

# 0.8 MPA - 8 MPA BASINÇ ARALIĞINDA UME (TÜRKİYE) VE CNR-IMGC (İTALYA) TARAFINDAN GERÇEKLEŞTİRİLEN KARŞILAŞTIRMALI ÖLÇÜMLER

*M. Haluk Orhan, Rifat Kangı, Ali Akgül  
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü*

## ÖZET

*16 - 25 Ekim 1996 tarihlerinde UME Basınç ve Vakum Laboratuvarı'nda UME (Türkiye) ve CNR-IMGC (İtalya) arasında karşılaştırmalı ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler, 0.8 MPa ile 8 MPa basınç aralığında gaz ortamında ve gauge (relatif) basınç modunda gerçekleştirilmiştir. İki adet pistonlu basınç standardı kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde oluşturulan 42 adet basınç denge noktası sırasında alınan veriler ölçümler sonrası yapılan belirsizlik hesaplamalarında göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplamalar sonucunda UME'ye ait piston silindir ünitesinin efektif alanı belirlenmiş ve bu üniteye ait basınç distorsiyon katsayısının sıfıra eşit olduğu deneysel olarak ispat edilmiştir. Bu karşılaştırmalı ölçüm UME'ye ait piston silindir ünitesinin efektif alan değerinin ve bu ünite kullanılarak oluşturulan basınç üzerindeki belirsizlik değerlerinin azaltılmasını sağlamıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar ile Türkiye ve İtalya'ya ait basınç skalaları arasındaki uyumluluk onaylanmıştır.*

## 1. GİRİŞ

Pistonlu basınç standardı, yüksek çözünürlükte ve yüksek doğrulukta basıncın oluşturulmasında kullanılacak en ideal cihazdır. Bu cihazların en önemli elemanı piston silindir ünitesidir. Çalışma prensibi ise kısaca şu şekilde açıklanabilir: Yüzeyi çok iyi işlenmiş  $A_{eff}$ , efektif alanına sahip pistonun altına uygulanan akışkan basıncı, akışkan içerisinde serbestçe yüzen piston üzerindeki  $F$  kuvvetiyle dengede olduğu zaman oluşturulan basınç  $P=F/A_{eff}$ 'e eşit olur [1].

Bilinmektedir ki, uluslararası karşılaştırmalı ölçümler farklı ülkelerde gerçekleştirilen basınç ölçümleri arasında uyumluluğu gözlemlemek ve dünya ülkelerindeki ulusal metroloji enstitüleri arasında harmonizasyonu sağlamak için organize edilmektedir. Bu çerçevede içinde, pistonlu basınç standartları önemli metrolojik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla CNR-IMGC (İtalya) ve UME (Türkiye) 0.8 MPa – 8 MPa basınç aralığında karşılaştırmalı ölçümler yapmaya karar vermişlerdir. Gauge (relatif) basınç ölçüm modunda gerçekleştirilen ölçümler sırasında basınç ortamı olarak gaz kullanılmıştır. Karşılaştırmalı ölçümler, 16-25 Ekim 1996 tarihleri arasında UME Basınç ve Vakum Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında UME'ye ait kütle seti ve pistonlu basınç standartları kullanılmıştır. IMGc sadece, UME'ye ait 5880 seri numaralı UME B9303 laboratuvar kod numaralı piston silindir ünitesi ile karşılaştırılan 1035 seri numaralı IMGc-DH-8 laboratuvar kod numaralı piston silindir ünitesini getirmiştir. Karşılaştırmalı ölçümlerde "cross-floating" metodu kullanılmıştır.

Bu karşılaştırmanın amacı Türkiye ve İtalya'nın primer metroloji enstitülerinde oluşturulmuş olan ve muhafaza edilen basınç skalaları arasındaki uyumluluğun onaylanmasıdır. Ayrıca yapılan karşılaştırmalı ölçümler, UME B9303 ünitesinin efektif alanı üzerindeki belirsizliğin de düşürülmesine imkan tanımıştır. Bu bildiriye verilmiş olan tüm belirsizlik değerleri,  $k=2$  kapsama katsayısı ile çarpılmış, bir başka deyişle % 95 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $2s$  cinsinden verilmiş değerlerdir.

## 2. KARŞILAŞTIRMADA KULLANILAN PİSTON SİLİNDİR ÜNİTELERİNİN ÖZELLİKLERİ

Karşılaştırmada kullanılan UME'ye ait piston silindir ünitesi Fransız Desgranges et Huot (D&H) firması tarafından üretilmiştir. Bu ünite yine aynı firma tarafından üretilmiş olan Model 5202 pistonlu basınç standardı ile kullanılmaktadır [2]. Piston ve silindir tungsten karbid (WC) malzemeden imal edilmiş olup, piston silindir boşluğunda tekrar girintili ünite tasarımı gereği spinelf yağı piston silindir arasındaki boşluğu yağlamak amacıyla kullanılmıştır. Efektif alan değeri LNE'ye izlenebilir firma laboratuvarında 1993 yılında gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda belirlenmiştir. Atmosfer basıncında ve  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ünitenin efektif alan değeri  $49.0248 \text{ mm}^2$ 'dir. Bu değer üzerindeki belirsizlik 40 ppm (parts per million)'dir. Basınç distorsiyon katsayısı 1, sıfır olarak kabul edilmiştir. Sistemin oluşturulan basınç üzerindeki toplam belirsizliği 50 ppm'dir.

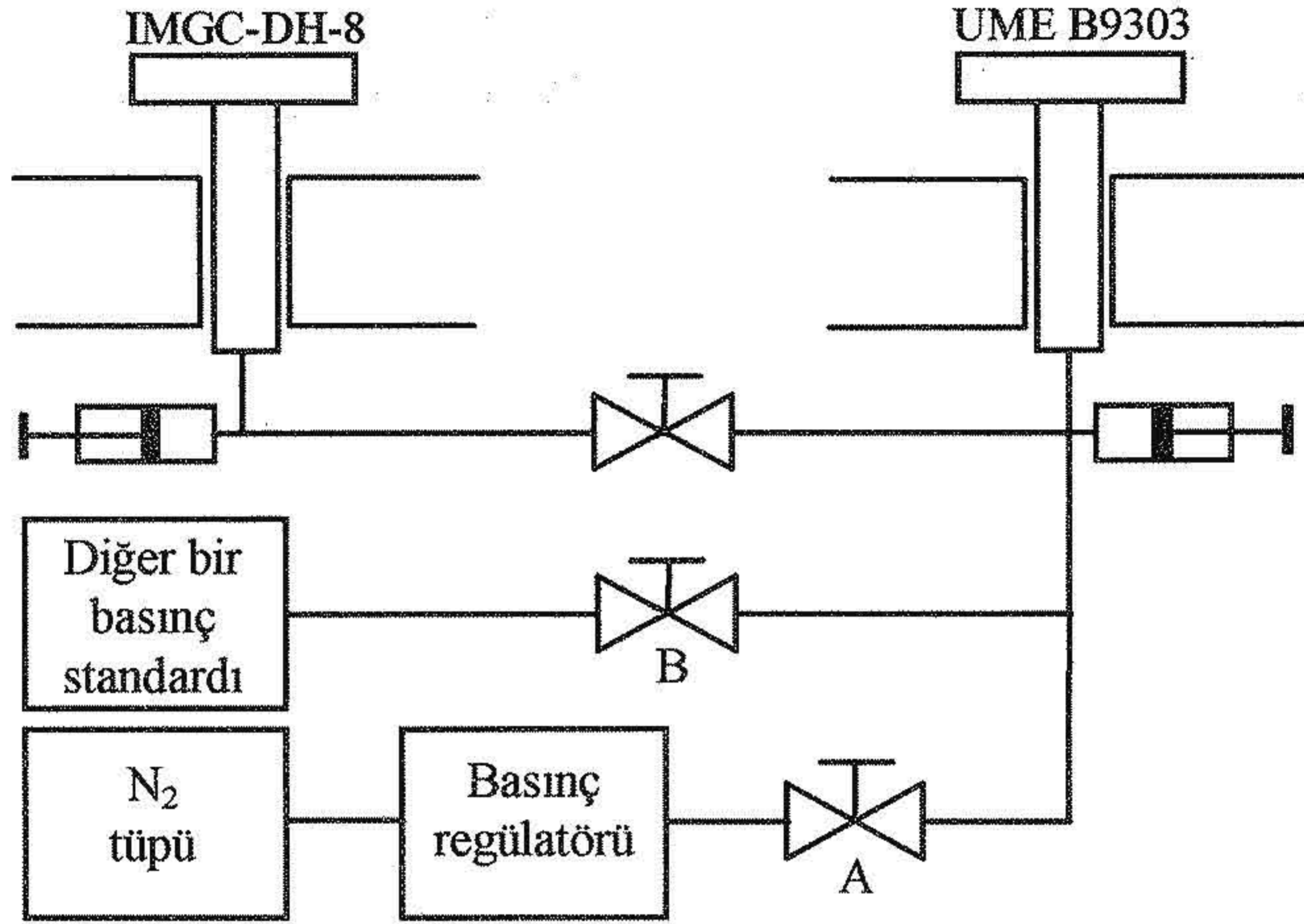
Karşılaştırmada kullanılan CNR-IMGC'ye ait piston silindir ünitesi de D&H firması tarafından aynı malzeme ve tasarım kullanılarak imal edilmiştir. Primer IMGC standardı ile karşılaştırılarak ünitenin atmosfer basıncında ve  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki efektif alan değeri  $49.0236 \text{ mm}^2$  olarak belirlenmiştir [3]. Bu değer üzerindeki belirsizlik 20 ppm'dir. Basınç distorsiyon katsayısı 1, bu ünite için de sıfır olarak bulunmuştur. Bu ünite kullanılarak oluşturulan basınç üzerindeki toplam belirsizlik 22 ppm'dir.

## 3. KARŞILAŞTIRMA SIRASINDA KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEGİ, METODU VE HESAPLAMALAR

### 3.1 Ölçüm düzeneği ve metodu

İki adet pistonlu basınç standardı ve ünitesi ölçümler için kullanılmıştır. Pistonlu basınç standartlarının birbirleri ile olan basınç bağlantısı esnek basınç boruları ile yapılmıştır. Şekil 1. iki sistemin basınç bağlantı durumunu göstermektedir. Piston silindir ünitelerini dengeye getirmede kullanılan bütün kontrol valfleri ve pompaları da aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

Karşılaştırmanın yapılacağı basınç değerlerinin oluşturulması için gerekli kütleler her iki piston silindir ünitesi üzerine yerleştirildikten sonra iki pistonu da % 99.999 saflıkta nitrojen gazı verilmiş ve her iki piston silindir ünitesinin de düşme hızları gözlenmiştir. Doğal düşme hızlarından daha hızlı bir durum gözlemlendiğinde, denge durumuna ulaşmak için kütle ilavesi gerekli olan piston silindir ünitesi üzerine ağırlıkları 5 mg ile 50 g arasında değişen küçük kütleler yerleştirilmiştir. İlave kütle yerleştirme işlemi her iki pistonu da doğal düşme hızı gözlemleninceye kadar tekrar edilmiştir.



Şekil 1. Karşılaştırmada kullanılan ölçüm düzeneği

0.8 - 1.6 - 2.4 - 4 - 5.6 - 7.2 ve 8 MPa basınç ölçüm noktalarından oluşan 6 adet ölçüm çevrimi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm çevrimleri bir artan basınç yönünde bir azalan basınç yönünde yapılmıştır. Hesaplamalarda 42 adet "cross-floating" denge noktasındaki ölçüm verileri kullanılmıştır.

Silindirlerle temas halinde olan platinyum dirençli termometreler (PRT100), her iki piston silindir ünitesinin ölçüm sırasındaki sıcaklıklarının ölçülmesi için kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri 0.01°C çözünürlüğe sahip sayısal göstergeden okunmuştur. Sıcaklık ölçümleri üzerindeki toplam belirsizlik 0.12°C'dir.

Ölçümler sırasında denge durumuna ulaşıp ulaşılmadığını gözlemlemek için her iki ünite de yerleştirilmiş olan yüzme pozisyon duyargaları ve göstergelerinden yararlanılmıştır.

Karşılaştırmalı ölçümlerde kullanılan kütleler UME Kütle Laboratuvarı tarafından 4.5 ppm belirsizlikle kalibre edilmiştir.

Ölçümler sırasında her iki piston da saat yönünün tersine dc motor kullanılarak döndürülmüştür. IMGCDH-8 pistonunun dönme hızı dakikada 25 devir iken, UME B9303 pistonunun dönme hızı dakikada 21 devir idi.

### 3.2. Hesaplamalar

Karşılaştırma sırasında laboratuvarın ortalama sıcaklığı 20.88°C, bağıl nemi % 49.25, atmosfer basıncı ise 99.708 kPa idi. Her ölçüm çevrimi için havanın kaldırma kuvveti etkisi düzeltmesinin yapılması için havanın yoğunluğu  $\rho_a$ ,  $\text{kgm}^{-3}$  cinsinden aşağıdaki basitleştirilmiş formülden her ölçüm çevrimi için hesaplanmıştır [4].

$$\rho_a / (\text{kgm}^{-3}) = 3.48353 \times 10^{-3} \frac{p / \text{Pa}}{ZT / \text{K}} (1 - 0.3780x_v) \quad (1)$$

Burada p/Pa, atmosfer basıncını; T/K laboratuvar sıcaklığını;  $x_v$  su buharının mol kesrini; Z ise nemli havanın sıkıştırılabilirlik katsayısıdır.

Her basınç ölçüm noktasında küçük kütleler yardımıyla ulaşılan denge durumunda, her iki ünitedeki basınç birbirine eşittir ve şu şekilde yazılabilir:

$$p = \frac{F_{UME}}{A_{UME}} = \frac{F_{IMGC}}{A_{IMGC}} \quad (2)$$

Burada  $F_{UME}$  ve  $F_{IMGC}$  sırasıyla UME ve IMGC basınç standartlarında oluşturulan kuvvetleri,  $A_{UME}$  ve  $A_{IMGC}$  ise piston silindir ünitelerinin efektif alanlarını temsil etmektedir. Her iki ünite için basınç distorsiyon katsayısı sıfır olarak kabul edilmiştir. Sıcaklık ve havanın kaldırma kuvveti etkisi düzeltmeleri yapıldığında (2) eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$p = \frac{\sum m_{UME} \cdot g_L \cdot (1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})}{A_{eUME} (1 + 2\alpha(t_{UME} - 20^\circ \text{C}))} = \frac{\sum m_{IMGC} \cdot g_L \cdot (1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})}{A_{eIMGC} (1 + 2\alpha(t_{IMGC} - 20^\circ \text{C}))} \quad (3)$$

Burada  $m_{UME}$  ve  $m_{IMGC}$ , UME ve IMGC pistonları üzerine yerleştirilen toplam ağırlıkları kg cinsinden;  $g_L$ , yerel yerçekimi ivmesini ( $9.8023 \text{ ms}^{-2}$ );  $r_a$  (1) numaralı eşitlik kullanılarak  $\text{kgm}^{-3}$  cinsinden hesaplanan hava yoğunluğunu;  $r_m$ , konvansiyonel kütle yoğunluğunu ( $8000 \text{ kgm}^{-3}$ );  $2\alpha$ , UME ve IMGC ünitelerine ait piston ve silindirin termal genişleme katsayılarını ( $9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ );  $t_{UME}$  ve  $t_{IMGC}$  ölçüm sırasında UME ve IMGC ünitelerinin sıcaklık değerlerini  $^\circ\text{C}$  cinsinden ifade etmektedir.

İki basınç standardının referans basınç seviyeleri arasındaki yükseklik farkı 0.5 mm belirsizlikle 0.8 mm olarak ölçülmüştür. Yükseklik ölçümünden ve nitrojen yoğunluğunun hesaplanmasından kaynaklanan belirsizlik değeri ise 0.12 ppm'dir.

Her ölçüm noktasında basınç dengesi sağlandığında UME B9303 ünitesinin efektif alanı (3) eşitliğinden elde edilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_{eUME} = \frac{\sum m_{UME} \cdot g_L (1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})}{p_{IMGC} \times [1 + 2\alpha(t_{UME} - 20^\circ \text{C})]} \quad (4)$$

Ölçümler sonrasında iki basınç standardı arasındaki basınç farkı ( $\Delta p = p_{IMGC} - p_{UME}$ ) da hesaplanmıştır.

$$\Delta p = \frac{\sum m_{IMGC} \cdot g_L (1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})}{A_{eIMGC} [1 + 2\alpha(t_{IMGC} - 20^\circ \text{C})]} - \frac{\sum m_{UME} \cdot g_L (1 - \frac{\rho_a}{\rho_m})}{A_{eUME} [1 + 2\alpha(t_{UME} - 20^\circ \text{C})]} \quad (5)$$

Burada  $A_{UME}$  değeri için 1993 yılında belirlenmiş değer olan  $49.0248 \text{ mm}^2$  kullanılmıştır.

#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR

##### 4.1. UME B9303 piston silindir ünitesi efektif alan değeri

Tablo 1. Her basınç çevrimi için hesaplanmış denge duyarlılığını göstermektedir. 1,3,5 numaralı çevrimler artan basınç modunda, 2,4,6 numaralı çevrimler azalan basınç modunda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Denge duyarlılıkları (6 basınç çevrimi için)

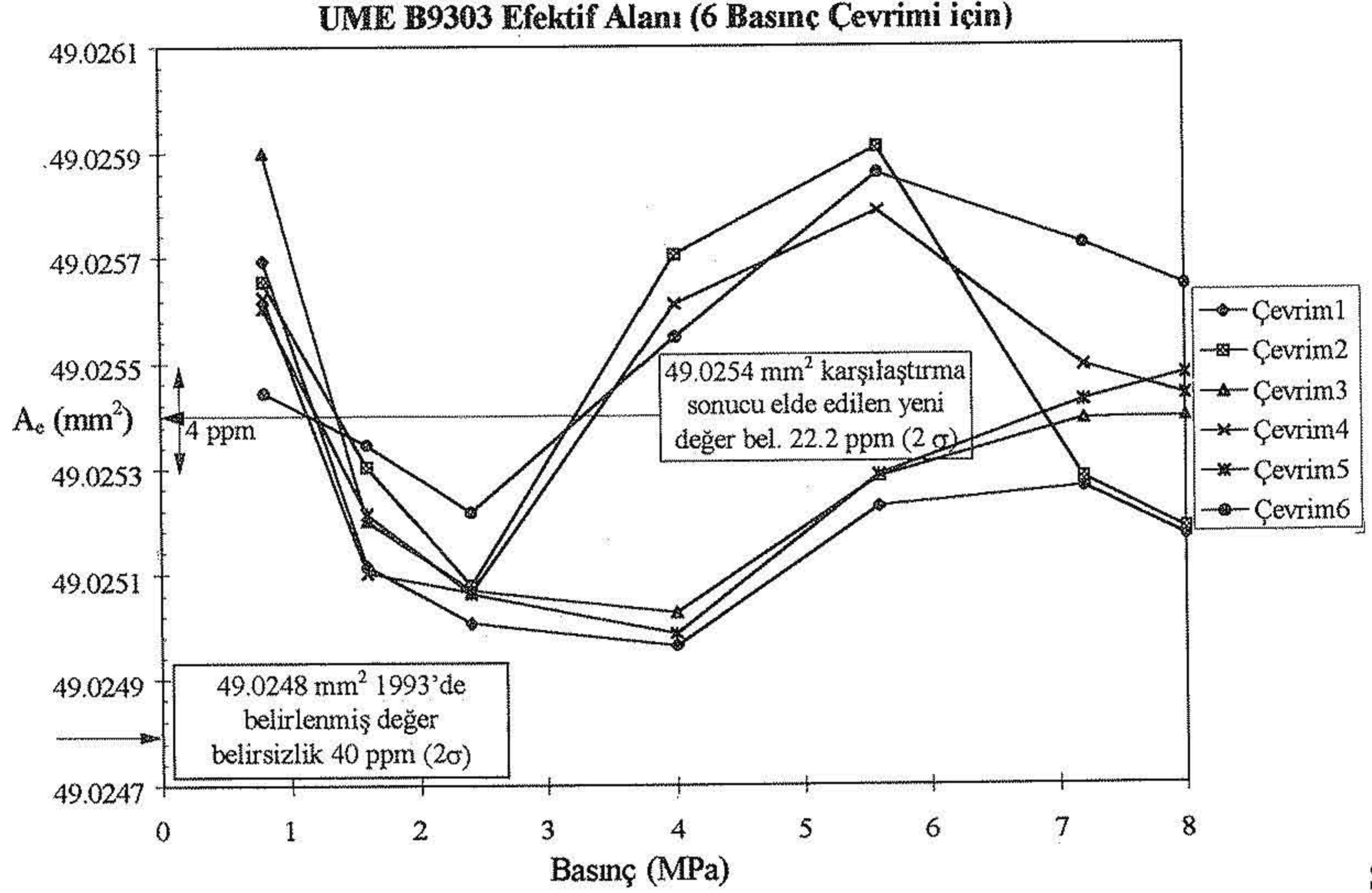
Nom. Basınç (MPa)	Çevrim 1	Çevrim 2	Çevrim 3	Çevrim 4	Çevrim 5	Çevrim 6	Ort. Hassas. (ppm)
0.8	2.5	5	2.5	5	2.5	2.5	3.3
1.6	2.5	2.5	1.2	2.5	2.5	1.2	2.1
2.4	1.7	0.8	0.8	1.7	1.7	1.7	1.4
4	1	1	1	1.5	0.5	1	1.0
5.6	1.8	1.8	0.7	1.8	0.7	0.7	1.3
7.2	1.4	1.4	0.6	0.6	1.4	1.4	1.1
8	1.2	1.2	1.2	0.5	0.5	1.2	1.0
Ortalama hassasiyet (42 veri)							1.6

Tablo 2 ve Şekil 2’de detaylı olarak verilmiş aşağıdaki sonuçlar karşılaştırmalı ölçümler sonrası elde edilmiştir.

- $A_{eUME} (patm, 20^{\circ}C) = 49.02538 \text{ mm}^2$  (42 ölçüm noktasının ortalaması)
- 42 ölçüm verisinin standart sapması =  $0.000271 \text{ mm}^2$
- Bağlı standart sapma (standart sapma / ortalama efektif alan) = 5.5 ppm
- UME B9303 ünitesine ait yeni ve eski efektif alan değerleri arasındaki fark 11.75 ppm’dir.
- $\lambda = 0$  deneysel sonuçlarla da onaylanmıştır.

Tablo 2. UME B9303 ünitesine ait ortalama değerler ve standart sapmalar

Nom. P (MPa)	$A_{eUME}$ çev.1 (mm <sup>2</sup> )	$A_{eUME}$ çev. 2 (mm <sup>2</sup> )	$A_{eUME}$ çev.3 (mm <sup>2</sup> )	$A_{eUME}$ çev. 4 (mm <sup>2</sup> )	$A_{eUME}$ çev.5 (mm <sup>2</sup> )	$A_{eUME}$ çev. 6 (mm <sup>2</sup> )
Ortalama	49.025206	49.025445	49.025324	49.025446	49.025295	49.025541
St. sapma	0.00024	0.00031	0.00029	0.00027	0.00023	0.00022
Bağlı st. sapma	4.9E-06	6.3E-06	6.0E-06	5.5E-06	4.6E-06	4.6E-06
42 verinin ortalaması	49.025376					
42 verinin standart sapması	0.000271					
Bağlı Standart Sapma (st.sap./ort. $A_{eUME}$ )	5.5E-06					
UME B9303 eski efektif alan ile yeni efektif alan değerleri arasındaki fark (mm <sup>2</sup> )	0.000576					
UME B9303 eski efektif alan ile yeni efektif alan değerleri arasındaki bağlı fark:	11.75 ppm					



Şekil 2. UME B9303 ünitesine ait 6 basınç çevrimi için efektif alan grafiği

#### 4.2. UME B9303 piston silindir ünitesi efektif alan değeri belirsizlik hesabı

UME B9303 piston silindir ünitesi efektif alan değeri üzerindeki belirsizlik hesaplamaları yapılırken aşağıdaki katkılar belirsizlik kaynağı olarak düşünülmüştür.

Standart Belirsizliğe A Tipi Katkılar

- Karşılaştırmanın bağıl standart sapması

Standart Belirsizliğe B Tipi Katkılar

- Herbir basınç ölçüm noktasında piston üzerine yerleştirilen kütlelerin herbiri üzerindeki belirsizliklerin karelerinin toplamının karekökü

- Yerçekimi ivmesi değeri üzerindeki belirsizlik

- Hesaplama yoluyla belirlenen havanın yoğunluğu üzerindeki belirsizlik değeri ( $dr_a = 0.008 \text{ kg/m}^3$ )

-  $p_{IMGC}$  değeri üzerindeki belirsizlik

- Isıl genleşme katsayısı üzerindeki belirsizlik ( $d2a/2a = 20 \%$ )

- Piston silindir ünitelerinin ölçülen sıcaklık değerleri üzerindeki belirsizlik ( $dt=0.12^\circ\text{C}$ )

Tablo 3.'de tüm belirsizlik katkıları gösterilmiştir.

Tablo 3. Hesaplanan efektif alan değeri üzerindeki belirsizlik katkıları (2s cinsinden)

İndis i	Belirsizlik bileşeni $U(x_i)$	Belirsizlik kaynağı	Dağılım tipi	Bel. değeri $U_i(A_e) / \text{ppm}$
1	$U(c)$	karşılaştırmanın bağıl standart sapması	normal	1.4 - 7.1
2	$U(m_{UME})$	piston üzerine yerleştirilen kütleler	normal	0.4 - 2.1
3	$U(g_L)$	yerçekimi ivmesi	dikdörtgen	1
4	$U(r_a)$	havanın yoğunluğu (hesaplama)	dikdörtgen	1.2
5	$U(\rho_{mUME})$	kütlelerin yoğunluğu (8000 kg/m <sup>3</sup> )	-	0
6	$U(p_{IMGC})$	IMGC ünitesi tarafından oluşturulan basınç	normal	20.4 - 20.5
7	$U(2\alpha_{UME})$	ısı genleşme katsayısı	dikdörtgen	3.6
8	$U(t_{UME})$	piston silindir ünitesinin sıcaklığı	dikdörtgen	1.3

Yukarıdaki tabloda verilmiş olan bileşenlerin değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alındığında  $A_{eUME}$  değerinin, 22.2 ppm'den daha iyi bir belirsizlikle belirlenmiş olduğu kolayca bulunabilir.

#### 4.3. Sistemler arasındaki basınç farkının hesaplanması ve ölçüm uyumluluğu (normalize edilmiş hata)

Tablo 4. denge durumunda iki sistem arasındaki (5) eşitliği kullanılarak hesaplanmış basınç farkı değerlerinin ortalamasını, ortalama bağıl basınç farkını ve normalize edilmiş hataları göstermektedir. Normalize edilmiş hata (bazı zamanlar uyumluluk indeksi olarak da adlandırılır), iki sistem tarafından oluşturulan basınçlar arasındaki uyumluluğu göstermektedir. (6) numaralı eşitlik kullanılarak elde edilen değerlerin sıfır ile bir arasında olması, yapılan karşılaştırmanın başarılı olduğunu gösterir.

$$e_x = \frac{\Delta p}{\sqrt{U^2_{P_{IMGC}} + U^2_{P_{UME}}}} \quad (6)$$

Burada  $\Delta P$  IMGC ve UME sistemleri arasındaki basınç farkına eşittir. Ayrıca  $U_{P_{IMGC}}$  ve  $U_{P_{UME}}$ 'nin 2s'e karşılık gelen değerleri sırasıyla 20.5 ppm ve 40.3 ppm'dir. UME piston silindir ünitesi ile oluşturulan basınç üzerindeki belirsizliğin hesaplanması sırasında efektif alan üzerindeki belirsizlik değeri olarak 1993 yılında belirlenmiş değer olan 40 ppm kullanılmıştır. Tablo 4'de görülmektedir ki, 1s'e karşılık gelen normalize edilmiş hata değerleri de 1'den küçüktür.

Tablo 4. İki sistem arasındaki basınç farkı ( $\Delta p$ ) ve normalize edilmiş hata ( $e_x$ )

Nominal basınç	Ortalama $\Delta p$	Ortalama $\Delta p/p$	( $e_x$ )	( $e_x$ )
MPa	Pa	ppm	1s	2s
0.8	-13.9	-17.4	-0.77	-0.39
1.6	-13.5	-8.4	-0.37	-0.19
2.4	-13.9	-5.8	-0.26	-0.13
4	-41.4	-10.3	-0.46	-0.23
5.6	-86.6	-15.5	-0.68	-0.34
7.2	-92.6	-12.9	-0.57	-0.28
8	-95.5	-11.9	-0.53	-0.26

## 5. SONUÇLAR

UME tarafından oluşturulan basınç skalası içerisinde yer alan 0.8 MPa ile 8 MPa basınç aralığında çalışan piston silindir ünitesi IMGC'ye ait piston silindir ünitesi ile "cross-floating" metodu kullanılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın denge duyarlılığı 3.3 ppm'den 1 ppm'e kadar değişmektedir. Karşılaştırmalı ölçümler sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- UME B9303 piston silindir ünitesinin efektif alanı  $49.02538 \text{ mm}^2$  olarak bulunmuştur.
- $\lambda=0$  varsayımı deneysel veriler sonucunda onanmıştır.
- Efektif alanın bağıl standart sapması 5.5 ppm olarak bulunmuştur.

Gerçekleştirilen karşılaştırmalı ölçümler, İtalya ile Türkiye arasındaki basınç ölçümlerindeki uyumluluğun, 0.8 MPa ile 8 MPa ölçüm aralığında, 1s seviyesinde de mevcut olduğunu göstermiştir.

Bu uluslararası çalışma sonucunda UME'ye ait olan piston silindir ünitesinin efektif alan değeri üzerindeki belirsizlik 40 ppm'den 22.2 ppm'e, bu ünite kullanılarak 0.8 MPa'dan 8 MPa'a kadar oluşturulan basınç üzerindeki toplam belirsizlik de 50 ppm'den 22.4 ppm'e düşürülmüştür.

## KAYNAKÇA

1. K. Grohmann and H L Lee, Extension of the application range of a piston pressure gauge to low pressures, *Journ. of Physics E: Sci. Instrum.* 20, 1987, s. 1169-1172
2. H.Orhan and R. Kangı, The Pressure Scale In Turkey From  $5 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  To  $5 \times 10^8 \text{ Pa}$ , XIV. *IMEKO Kongresi*, Tampere, Finlandiya 1997
3. R. Maghenzani, G. Molinar, L. Marzola and R.K. Kulshrestha, Pressure Metrology up to 5 MPa in different gas media, *Journ. of Physics E: Sci. Instrum.* 20, 1987, s. 1173-1179
4. F. Pavese and G. Molinar, *Modern Gas-Based Temperature and Pressure Measurements*, Plenum Press, New York and London, 1992, s. 326-327



### Yazarların Özgeçmişleri

M. Haluk Orhan, yüksek fizik mühendisi

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği programından yüksek lisans derecesi ile 1995 yılında mezun olmuştur. 1993 yılından itibaren UME Basınç ve Vakum Laboratuvarı'nda çalışmaktadır. Basınç ve vakum metrolojisi konusunda biri uluslararası olmak üzere 4 adet bildirisi yayınlanmıştır.

Dr. Rifat Kangı, fizik doktoru

Novosibirsk (Rusya) İnorganik Kimya Enstitüsünden 1991 yılında doktora derecesini almıştır. 1984-1992 yılları arasında adı geçen enstitüsünde vakum tekniği kullanılarak gerçekleştirilen ince film yapımı, ince film analizi ve manyetik ölçüm konularında araştırmalar yapmıştır. Bu konularal ilgili 6'sı uluslararası olmak üzere toplam 10 adet makale ve bildirisi yayınlanmıştır. 1993 yılından itibaren UME Basınç ve Vakum Laboratuvarında çalışmaktadır.

Ali Akgül, havacılık ve uçak mühendisi

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Havacılık Mühendisliği Bölümünden 1995 yılında lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1996 yılından itibaren UME Basınç ve Vakum Laboratuvarında çalışmaktadır.

### Yazışma Adresi

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü

Basınç ve Vakum Laboratuvarı

P.K. 21, 41470, Gebze, Kocaeli

Tel : +90 262 646 6355

Faks : +90 262 646 5914

e-mail : horhan@umel.mam.gov.tr