeti ve ölçüm belirsizliği verilerini elde etmek yaklaşık 3 saat sürerken yeni sistemde bu süre yarım saate düşmüştür.
- Eski sistem değişik metotlar için esneklik göstermemektedir. Ancak yeni sistem istenilen şartnameye veya standarda uygun prosedür hazırlayarak ölçüm yapmasına imkan sağlamaktadır.
- Eski sistemde sensörler için markaya bağımlılık varken yeni sistem de mV/V çıkışı olan tüm sensörler kullanılabilir duruma gelmiştir.

- Eski sistemde sensördeki kaymalar üreticisi haricinde düzeltilemezken yeni sistemde yazılım sensörü doğru değerlerde kullanılabilecek şekilde enterpolasyon yapmaya imkân vermektedir.
- Eski sistemde tüm hareketler ve ölçümler personel tarafından yaparken yeni sistemde Tip I Tork el aletleri fotoğraf makinası kullanılarak tam otomatik yapılabilmekte, Tip II Tork el aletlerinde ise sadece kurma aşamalarında teknik personele ihtiyaç duyulmaktadır.

2. ELEKTROMEKANİK TORK EL ALETLERİ KALİBRASYON SİSTEMİ

Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi (ETCS), mekanik gövde, servo tork oluşturma sistemi ve kontrol ünitesinden oluşur. Makina gövdesi 1 N·m den 1000 N·m ye kadar tork el aletlerini CW ve CCW yönünde kalibre etmeye uygun şekilde tasarlanmıştır. Kalibre edilecek el aletinin yerleştirileceği kısım ISO 6789-2 standardının şartlarını karşılayacak şekilde tasarlanmış ve referans tork dönüştürücü ile doğrudan temas halindedir. Referans tork dönüştürücünün sinyali kontrol sistemi tarafından sürekli olarak alınarak sistemin istenen tork değerlerini kontrol etmesinde kullanılır. Referans tork sensörlerinin her biri için özel aparatlar imal edilmiş ve sensör değiştirme süresi minimum zamana indirilmiştir.

Sistem, bir servo motor tarafından tahrik edilen bir manivela sistemini kullanarak tork değeri oluşturur. Bu sistemin avantajı küçük motor kapasitesi ile büyük tork değerlerinin elde edilmesidir. Servo motor kullanılması ile hassas olarak konumlama ve hız ayarı yapılabilmektedir. Bu sayede sistemin hassas olarak tork değerini sağlayabilmesi ve ölçüm belirsizliğinin düşük olması sağlanmıştır.

Tablo 1. 1000 N·m Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sisteminin Genel Teknik Özellikleri

Tipi	Referans Sensörlü Elektromekanik Tork El Aleti Kalibrasyon Sistemi
Maksimum kapasitesi:	1000N·m
Çalışma Aralığı :	1 N·m – 1000 N·m
Kontrol sistemi:	Servo kontrol



Şekil 2. 1000N·m Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi resmi

Kontrol sistemi tamamen bilgisayar kontrollü olup, sistemi korumak için sürekli geri bildirim sinyali almaktadır. Sistem 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 tork el aleti kalibrasyonları ISO 6789-2 dokümanına ve bunun dışında kullanıcı tarafından tanımlanan prosedüre göre ölçümler gerçekleştirilebilir. Manuel seçeneğinde, kullanıcı tarafından girilebilen bir ekrandan tork değeri seçilir, uygulanır ve veriler manuel işlem fonksiyonları ile kaydedilebilir.

3. ÖRNEK KALİBRASYON ÇALIŞMASI

Bu çalışmada örnek olarak seçilen tork el aleti kalibrasyonu, ISO 6789-2:2017 dokümanı esas alınarak hazırlanan kalibrasyon prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonda 100 N·m kapasiteye sahip transfer tork dönüştürücü kullanılmıştır. Kapasiteye uygun olarak belirlenen referans tork dönüştürücü, KAL-MET kalibrasyon laboratuvarında kalibre edilerek sertifikalandırılmıştır. Belirsizlik hesaplanmasında ISO 6789-2:2017 dokümanı esas alınmıştır. Aşağıdaki tablolarda referans sensör bilgileri, ölçüm adımları ve belirsizlik parametreleri le hesaplamaları detaylı olarak verilmiştir.

Kalibre Edilen Tork El Aletine Ait Bilgiler

Cihaz Adı	TORK EL ALETİ
Tip /Sınıf	Tip II - B
Alt Limit	10,00
Üst limit	30,00
Brim	N·m
Skala Taksimatı	0,001
Okunabilirlik Bölünü	2
Dönen Kafanın varlığı	var
Adaptörün varlığı	var
Kuvvet Uygulama Noktasında İşaret	yok
Kullanılan 1.Sensör	010203-100N·m

Kalibrasyon Noktaları	
Değer	%
10,0	33
18,0	60
30,0	100

$$a_s(\%) = \frac{(x_a - x_r) * 100}{x_r}$$

Ön Yükleme Sonuçları ve Kalibrasyon Sonuçları

Ortalama Ölçüm Süresi: 12 dakika

Ön Yük Ölçümleri			
CW - Saat Yönü			
X _{ö1}	=	10,001	N·m
X _{ö2}	=	10,002	N·m
X _{ö3}	=	10,004	N·m

CW - SAAT YÖNÜ TORK ÖLÇÜM SONUÇLARI			
Okunan Değer	Referans Değer		
X _a	X _r N·m		
X _a = <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>10</td></tr><tr><td>33,333333</td></tr></table> N·m %	10	33,333333	9,901
	10		
	33,333333		
	9,903		
	9,900		
9,928			
9,910			
Ortalama	9,91		
X _a = <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>18</td></tr><tr><td>60</td></tr></table> N·m %	18	60	17,732
	18		
	60		
	17,748		
	17,718		
17,679			
17,686			
Ortalama	17,71		
X _a = <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>30</td></tr><tr><td>100</td></tr></table> N·m %	30	100	29,397
	30		
	100		
	29,479		
	29,471		
29,456			
29,528			
Ortalama	29,47		

Ön Yük Ölçümleri		
CCW - Saat Yönü Tersİ		
X _{ö1}	=	-9,998 N·m
X _{ö2}	=	-9,997 N·m
X _{ö3}	=	-9,995 N·m

CCW - SAAT YÖNÜ TERSİ TORK ÖLÇÜM SONUÇLARI	
Referans Değer	
X _r	N·m
	9,413
	9,396
	9,511
	9,415
	9,415
	9,430
	17,085
	17,032
	17,055
	17,087
	17,044
	17,061
	28,628
	28,633
	28,622
	28,647
	28,618
	28,630

Belirsizlik Kaynakları**Aşağıdaki Ölçüm Belirsizliği hesaplamaları %20 kapasite için yapılmıştır.****Sertifika Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni**

Referans Tork Sensörünün kalibrasyon sertifikasından alınan belirsizlik bileşeni,

$$w_{md} = w_{cert} / 2$$

$$w_{cert} = 0,5\% \text{ (%95 güven aralığı için } k=2)$$

$$w_{md} = 0,25\%$$

Çözünürlük Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni

$$r = 0,001 \text{ N}\cdot\text{m}$$

 $X_{r-ortalama} = 9,91 \text{ N}\cdot\text{m}$ (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_r = \frac{r \times 0,5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{X_r}$$

$$w_r = 0,0015 \%$$

Tekrarlanabilirlik Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni b_{re} = Kalibrasyon sonuçlarının standart sapması $X_{r-ortalama} = 9,91 \text{ N}\cdot\text{m}$ (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{re} = \frac{b_{re}}{\sqrt{n}} \times \frac{100}{X_r}$$

$$w_{re} = 0,053\%$$

Tekraryapılabilirlik Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni - b_{rep}

Okunan Değer X_a	Referans Değer X_r N·m			
	1 seri	2.Seri	3.Seri	4.Seri
10 N·m % 33	9,910	9,900	9,901	9,901
	9,903	9,903	9,903	9,903
	9,904	9,907	9,900	9,900
	9,928	9,901	9,928	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
Ortalama	9,911	9,904	9,908	9,908

Ortalama Ölçüm Süresi: 5 dakika

 b_{rep} = Maksimum(Ortalama) – Minimum(Ortalama) $X_{r-ortalama} = 9,91 \text{ N}\cdot\text{m}$ (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{rep} = \frac{b_{rep} \times 0,5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{X_r}$$

$$w_{rep} = 0,0198 \%$$

Sabit Olmayan Kafa Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni - b_{od}

Ortalama Ölçüm Süresi: 10 dakika

 $b_{od} = \text{Maksimum(Ortalama)} - \text{Minimum(Ortalama)}$ $X_{r-ortalama} = 9,91 \text{ N}\cdot\text{m}$ (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{od} = \frac{b_{od} \times 0,5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\bar{X}_r}$$

 $w_{od} = 0,0221\%$

Okunan Değer X_a N·m	Referans Değer X_r N·m			
	Pozisyon1 (0°)	Pozisyon1 (90°)	Pozisyon1 (180°)	Pozisyon1 (270°)
10	9,910	9,924	9,901	9,901
	9,903	9,903	9,903	9,923
	9,904	9,907	9,914	9,904
	9,928	9,918	9,918	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
	9,900	9,928	9,901	9,901
	9,903	9,923	9,903	9,923
	9,907	9,907	9,914	9,904
	9,901	9,922	9,918	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
Ortalama	9,908	9,915	9,909	9,913

Adaptör Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni

Ortalama Ölçüm Süresi: 10 dakika

 $b_{int} = \text{Maksimum(Ortalama)} - \text{Minimum(Ortalama)}$ $X_{r-ortalama} = 9,91 \text{ N}\cdot\text{m}$ (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_{int} = \frac{b_{int} \times 0,5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{\bar{X}_r}$$

 $w_{int} = 0,034\%$

Okunan Değer X_a N·m	Referans Değer X_r N·m			
	Pozisyon1 (0°)	Pozisyon1 (90°)	Pozisyon1 (180°)	Pozisyon1 (270°)
10	9,910	9,924	9,901	9,901
	9,903	9,940	9,903	9,923
	9,904	9,907	9,914	9,904
	9,928	9,918	9,900	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
	9,900	9,928	9,901	9,901
	9,903	9,923	9,903	9,923
	9,907	9,907	9,914	9,904
	9,901	9,922	9,918	9,928
	9,910	9,910	9,910	9,910
Ortalama	9,908	9,919	9,907	9,913

Kuvvet Uygulama Noktası Kaynaklı Belirsizlik Bileşeni - b_1

Okunan Değer X_a N·m	Referans Değer X_r N·m	
	Pozisyon 1 (-1cm)	Pozisyon 2 (+1cm)
10	9,910	9,924
	9,903	9,940
	9,904	9,907
	9,928	9,918
	9,899	9,910
	9,930	9,928
	9,903	9,923
	9,904	9,907
	9,928	9,922
	9,910	9,910
Ortalama	9,912	9,919

Ortalama Ölçüm Süresi: 5 dakika

$b_1 = \text{Maksimum(Ortalama)} - \text{Minimum(Ortalama)}$

$X_{r\text{-ortalama}} = 9,91 \text{ N·m}$ (Kalibrasyon sonuçlarında %20 kapasitedeki ölçümlerin ortalaması)

$$w_1 = \frac{b_1 \times 0,5}{\sqrt{3}} \times \frac{100}{X_r}$$

$w_1 = 0,02\%$

Tüm bu ölçümler sonucunda tork el aletinin 10 N·m tork değeri için toplam belirsizliği 0,3 % olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortalama ölçüm süreleri her ölçüm parametresinin altında ayrı ayrı belirtilmiştir. Belirsizlik bütçesinde yer alan parametrelerin ölçümü toplam 42 dakika sürdüğü tespit edilmiştir. Bu değer ölçüm kapasitesine bağlı olarak küçük değişiklikler gösterebilmektedir.

4. SONUÇLAR

KAL-MET firması tarafından tasarlanıp üretilen Elektromekanik Tork El Aletleri Kalibrasyon Sistemi (ETCS) ile örnek bir tork el aleti kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kalibrasyonda ISO 6789-2 standardının istediği tüm belirsizlik bileşenlerinin ölçülebildiği bir tork el aleti seçilmiştir. ETCS sisteminin çok fazla sayıdaki değeri hızlı ve doğru bir şekilde ölçtüğü gözlemlenmiştir. Belirsizlik bütçesinde yer alan tüm parametrelerin ölçümünün toplam 42 dakika zaman aldığı ölçülmüştür. ETCS sistemi ile tekrarlanan ölçümlerde insan faktörü asgari seviyeye indirilmiş, hızlı ve doğru ölçümlerin gerçekleştirilebildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] ISO 6789-1:2017 Cıvatalar ve somunlar için montaj takımları- Elle çevrilen takımlar- Bölüm 1: Tasarım uygunluğu testi ve kalite uygunluk testi için şartlar ve yöntemler: uygunluk belgelerine ilişkin asgari gereklilikler
- [2] ISO 6789-2:2017 Cıvatalar ve somunlar için montaj takımları- Elle çevrilen takımlar-Bölüm 2: Kalibrasyon için gerekenler ve ölçümün belirsizliği
- [3] JCGM100:2008 Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in Measurement

- [4] EURAMET cg-14 Version 2.0 (03/2011) GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF STATIC TORQUE MEASURING DEVICES.
- [5] B.Aydemir, H. Dizdar, C. Vatan Ocak 2015 BAĞIL ENTERPOLASYON HATASININ FARKLI MATEMATİKSEL YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI ve SAYISAL ÖRNEKLENMESİ TEKNİK RAPORU

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.