

# DOĞALGAZ DEBİSİNİN DİYAFRAMLA ÖLÇÜMÜ

**Mehmet ATILGAN**  
**İ. Hakkı GERELİOĞLU**  
**Süleyman ATILGAN**  
**Öner ATALAY**

## ÖZET

Gazların debisinin ölçümünde çeşitli ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bunlar; diyafram, nozul, ventürimetre, türbinmetre ve rotametre gibi ölçüm cihazlarıdır. Son yıllarda ülkemizde yaygın olarak kullanılan doğalgaz sayaçları, özellikle binalarda türbinmetre tipinde olanlar ve sanayide kullanılan diyaframlı debi ölçerlerdir. Gazlar sıkıştırılabilir olduğu için, akış esnasında basınca ve sıcaklığa bağlı olarak yoğunlukları da değişmektedir. Akışkan debi ölçümlerinde kullanılan ölçü aletlerinin tipi ne olursa olsun debisine etki eden esas faktör ölçü aletinin giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşümüdür. Öte yandan kullanılan ölçü aletinin geometrik boyutları ve buna bağlı olarak akış rejimine etki eden Reynolds sayısı göz önünde bulundurulmalıdır.

Ölçü aletlerinin kalibrasyonu da önemlidir. Dolayısıyla sayaç veya ölçü aletinin giriş ve çıkışındaki basınç değerleri ile akışkanın sıcaklığının, bu ölçü aleti tarafından algılanması gerekir. Böylece ölçü aletinin çeşitli basınç farklarındaki ölçüm değerleri, kalibrasyon esnasında göz önünde bulundurulması şarttır. Bu algılama sonucu elde edilen katsayı dışında; ölçülen değerlerin başka bir düzeltme katsayısı ile çarpılmaması gerekir. Kaldı ki 300 mbar'lık bir sayaçta her zaman bu değerde bir basınç düşüşü oluşmamaktadır.

Bu çalışmada, diyaframla yapılan doğalgaz debi ölçümlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda belirli bir giriş basıncında diyaframa gelen akışkanın farklı basınç düşüşlerine göre geçen debinin hesabı bir Excel programında iterasyon yardımıyla hesaplanarak tablo ve grafikler şeklinde belirlenmiştir. Hacimsel debinin basınç düşüşüyle arttığı ve bu artışların değişik her sıcaklık için aynı şekilde davrandığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Doğalgaz, debi ölçümü, diyafram

## ABSTRACT

It can be used different measuring devices for the measurement of flowrate of the gases. These are measuring apparatus like orifice meter, flow nozzle, venturi meter, turbine flow meter and roto meter. In present days, the natural gas measuring devices often used in Turkey are particularly turbine meter type in houses and orifice meter type in industry. Since gases are compressible, density of gases are changing according to the pressure and temperature during the gas flow. Whatever the type of the flow meter are being used in the flow rate measurement, the main factor affecting on the flow rate is the pressure drop between inlet and outlet of flow meter. On the other hand we must take care the geometrical dimensions of the devices and Reynolds numbers which affects to the flow regimes.

The calibration of the flow meters are important. Therefore, the pressure in inlet and outlet of flow meter or flow measuring devices and flow temperature must be perceived by flow meter. Then the values of the measurement of the flow meter at the different pressure differences must be considered during the calibration. Therefore, the values of measurement must not be multiplied by a correction

factor except which was obtained from the calibration. On the other hand, it can not be formed such a pressure drop everytime in the flow meter of 300 mbar.

In this investigation, it was fulfilled the evaluations of flow rate measurement of natural gas. In this connection, the gas flow which enters to the orifice meter at a certain pressure. The calculation of the flow rate can be fulfilled by the aid of iteration using an Excel program. And results are presented in tables and figures. Volumetric flow rate increased by the pressure difference and the inclination of the curves behaves same in the different temperatures.

**Key Words:** Natural Gas, Flowrate Measurement, Orifice Meter

## 1. GİRİŞ

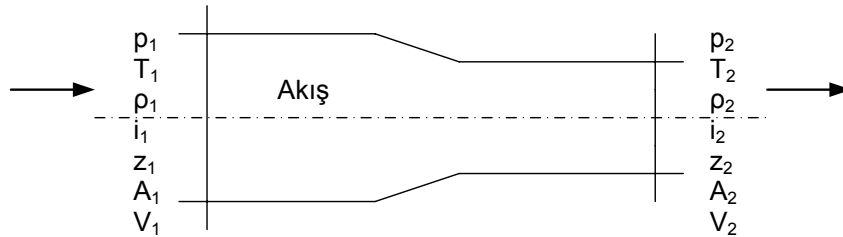
Gazların debisinin ölçümünde; kapalı kanallarda özellikle borularda kesit daralması oluşturularak meydana gelen basınç farkı ölçülerek akışın kütsel ve hacimsel debisi belirlenebilir. Bu tip ölçümlerde üç yöntem uygulanır. Bunlar: ventürimetre, lüle ve diyafram ile basınç farkı oluşturma şeklindedir.

Bu çalışmada, konutlarda kullanılan doğalgaz sayaçları yerine sanayide kullanılan ölçüm cihazları üzerinde durulacak ve günümüzde çok yaygın kullanılan doğal gazın debisinin diyaframla ölçümü; ilgili TSE standartları kullanılarak, Excel'de hazırlanan program yardımıyla değerlendirilecektir.

Akışkanların diyaframla debilerinin ölçümü konusunda oldukça geniş yayın mevcuttur. Bu konu ile ilgili hesap yöntemleri hemen hemen her yayında belirli ölçülerde bahsedilmektedir[1,2,3,4].

## 2. ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Şekil 1'de bu tür bir debi ölçümüne esas olan ve üzerinde bir kesit daralması meydana getirilen gaz akışları için tek boyutlu akışı ele alalım.



**Şekil 1.** Kesit Daralması Olan Tek Boyutlu Bir Akış Sistemi[1].

Akış yönünde giriş ve çıkış kesitlerindeki akışkana ait özellikler; yoğunluğu, akış hızı, sıcaklık, basınç ve kesit alanı ile sürekli bir rejim için süreklilik denklemi en önemli faktörlerdir. O halde süreklilik denklemi:

$$Q_m = \rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir.

Sıkıştırılabilir akışkanlar için genel enerji denklemi  $i_1$  ve  $i_2$  sistemin giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri olduğuna göre,

$$i_1 + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = i_2 + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2 \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Sistemde akan akışkan ideal gaz olduğuna göre,

$$p = \rho \cdot R \cdot T \quad (3)$$

ve sabit basınçtaki özgül ısı  $c_p$  ( $\text{kJ/m}^3\text{K}$ ) ise entalpi değeri,

$$i = c_p \cdot T \quad (4)$$

alınarak ve her iki kesit için  $z_1 = z_2$  kabulü ile,

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^\kappa \quad (5)$$

şeklinde verilen, sürekli rejimde tersinir adyabatik akış olması durumunda enerji denklemi için;

$$\frac{V_2^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right] = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R \cdot T_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] \quad (6)$$

elde edilir. Burada  $R$  ( $\text{j/kgK}$ ) akan akışkanın gaz sabitini,  $\kappa = c_p / c_v$ , sabit basınç ve hacimdeki özgül ısılarının oranını göstermektedir. (1) nolu süreklilik denklemi yardımıyla ikinci kesitteki teorik ortalama kütleli debi;

$$Q_{mt} = A_2 \cdot \rho_2 \cdot V_2 = A_2 \cdot \frac{p_1}{\sqrt{R \cdot T_1}} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1}} \cdot \sqrt{\frac{\left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}}{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{2 \cdot \kappa}}} \quad (7)$$

denklemi şeklinde ifade edilir.

Pratikte, genellikle basınç farkları ölçülerek değerlendirme yapılır. Sıkıştırılmaz akış ölçümlerinde olduğu gibi;  $C$  boşaltım katsayısı ve  $\varepsilon$  genleşme katsayısı olarak tanımlanarak, akışkanın gerçek kütleli debisi;

$$Q_{mg} = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \varepsilon \cdot A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta p} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\beta = \frac{d}{D} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$  dir. Gerçek hacimsel debi de aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$Q_{vg} = \frac{Q_{mg}}{\rho} \quad (9)$$

Diyafram ile debi ölçmede, basınç ölçme deliklerinin yerleri çok önemlidir. Bu durumda, statik basınç ölçümünde,

1. Boru tipi D ve D/2 ölçme deliklerinin yerleri.
2. Akışın daraldığı kesit(vena contracta) tipi.
3. Flanş tipi.

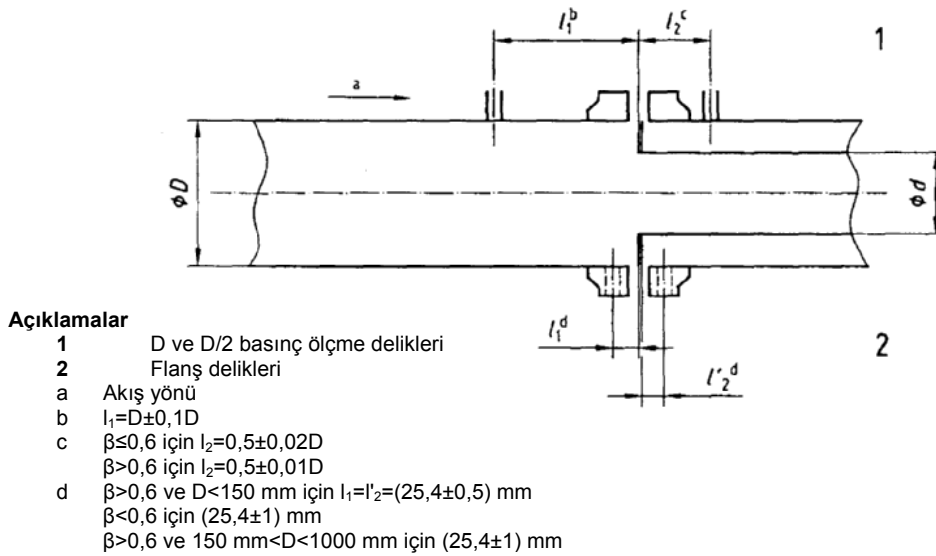
olmak üzere üç türlü düzenleme yapılır. Aşağıda bu düzenlemeler ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

### 3. BASINÇ ÖLÇME DELİKLERİ

Statik basınç ölçmelerinde diyaframın önünde ve arkasında en az birer adet basınç ölçme deliği yerleştirilir. Bunlar: D ve D/2, flanş ve köşe basınç ölçme delikleridir. Bu deliklerin yeri standart diyafram plakalarının tipini belirler.

#### 3.1. D ve D/2 Basınç Ölçme Delikli ve Flanş Basınç Ölçme Delikli Diyafram Plakaları

D ve D/2 basınç ölçme delikleri olan diyafram plakaları için statik basınç ölçme deliklerinin yeri Şekil 2'nin üst tarafında gösterilmiştir.



**Şekil 2.** D ve D/2 Delikli ve Flanş Basınç Ölçme Delikli Diyafram Plakalarının Ölçme Deliklerin Yerleri[4].

Yine Şekil 2'de alt kısımda flanşlı basınç ölçme delikleri olan diyafram plakaları için ölçme deliklerinin yerleri verilmiş ve bunlarla ilgili açıklamalar şeklin yanında yapılmıştır.



#### 4. KATSAYILAR

Denklem (8)'deki katsayılar deneysel sonuçların değerlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Bu katsayılardan ilki  $C$  ile ifade edilir ve buna boşaltım katsayısı adı verilir. Diğeri ise  $\varepsilon$  ile ifade edilir ve buna genleşme katsayısı adı verilir. Açıkça görüldüğü gibi; buradaki değerlerin elde edilmesinde birçok değişken bu ifadelerin içerisinde yer almaktadır. Genel olarak  $\beta$  katsayısı,  $Re$  katsayısı ve boyutlarla ilgili bazı büyüklükler ve giriş ve çıkış basınçları da  $\varepsilon$  ifadesinde kullanılmaktadır.

##### 4.1. Boşaltım Katsayısı (C)

Bu katsayı Reader-Harris /Gallagher denklemi[5,6] olarak bilinen ve hesaplamalarda  $\beta$  çap oranı,  $D$  çapına göre hesaplanan  $Re$  sayısı ve diyafram ölçme noktalarına bağlı olarak hesaplanan büyüklükler de kullanılmaktadır. Bu ifade aşağıda verilmiştir.

$$C = 0,5961 + 0,0261 \cdot \beta^2 - 0,261 \cdot \beta^8 + 0,000521 \cdot \left( \frac{10^6 \cdot \beta}{Re_D} \right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063 \cdot A) \cdot \beta^{3,5} \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,3} \\ + (0,043 + 0,080 \cdot e^{-10L_1} - 0,123 \cdot e^{-7L_1}) \cdot (1 - 0,11 \cdot A) \cdot \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,031 \cdot (M_2' - 0,8 \cdot M_2'^{1,1}) \cdot \beta^{1,3} \quad (10)$$

$D < 71,12$  mm olması halinde, aşağıdaki terim (10) denklemine eklenmelidir.

$$+ 0,11 \cdot (0,75 - \beta) \cdot \left( 2,8 - \frac{D}{25,4} \right)$$

Bu eşitliklerde  $\beta = d / D$ ;  $d$  ve  $D$  mm olarak,

$Re_D$ ,  $D$ 'ye göre hesaplanan Reynolds sayısı,

$$L_1 = l_1 / D$$

$$L_2' = l_2' / D$$

$$M_2' = \frac{2 \cdot L_2'}{1 - \beta}$$

$$A = \left( 19000 \cdot \frac{\beta}{Re_D} \right)^{0,8}$$

Bu eşitliklerde kullanılan  $L_1$  ve  $L_2'$  mesafelerinin yukarıda verilen değerlere uygun olması koşuluyla aşağıdaki değerler kullanılır.

- $D$  ve  $D/2$  basınç ölçme delikleri için:  $L_1 = 1$  ve  $L_2' = 0,47$
- Flanşlı basınç ölçme delikleri için:  $L_1 = L_2' = \frac{25,4}{D}$ ;  $D$ (mm)
- Köşe basınç ölçme delikleri için:  $L_1 = L_2' = 0$

#### 4.2. Genleşme Katsayısı ( $\varepsilon$ )

Her üç tipteki diyaframlı basınç ölçme deliği düzenlemesi için, kullanılacak amprik formül Reader-Harris /Gallagher [5,6] tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\varepsilon = 1 - (0,351 + 0,256 \cdot \beta^4 + 0,93 \cdot \beta^8) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \right] \quad (11)$$

(11) nolu denklemlerle yapılacak hesaplamaların sonuçları sadece hava, su buharı ve doğal gaz için belirlenmiştir. İzentropik üs değerleri bilinen diğer gazlar ve buharlar için de uyarlanabilir[4].

### 5. HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Hesaplamalar Reynolds sayısı ile iterasyon yöntemi kullanılarak belirli yaklaşımlarla hazırlanan bir Excel programıyla yapılmıştır. Her üç değişim için kullanılan program aynı olup, sadece diyafram tipine bağlı olarak hesaplanan C katsayısında; basınç ölçme deliklerinin konumları nedeniyle çok az bir fark ortaya çıkmaktadır.

#### 5.1. Gazların Yoğunluk Değişimi

Gazların yoğunluğunun atmosfer basıncında sıcaklığa bağlı olarak değişimi (3) nolu ideal denklemlerle hesaplanabilir. Kitaplarda genel olarak 1 bar ve 15 °C'deki değerler verilir. O zaman ideal gaz denklemleri kullanılarak 1 bar ve 0 °C'deki standart değerler;

$\rho = p / (R \cdot T)$  denkleminde  $p = 101325 \text{ N/m}^2$  ve doğal gaz için  $R = 518 \text{ J/(kg K)}$  seçilerek[3]  $t = 0 \text{ °C}$  için ,

$$\rho_{0dg} = 0,7165 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$

Diğer sıcaklık ve basınçlar için  $\rho$ 'nin değişimi tablolaştırılabilir veya bir grafik ile değişim gösterilebilir.

#### 5.2. Gazların Viskozite Değişimi

Burada Sutherland'ın yasası;

$$\mu_t = \mu_0 \cdot (T / T_0)^{1,5} \cdot (T_0 + S) / (T + S) \quad (12)$$

kullanıldı. Burada doğal gaz için;

$S_{\text{hava}} = 110,4 \text{ K}$  dir.

$T_0 = 273 \text{ K}$ ,  $\mu_0 = 1,268 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$ ,  $T = 273 + t \text{ (K)}$  olarak alınarak  $\mu_t$ 'nin 1 bar basınç ve t sıcaklığındaki viskozite değeri hesaplanabilir. Burada da doğal gazın sıcaklığa göre değişimi tablolaştırılabilir veya grafik şeklinde gösterilebilir. Böylece; elde edilen standart yoğunluk ve viskozite değerleri aşağıda verilen Excel programda kullanılacaktır.

### 5.3. Doğal Gazın Sabit Sıcaklık ve Giriş Basıncında Diyafram Fark Basıncına Bağlı Olarak Debi Değişiminin İncelenmesi

Burada üç ayrı diyafram tipi için hazırlanan program ayrı ayrı uygulanmış ve değişimleri grafik şeklinde verilmiştir. Daha sonra bu programlardan elde edilen katsayıların bir karşılaştırılması yapılmıştır.

#### 5.3.1. D ve D/2 Basınç Ölçme Delikli

Aşağıdaki programda görüldüğü gibi (8) denkleminde kullanılan  $\beta$  için d ve D çapları,  $p_1$  basıncı,  $\Delta p$  basınç farkı, t sıcaklığı,  $\rho_0$  yoğunluğu,  $\mu_0$  dinamik viskozite değeri ve  $\kappa$  izantropik üssü giriş değerleri olarak verilmektedir. Programda önce  $Re$  için tahmini  $Re_{int}$  değeri verilir. Bu değerlerle  $\beta$ ,  $L_1$ ,  $L'_2$ ,  $M'_2$ , A değerleri hesaplanır.  $p_1$  ve  $p_2$ 'nin mutlak değerleri hesaplanarak denklem (10) dan C, ve denklem (11)'den de  $\varepsilon$  katsayıları hesaplanarak denklem (8)'de yerine konulduğunda  $Q_{mg}$  kütleli debisi ve buradan da  $Q_{vg}$  hacimsel debisi hesaplanır.  $\mu_0$ 'a göre hesaplanan  $\mu_t$  ve süreklilik denkleminde hesaplanan  $V_1$  giriş hızı ile  $Re_g$  gerçek Reynolds sayısı bulunur. Eğer bu Reynolds sayısı ilk tahmin edilen  $Re_{int}$  sayısından farklı ise son  $Re_g$  ilk değer kabul edilerek iterasyona devam edilir. Ta ki aradaki fark kabul edilebilir bir büyüklükte olsun. Örnek olarak D ve D/2 basınç ölçme delikli diyaframlı debi ölçme için aşağıdaki gibi bir Excel programı düzenlenmiştir.

$P_{1\_init}$	8000	Pa	
$\Delta P$	1000	Pa	
t	15	°C	
T	288	K	$T = t + 273$
D1	0.150	m	
D2	0.0664	m	
$\rho_0$	0.71651	kg/m <sup>3</sup>	
$\kappa$	1.32	-	
$Re_{\_init}$	5.24E+04	-	
$\mu_0$	1.268E-	kg/m·s	
e	05	-	
$\beta$	2.718282	-	
$\beta$	0.442667	-	$\beta = D2 / D1$
$L_1$	1.00	-	$L_1 = 1$
$L'_2$	0.47	-	$L'_2 = 0.47$
$M'_2$	1.68660	-	$M'_2 = 2 * L'_2 / (1 - \beta)$
$P_1$	109325	Pa	$P_1 = 101325 + P_{1\_init}$
$P_2$	108325	Pa	$P_2 = P_1 - \Delta P$
$\rho_1$	0.732817	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_1 = \rho_0 * (P_1 / 101325) * (273 / T)$
A	0.231566	-	$A = (19000 * \beta / Re)^{0.8}$
C	0.604806	-	$C = 0.5961 + 0.0261 * \beta^2 - 0.261 * \beta^8 + 0.000521 * (10^6 * \beta / Re)^{0.7} + (0.0188 + 0.0063 * A) * \beta^{3.5} * (10^6 / Re)^{0.3} + (0.043 + 0.080 * e^{-10*L_1} - 0.123 * e^{-7*L_1}) * (1 - 0.11 * A) * \beta^4 / (1 - \beta^4) - 0.031 * (M'_2 - 0.8 * M'_2^{1.1}) * \beta^{1.3} + C_1$
$C_1$	0.00000	-	$C_1 = 0.11 * (0.75 - \beta) * (2.8 - D_1 / 0.0254)$

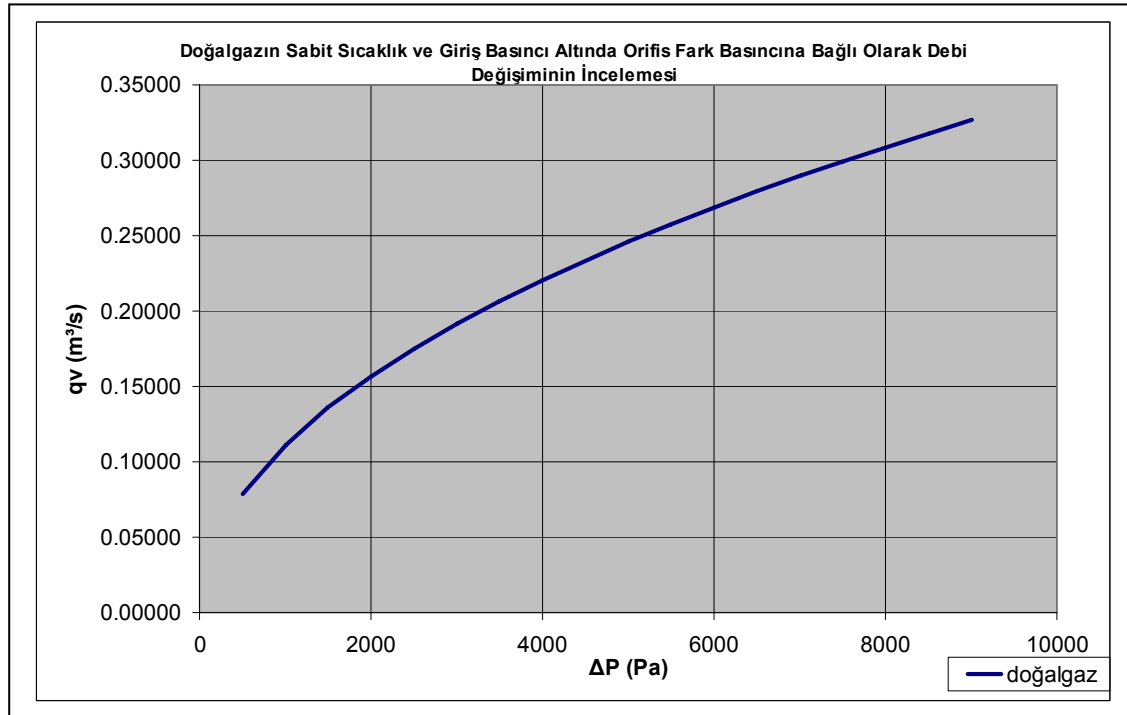


$\varepsilon$	0.997487	$\varepsilon = 1 - (0.351 + 0.256 * \beta^4 + 0.93 * \beta^8) * (1 - (P_2/P_1)^{1/K})$
$A_1$	0.01767 m <sup>2</sup>	$A_1 = \Pi * D_1^2 / 4$
$A_2$	0.00346 m <sup>2</sup>	$A_2 = \Pi * D_2^2 / 4$
$q_m$	0.08156 kg/s	$q_m = C * \varepsilon * A_2 * \sqrt{(2 * \Delta P * \rho_1) / (1 - \beta^4)}$
$q_v$	0.11129 m <sup>3</sup> /s	$q_v = q_m / \rho_1$
S	110.4 K	
$\mu_t$	1.322E-05 kg/m-s	$\mu_t = \mu_0 * (T/273)^{1.5} * (273 + S) / (T + S)$
$V_1$	6.298 m/s	$V_1 = q_v / A_1$
$R_g$	5.24E+04	$R_g = \rho_1 * V_1 * D_1 / \mu_t$

$\Delta p$ 'nin farklı değerleri ile bir tablo oluşturulur. Bu tablo yardımıyla Şekil 4'te gösterilen debinin  $\Delta p$  basınç farkına göre değişimi elde edilir. Şekilden de görüldüğü gibi  $\Delta p$ 'nin küçük değerlerinde eğrinin eğimi daha dik olup yüksek  $\Delta p$ 'lerde sıkışabilirlik nedeniyle eğrinin eğimi azalmaktadır.

**Tablo 1.** D ve D/2 Basınç Ölçme Delikli Diyaframlı Yöntemde Debi Değerlerinin  $\Delta p$ 'ye Göre Değişimi

$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)
500	0.07893	3500	0.20655	6500	0.27922
1000	0.11129	4000	0.22051	7000	0.28938
1500	0.13606	4500	0.23356	7500	0.29915
2000	0.15684	5000	0.24587	8000	0.30856
2500	0.17507	5500	0.25752	8500	0.31765
3000	0.19150	6000	0.26862	9000	0.32643



**Şekil 4.** D ve D/2 Basınç Ölçme Delikli Diyaframlı Yöntemde Debi Değerlerinin  $\Delta p$ 'ye Göre Değişim Grafiği

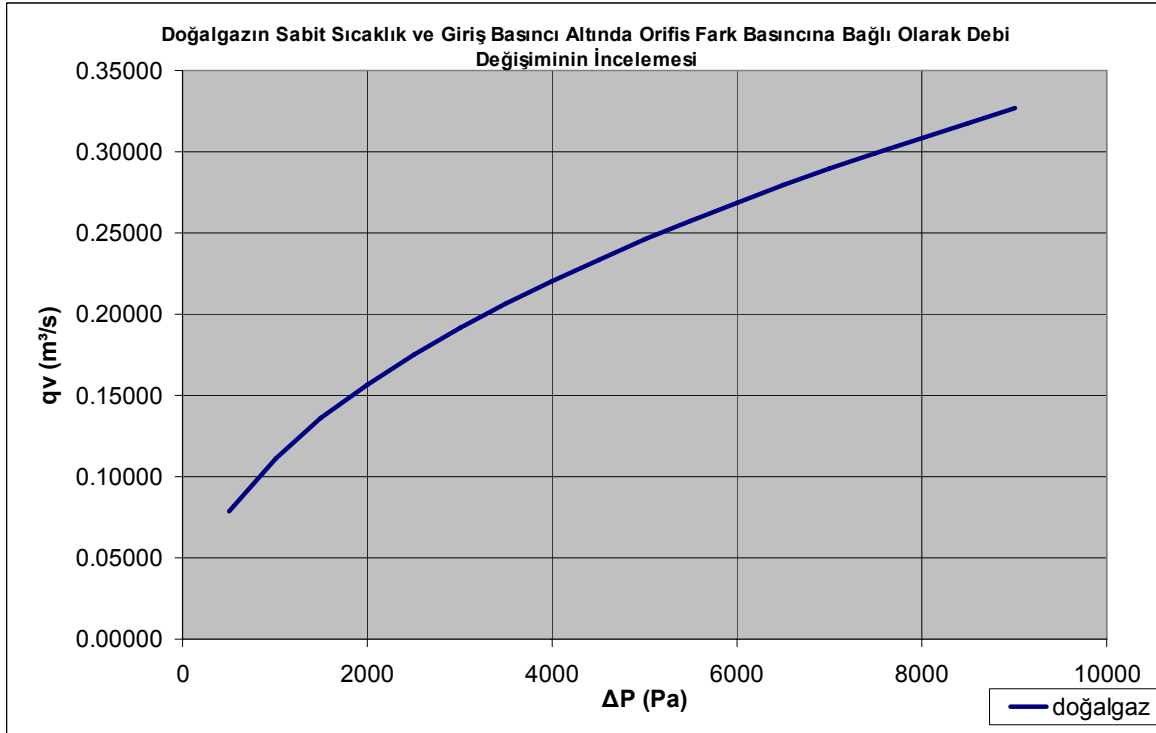
### 5.3.2. Flanşlı Basınç Ölçme Delikli

Yukarıdaki örnek programda flanşlı basınç ölçme delikli tip için hesaplamada diğer değişkenler aynı olmakla birlikte, sadece  $L_1 = L_2 = \frac{25,4}{D}$  olarak alındı. Dolayısıyla  $M_2' = \frac{2 \cdot L_2'}{1 - \beta}$  ifadesinden de farklı bir değer hesaplanacaktır ve bunun sonucu olarak C boşaltım katsayısı da farklı olacaktır.

Programdan elde edilen  $Q_m$  ve  $Q_v$  debi değerleri farklı  $\Delta p$  değerleri için hesaplanıp Tablo 2 oluşturularak Şekil 5'te görüldüğü gibi  $Q_v$ 'nin  $\Delta p$ 'ye göre değişimi elde edilmiştir. Benzer yorumlar Program 1'deki gibi yapılabilir.

**Tablo 2.** Flanşlı Basınç Ölçme Delikli Diyaframlı Yöntemde Debi Değerlerinin  $\Delta p$ 'ye Göre Değişimi

$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)
500	<b>0.07898</b>	3500	<b>0.20668</b>	6500	<b>0.27940</b>
1000	<b>0.11138</b>	4000	<b>0.22065</b>	7000	<b>0.28957</b>
1500	<b>0.13615</b>	4500	<b>0.23371</b>	7500	<b>0.29934</b>
2000	<b>0.15694</b>	5000	<b>0.24602</b>	8000	<b>0.30876</b>
2500	<b>0.17519</b>	5500	<b>0.25769</b>	8500	<b>0.31785</b>
3000	<b>0.19163</b>	6000	<b>0.26879</b>	9000	<b>0.32664</b>



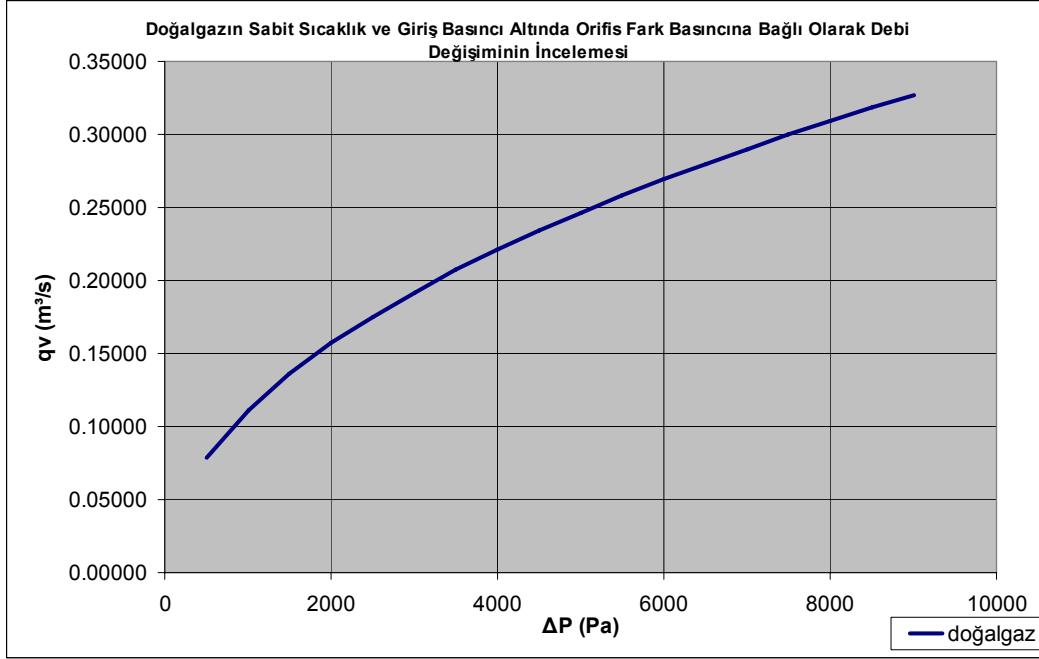
**Şekil 5.** Flanşlı Basınç Ölçme Delikli Diyaframlı Yöntemde Debi Değerlerinin  $\Delta p$ 'ye Göre Değişim Grafiği

### 5.3.3. Köşe Basınç Ölçme Delikleri

Burada  $L_1 = L_2 = 0$  dir. Dolayısıyla  $M_2' = 0$  olacaktır ve bunun sonucu olarak hesaplanan C boşaltım katsayısı da farklı olacaktır. Bundan önceki programlarda olduğu gibi aynı hesap yöntemi izlenmiş olup sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Benzer yorumlar burada aynı şekilde yapılabilir.

**Tablo 3.** Köşe Basınç Ölçme Delikli Diyaframlı Yöntemde Debi Değerlerinin  $\Delta p$ 'ye Göre Değişimi

$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)
500	<b>0.07909</b>	3500	<b>0.20695</b>	6500	<b>0.27976</b>
1000	<b>0.11153</b>	4000	<b>0.22093</b>	7000	<b>0.28994</b>
1500	<b>0.13632</b>	4500	<b>0.23401</b>	7500	<b>0.29972</b>
2000	<b>0.15714</b>	5000	<b>0.24634</b>	8000	<b>0.30915</b>
2500	<b>0.17541</b>	5500	<b>0.25802</b>	8500	<b>0.31825</b>
3000	<b>0.19187</b>	6000	<b>0.26913</b>	9000	<b>0.32706</b>

**Şekil 6.** Köşe Basınç Ölçme Delikli Diyaframlı Yöntemde Debi Değerlerinin  $\Delta p$ 'ye Göre Değişim Grafiği

#### 5.4. Katsayıların Karşılaştırılması

Ölçme delikleri farklı olan üç ayrı diyafram düzeneğinde hesaplanan  $C$ ,  $\varepsilon$  katsayıları ve  $\beta$  ile ilgili terimin çarpımından oluşan katsayı gerçek debiyi belirlemede kullanılan faktörlerdir. Bu katsayıların çarpımından oluşan ve  $K_D$  ile ifade edilebilen büyüklük;

$$K_D = 1/\sqrt{1-\beta^4} \cdot C \cdot \varepsilon \quad (13)$$

Şeklinde ifade edilir. Bu ifadenin farklı üç diyafram tipi için, aynı geometrik ölçülere, aynı akış sıcaklığına, aynı giriş basıncına ve aynı  $\Delta p$  basınç farkına sahip akışlar için örnek bir karşılaştırılma Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Doğalgaz İçin Katsayıların Karşılaştırılması

D= 150 mm, d= 66,4 mm, $p_1= 8000$ Pa, $\Delta p= 1000$ Pa, $t= 15$ °C, $\kappa = 1,32$					
Diyafram tipi	$\beta$	$1/\sqrt{1-\beta^4}$	C	$\varepsilon$	$K_D$
D ve D/2 basınç ölçme delikli	0,442667	1,01977	0,604806	0,997487	0,61521
Flanşlı basınç ölçme delikli	0,442667	1,01977	0,605205	0,997487	0,61562
Köşe basınç ölçme delikli	0,442667	1,01977	0,605979	0,997487	0,61641

Tablo 4'te görüldüğü gibi  $K_D$  katsayısının her farklı üç delikli ölçme düzeneği ve bu değerlerde de yüzde olarak 0,00066 ile 0,0013 gibi bir farklılık olduğu görülmüştür. Bu mertebeden farklılığın fazla olmadığı ve kısaca teorik debi değerinin 0,61 civarında bir katsayı ile çarpılarak gerçek değerinin elde edilebileceği görülmektedir. Dolayısıyla burada bu elde edilen karşılaştırmanın sadece yukarıda belirlenen akış koşulları ve geometrik boyutlar için geçerli olduğu göz ardı edilmemelidir.

## 6. SONUÇ

Ülkemizde; konutların ısıtılmasında, endüstride ve elektrik enerjisi üretiminde büyük çapta doğalgaza bağımlı hale gelmiştir. Birçok kişi doğalgaz faturalandırılmasının nasıl yapıldığını hala bilmemektedir. İlgili doğalgaz şirketleri şu anda konutlarda ve sanayide doğalgaz sayaç okumalarını belirli bir katsayı ile çarparak faturalandırmaktadırlar.

Ticari olarak kullanılan basınçölçerlerde; sıcaklık ve basınç değişimlerine duyarlı düzelticiler kullanılmadığı için bu basit ve doğru olmayan düzeltme katsayıları ile okunan değerler çarpılarak, sarf edilen miktarlar belirlenmektedir. Bu da kanaatimizce yanlış bir uygulamadır. Yeni nesil debi ölçerler bu doğrultuda düzelticilerle donatılarak üretilmelidir. Günümüzde elektronik donanımlı debi ölçerler ise bu tür özelliklere sahiptir fakat piyasada çok yüksek fiyatlarla satılmaktadır.

Bu çalışmada özellikle endüstride kullanılan doğalgazın; diyaframli debi ölçerlerle nasıl hesaplandığı incelenmiştir. Hesaplardan da görüldüğü gibi teorik ölçmelere esas olan gerçek debi hesaplamalarında boşaltım ve genleşme katsayıları hesaplanmış ve bunların çarpımından oluşan katsayı 0,61 civarlarında olduğu tespit edilmiştir. Formülden de görüldüğü gibi burada esas etken faktörün basınçölçerde oluşan  $\Delta p$  basınç farkı olduğu görülmektedir. Doğalgaz şirketlerinin konutlar için tahakkuk ettirdikleri %25-30 civarındaki fazla fatura değerinin mantıklı bir açıklamasını yapmaları gerekir. Konutlarda 300 mbar'lık sayaçlarda okunan değere %27'ye varan bu katsayı uygulaması 1000 mbar'lık sanayi tipi sayaçlarda %100'lere çıkmaktadır.

Burada uyguladığımız programın kullanımı son derece basit olup %98'i metan gazı olan doğalgaz ele alınmış ve ona ait fiziksel özellikler kullanılmıştır. Farklı oranda gaz karışımları için aynı program; standart giriş değerleri verilerek kolayca uygulanabilir. Bildirinin esas konusu olmadığı için burada bahsetmediğimiz hava için de benzer hesaplar yapılmış fakat bildiri kapsamına alınmamıştır.

Program son derece esnek olup eğer debi değerlerinin,  $d$  diyafram delik çapına göre değişimini göstermek istersek; bu durumda  $d$ 'nin farklı değerleri için elde edeceğimiz debi değerleri ile oluşturulacak bir Tablo ile bu değişim bir grafik üzerinde kolayca gösterilebilir. Buna göre belirli bir debi değişimi için  $d$  diyafram delik çapı kolayca belirlenebilir.

Programda kullanılan katsayılarla ilgili ifadeler TS-EN ISO5167-2(Nisan 2006)' dan alınmıştır[4]. Genceli'nin kitabında DIN 1952 (Ausgabe 7.82/ISO 5167)[1]'deki katsayılar ile yapılan hesaplamalarla da benzer sonuçlar elde edilmektedir.

## SEMBOLLER

$A$	: Alan( $m^2$ )
$C$	: Boşaltma katsayısı
$C_1$	: Boşaltma katsayısı düzeltme katsayısı
$c_p$	: Sabit basınçtaki özgül ısı( $kJ/m^3K$ )
$c_v$	: Sabit hacimdeki özgül ısı( $kJ/m^3K$ )
$d$	: Diyafram delik çapı(mm)
$D$	: Boru çapı(mm)
$\beta$	: $d/D$ çap oranı
$\varepsilon$	: Genleşme katsayısı
$g$	: Yerçekimi ivmesi( $m/s^2$ )
$i$	: Entalpi( $kJ/m^3$ )

$K$	: İzzantropik üs
$l$	: Ölçme deliklerinin yeri(mm)
$L_1$	: $l_1 / D$
$L'_2$	: $l'_2 / D$
$p$	: Basınç(Pa, Bar)
$Q_m, q_m$	: Kütleli debi(kg/s)
$Q_v, q_v$	: Hacimsel debi(m <sup>3</sup> /s)
$R$	: Gaz sabiti(J/kg K)
$Re$	: Reynolds sayısı
$Re_{int}$	: Programa girişte başlangıç Reynolds sayısı
$t, T$	: Sıcaklık(°C, K)
$\rho$	: Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> )
$V$	: Hız(m/s)
$z$	: Yükseklik(m)
$\mu$	: Dinamik vizkozite(kg/ms)

## İNDİSLER

$1$	: Giriş değerleri
$2$	: Çıkış değerleri
$0$	: 0 °C ve 1 bar'daki değerler
$t$	: t sıcaklığındaki değerler
$mt$	: Teorik kütleli
$mg$	: Gerçek kütleli
$vg$	: Gerçek hacimsel

## KAYNAKLAR

- [1] GENCELİ, O.F., "Ölçme Tekniği (Boyut, basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri)", 2. Baskı, Birsen Yayınevi, 1998.
- [2] CROWE, C.T., ELGER, D.F., ROBERSON, J.A., "Engineering Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, Inc., 7. Basım, 2001.
- [3] WHITE, F.,(KIRKKÖPRÜ, K., AYDER, E.) "Akışkanlar Mekaniği", Literatür Yayıncılık, 4. Basımın Tercümesi, 2004.
- [4] TS EN ISO 5167-2, "Borularda Akışkan Akışının Ölçülmesi - Sıvılar İçin - Dolu Akan daire Kesitli Borular İçerisine Yerleştirilen Basınç Farkı Ölçerleri İle - Bölüm2: Orifis Plakaları", Nisan 2006.
- [5] READER-HARRIS, M.J., SATTARY, J.A., "The orifice plate discharge coefficient equation- the equation for ISO 5167-1", In Proc. Of 14. North Sea Flow Measurement Workshop, p.24, Peebles, Scotland, East Kilbride, Glasgow, National Engineering Laboratory, October 1996.
- [6] READER-HARRIS, M.J., "The equation for the expansibility factor for orifice plates" In Proc. Of FLOMEKO 98, pp. 209-214, Lund, Sweden, June 1998.

## ÖZGEÇMİŞ

### Mehmet ATILGAN

1942 yılında Milas'ın Bafa köyünde doğdu. İlkokulu Bafa'da, Ortaokulu Milas'ta, liseyi İzmir Atatürk Lisesinde bitirdi. İ.T.Ü Makina Fakültesi'nden 1964 yılında Makina Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Doktora çalışmasını 1976'da İngiltere'de Newcastle Üniversitesi'nde tamamladı. 1982'de K.T.Ü Makina Mühendisliği Bölümü'ne yardımcı doçent olarak atandı. Kasım 1982'de doçentlik ünvanı aldı. 1983'de doçent olarak Makina Mühendisliği Bölümüne atandı. 25 Ocak 1990'da D.E.Ü Denizli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Enerji Anabilim Dalına Profesör olarak atandı. 1991-1992 tarihleri arasında Dekan Yardımcılığı ve İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevlerini yürüttü.

01.01.1993 - 18.08.1993 tarihleri arasında PAÜ Rektörlüğü Genel Sekreter Vekilliği, 1 Ocak 1993 - 25 Haziran 1995 tarihleri arasında PAÜ Rektör Yardımcılığı, 22.11 1996-22.11.2002 tarihleri arasında PAÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 1993-2004 yılları arasında ÖSYM İl Sınav Yöneticiliği ve Açık Öğretim Fakültesi (AÖF) İl Sınav Koordinatörlüğü görevlerini yürüttü. 25.01.1996 tarihinden bu yana Makina Mühendisleri Odası Denizli Şubesi Yönetim Kurulu üyesidir ve 2000-2008 yılları arasında Şube Yönetim Kurulu Başkanlığı yaptı. 1990 yılında Denizli Rotary Kulübü'ne üye olmuş ve 2002-2003 döneminde de Kulüp Başkanlığı yapmıştır. 2005 yılında emekli olmuştur. Evli ve iki çocuk babasıdır.

### **İsmail Hakkı GERELİOĞLU**

1947 yılında Denizli'de doğdu. İlk ve ortaokulu Denizli'de ve Lise eğitimini Robert Koleji'nde tamamladı. 1970 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Akademisi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında PAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesini aldı. 1970-1972 yıllarında Karayolları Kastamonu Bölgesi'nde çalıştı. 1972-1974 yıllarında Konya'da 2. Ordu Komutanlığı'nda askerlik hizmetini tamamladı. 1974-1979 yıllarında İstanbul TERMA A.Ş.'nin temsilcisi olarak Denizli ve Uşak'ta tekstil fabrikaları komple teknolojik tesisat ve tekstil kliması şantiye şefliği yaptı. GERMAK Mühendislik, ISIGER Mühendislik Ltd. ve GERMETAL San. Ltd. firmalarının kurucu ortağıdır. ISIGER Mühendislik Ltd.; mekanik tesisat, LPG ve endüstriyel doğalgaz yüklenim ve yakma sistemleri konularıyla uğraşmaktadır. 1982-1990 yılları arasında TMMMOB Makine Mühendisleri Odası Denizli İl Temsilciliği görevini yürütmüştür. Evli ve iki çocuk babasıdır.

### **Süleyman ATILGAN**

1969 yılında Milas'ta doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 1991 yılında ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1991-1994 yıllarında Türkiye İş Bankası Ankara Bilgi İşlem Merkezinde yazılım uzmanı olarak çalıştı. 1994-1995 yıllarında Kara Kuvvetleri Komutanlığı Tayin Daire Başkanlığı'nda askerlik hizmetini tamamladı. 1995-1996 yıllarında İzmir'de Ali İhsan Çalış Mühendislik bürosunda Çok Katlı Çelik ve Betonarme yapıların projelendirilmesinde Statiker Mühendis olarak, 1996-1997 yıllarında APRE İnşaat A.Ş.'de, 1997 yılında Çeşme Sheraton Oteli inşaatında Kontrol Mühendisi, 1997-1998 yıllarında FEKA İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.'de Bursa Kombine Doğalgaz çevrim santrali inşaatında içişleri şefi sorumlusu, 1998-2005 yıllarında KURYAP İnşaat, Dekorasyon Ltd. Şti.'nde İnşaat Koordinatörü, ihale hazırlama ve proje müdürü olarak görev yapmıştır. 2005 yılından bu yana BETOYA PREFABRİK A.Ş.'de Proje ve Pazarlama Müdürü olarak çalışmaktadır. Visual FoxPro, Dbase, Fortran, Basic, Autolisp program dillerinde uzmanlığı bulunmaktadır. Evli ve iki çocuk sahibidir.

### **Öner ATALAY**

1980 yılında Adana'da doğdu. İlkokulu Antalya'nın Manavgat ilçesinde, ortaokul ve lise öğrenimini Alanya ilçesinde tamamladı. 1997 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Lisans eğitimini 2001 yılında tamamlayarak aynı yıl Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2002 yılında aynı üniversitede Makine Mühendisliği Enerji Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2004 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2004 yılında doktora eğitimine başlamıştır. Halen aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak devam etmektedir.