

# ORİFİS İLE DEBİ ÖLÇÜLMESİNDE GÜVENİLİRLİK VE HASSASİYETİN TERMODİNAMİK DEĞERLENDİRMESİ

Ahmet CAN

## ÖZET

Proses kontrolü amacıyla debi ölçülmesinde, çoğunlukla tercih edilen yöntem orifis ile debi ölçülmesidir. Bunun sebepleri, bu güne kadarki pratik uygulamalarda kazanılmış zengin deneyimler ve en küçük değerlerden en büyük değerlere, yaklaşık 1500 m<sup>3</sup>/h değerine kadar, yöntemin geniş ölçme değerleri aralığında yaygın olarak kullanılmasıdır.

Orifis ile debi ölçülmesi, ne hacimsel debiyi ne de kütleli debiyi doğrudan belirleme olanağı vermez. Doğrudan ölçülen, orifis olarak adlandırılan akış engelini oluşturduğu basınç farkıdır. Gerek, debisi ölçülen akışkanın hareketinden gerekse, akışla ilgili diğer özelliklerden bir dizi tersinmezlik oluşmaktadır. Teorik esasların kısaca tanıtımından sonra,  $\alpha$  debi sayısı ve  $\varepsilon$  genişleme faktörü için termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kullanılarak etkileşim bağıntıları tespit edilmiştir.

Genelde maksimum debinin üçte iki debi değerine göre belirlenmiş  $\alpha$  ve  $\varepsilon$  katsayıları kullanılmaktadır. Bu çalışmada tanıtılmış orijinal bir yaklaşımda ise termodinamik yasalarına uygun  $\alpha$  ve  $\varepsilon$  katsayıları tespit edilmiştir. Klasik yöntem ve orijinal yaklaşım yöntemine göre bulunmuş debi değerleri karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçların teorik sonuçlarla uyumu hata analizi ile ortaya konmuştur.

## 1. TEORİK PRENSİPLER

Orifis yöntemiyle debi ölçülmesinin temel prensiplerini iki fiziksel yasa oluşturur. Bu fiziksel yasalardan biri, termodinamiğin birinci yasasına göre tanımlanan akışın enerji bağıntısıdır. Diğeri ise süreklilik denklemidir.

Bu iki bağıntı kullanılmasıyla termodinamiğin ikinci yasasına göre çıkarılan tersinmez ve sıkıştırılabilir akışkan akışı için kütleli debi denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\dot{m}_{c,irrev} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot n \cdot A_c \sqrt{2 \cdot \Delta P_o \cdot \rho_{1,b}} \quad (1)$$

Denklemdaki sembollerin anlamları:

$\alpha$  debi sayısı; tersinmez basınç kayıpları, hız profili, basınç ölçüm yerlerinin etkisi ve akış kontraksiyonu gibi etkilerden oluşmaktadır.

$\varepsilon$  genişleme sayısı; akışın sıkıştırılabilirliği etkisine göre oluşur.

$n = A_o / A_k$  orifis kesitinin kanal kesitine oranıdır.

$A_k$  kanal kesiti

$\Delta P_o$  efektif basınç: orifisin önündeki basınç ile arkasındaki basınç arasındaki farktır, tesir basıncı olarak adlandırılır.

$\rho_{1,b}$  çalışma şartlarındaki akışkan yoğunluğudur.

Özellikle gazlarda yoğunluk, basınç ve basınç dalgalanmaları, sıcaklık, gaz sabiti, gerçek gaz sabiti ile nem oranı değerleri önemlidir ve orifis ile gazların akışının ölçülmesinde bunların her biri göz önüne alınmalıdır.

## 2. TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ VE İKİNCİ YASASINA GÖRE $\alpha$ DEBİ SAYISI VE $\varepsilon$ GENLEŞME SAYISI DENKLEMLERİ

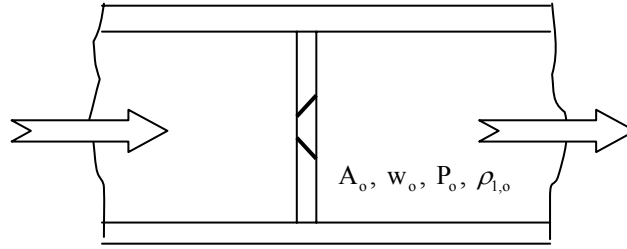
Tersinir ve sıkıştırılabilir akışkan akımının kütsel debisi belirlenebilir. Debi sayısı sıkıştırılabilirlik ile sıkıştırılmazlık arasında ve genleşme sayısı tersinmezlik ve tersinirlik arasında düşünülerek aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\dot{m}_{c,irrev} = \alpha \cdot \dot{m}_{inc,irrev} \quad (2)$$

$$\dot{m}_{inc,irrev} = \varepsilon \cdot \dot{m}_{inc,rev} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{inc,irrev} = w_{o,rev} \cdot A_o \cdot \rho \quad (4)$$

Bu gözlem için orifisin içinde bulunduğu akış borusu bölümü Şekil 1 ile şematik verilmiştir.



Şekil 1. Orifis ile boru bölümü

$w_{o,rev}$  orifisteki akış hızı Bernoulli denklemi ile belirlenmiştir. Bernoulli denklemi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre ve aşağıdaki kabullerle belirlenmiştir:

1. sıkıştırılmaz akışkan ( $\rho$  sabit).
2. izentropik akış ( $s$  sabit ve  $q = 0$ ).
3. herhangi bir teknik iş üretimi yoktur.
4. kinetik enerji ve entalpi dışındaki tüm enerjiler sabittir.

Termodinamiğin birinci yasası, aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir:

$$q = \Delta h + L_{tec} + \Delta E_{kin} + \Delta E_{pot} + \dots \quad (5)$$

Üçüncü ve dördüncü terimler kullanılarak, (5) eşitliği farklı şekilde yazılabilir.

$$0 = dh + dE_{kin} = dh + w \cdot dw \quad (6)$$

Termodinamiğin ikinci yasası kullanılarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$T \cdot ds = du + p \cdot dv = dh - v \cdot dp = 0 \quad (7)$$

Eşitlik (6) ve eşitlik (7) birleştirilerek, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$v.dp + w.dw = 0 \quad (8)$$

Bu sebeple, (8) denkleminin kanal ve orifis kesiti göz önüne alınarak integrasyonundan, yatay konumlu akış borusu için bilinen Bernoulli denklemi elde edilir.

$$\frac{P_c}{\rho} + \frac{w_c^2}{2} = \frac{P_o}{\rho} + \frac{w_o^2}{2} \quad (9)$$

Süreklilik denklemine göre aşağıdaki (10) eşitliği yazılabilir.

$$A_o \cdot w_o \cdot \rho = A_c \cdot w_c \cdot \rho \quad (10)$$

Eşitliğin formu değiştirilerek, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$w_c = \frac{A_o}{A_c} w_o = n w_o \quad (11)$$

(9) eşitliğinin ve (11) eşitliğinin kullanılmasıyla, sıkıştırılabilir ve tersinir akış hızı  $w_{o,rev}$  yazılabilir.

$$w_{o,rev} = \frac{1}{\sqrt{1-n^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_c - p_o)} \quad (12)$$

Buradan, sıkıştırılmaz ve tersinir bir akış için kütleli debi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\dot{m}_{inc,rev} = w_{o,rev} \cdot A_o \cdot \rho = \frac{A_o}{\sqrt{1-n^2}} \sqrt{2 \rho (p_c - p_o)} \quad (13)$$

Orifisteki gerçek akış kesiti kontraksiyon göz önüne alınarak yazılmalıdır.

$$A = \mu \cdot A_o \quad (14)$$

Bunun yanında, orifisteki tersinmez akış hızı için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$w_{o,irrev} = \xi \cdot w_{o,rev} \quad (15)$$

(2) eşitliği ve (15) eşitliği kullanılarak, (1) eşitliğinden aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\dot{m}_{inc,irrev} = \frac{\xi \cdot \mu \cdot A_o}{\sqrt{1-\mu^2 n^2}} \sqrt{2 \cdot \rho (p_c - p_o)} \quad (16)$$

$\mu$  kontraksiyon faktörü ve  $\xi$  tersinmezlik faktörü,  $\alpha$  debi sayısı içine dahil edilir. Bu açıklamadan aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\dot{m}_{inc,irrev} = \alpha \cdot \dot{m}_{inc,rev} \quad (17)$$

$$\dot{m}_{inc,irrev} = \xi \cdot \mu \frac{\sqrt{1-n^2}}{\sqrt{1-\mu^2 n^2}} \frac{A_o}{\sqrt{1-n^2}} \sqrt{2 \cdot \rho (P_c - P_o)} \quad (18)$$

$$\dot{m}_{inc,irrev} = \dot{m}_{inc,irrev} = \alpha \frac{A_o}{\sqrt{1-n^2}} \sqrt{2 \cdot \rho (P_c - P_o)} \quad (19)$$

(13) eşitliğinden ve (19) eşitliğinden aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\alpha = \xi \cdot \mu \frac{\sqrt{1-n^2}}{\sqrt{1-\mu^2 n^2}} \leq 1 \quad (20)$$

Sıkıştırılabilir ve tersinmez akışın kütleli debisi,  $\varepsilon$  genişleme sayısından belirlenebilir. Buna göre aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\dot{m}_{c,irrev} = \alpha_c \cdot \dot{m}_{c,rev} \quad (21)$$

Sıkıştırılabilir akışkanların basınç enerjisi değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$d(P \cdot v) = v \cdot dP + P \cdot dv \quad (22)$$

(22) eşitliğinin sağındaki birinci terim değişik biçimde tanımlanabilir.

$$v \cdot dP = \frac{dP}{\rho} \quad (23)$$

(22) eşitliğinin sağındaki ikinci bölüm ise aşağıda tanımlandığı gibi termodinamiğin birinci yasasına göre  $u$  iç enerjisi ve  $dq$  ısı alışverişi diferansiyeli ile ilgilidir.

$$dq = du + P \cdot dv \quad (24)$$

Birinci yasadın ve izentropik akış kabulüyle ve kinetik enerji dışındaki tüm enerjileri ve entalpiyi sabit kabul ederek aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$c_p \cdot dT + w \cdot dw = 0 \quad (25)$$

$c_p$  sabit kabul durumunda (25) eşitliğine gerekli matematik işlem uygulanabilir.

$$c_p (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} (w_2^2 - w_1^2) = 0 \quad (26)$$

Bilinmeyen  $T_2$  sıcaklığı, izentropik durum değişimi kullanılarak belirlenebilir.

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \quad (27)$$

(26) eşitliği, (27) eşitliği kullanılarak tekrar yazılabilir, (28) eşitliği elde edilir.

$$c_p \cdot T_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} - 1 \right] + \frac{1}{2} (w_2^2 - w_1^2) \quad (28)$$

Mükemmel gaz hal denkleminde  $c_p \cdot T_1$  çarpımı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$c_p \cdot T_1 = c_p \frac{P_1}{\rho_1} \frac{1}{R} = \frac{P_1}{\rho_1} \frac{x}{x-1} \quad (29)$$

$w_1$  akış hızı için süreklilik denkleminde (30) ifadesi elde edilir.

$$w_1 = n \cdot w_2 \frac{\rho_2}{\rho_1} = n \cdot w_2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{x}} \quad (30)$$

(30) eşitliği kullanılarak, orifisteki sıkıştırılabilir akışkan akış hızı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$w_{o,c,rev} = \frac{1}{\sqrt{1 - n^2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{x}}}} \sqrt{2 \frac{P_1}{\rho_1} \frac{x}{x-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right]} \quad (31)$$

Burada (31) eşitliği kullanılarak tersinir ve sıkıştırılabilir akış durumundaki kütleli debi ifadesi yazılabilir.

$$\dot{m}_{c,rec} = A \cdot w_{2,c,rev} \cdot \rho \quad (32)_a$$

$$\dot{m}_{c,rev} = A \frac{\rho_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{x}}}{\sqrt{1 - n^2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{x}}}} \sqrt{2 \frac{P_1}{\rho_1} \frac{x}{x-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right]} \quad (32)_b$$

(14) eşitliği ve (15) eşitliği de göz önüne alınarak, tersinir ve sıkıştırılabilir durum için kütleli debi için (33) ifadesi yazılabilir.

$$\dot{m}_{c,rev} = A_o \frac{\xi_c \cdot \mu_c \cdot \rho_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{x}}}{\sqrt{1 - n^2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{x}}}} \sqrt{2 \frac{P_1}{\rho_1} \frac{x}{x-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right]} \quad (33)$$

Bundan sonra  $\alpha_c$  için (34) eşitliği elde edilir.

$$\alpha_c = \xi_c \cdot \mu_c \frac{\sqrt{1 - n^2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{x}}}}{\sqrt{1 - \mu_c^2 n^2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{x}}}} \quad (34)$$

Sonuç olarak, tersinir ve sıkıştırılabilir akış durumu için kütleli debi ifadesi, (33) ile (34) eşitlikleri birleştirilerek elde edilir.

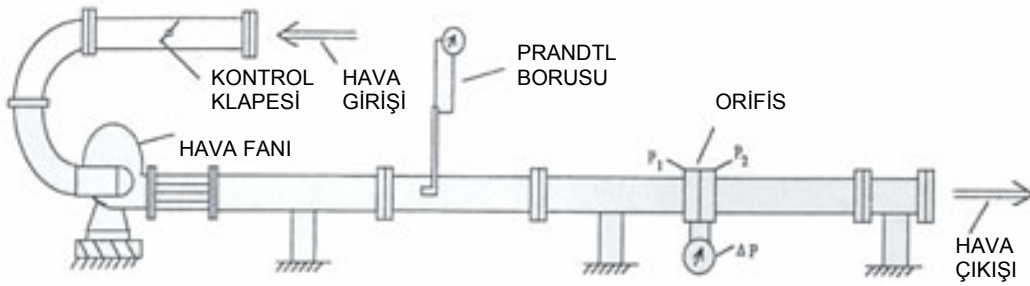
$$\dot{m}_{c,irrev} = \alpha_c \cdot \dot{m}_{c,rev} \quad (35)$$

Bu sonuca göre orifis ile debi ölçülmesinde, sıkıştırılabilirliğin etkisi teorik formda hesaplanmıştır. Bu etki, uluslar arası ve ulusal standartlardaki  $\varepsilon$  genişleme sayısı şeklinde tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, hem sıkıştırılabilirlik, hem de tersinmezlik durumunun varlığında geçerli olan  $\varepsilon$  genişleme sayısı için denklem elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{\alpha_c}{\alpha} \sqrt{\frac{1-n^2}{1-n^2 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{x}}}} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{x}} \sqrt{\frac{P_1 \frac{x}{x-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{x-1}{x}}\right]}{(P_2 - P_1)}}} \quad (36)$$

### 3. ANALİTİK VE DENEYSEL UYGULAMALAR

Deneyel uygulamalar kullanılan deney tesisatı Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Orifis ve Prandtl Borusu yardımıyla debi ölçülmesi için deney tesisatı.

Tesisat ölçüleri:

Kanal çapı  $D_c = 96$  mm,

DIN 1952 Normuna uygun orifis tipi,

Orifis çapı  $D_o = 74,5$  mm

$$\text{Orifis kesit oranı } n = \frac{A_o}{A_c} = \frac{D_o^2}{D_c^2} = 0,602$$

Ölçüm protokolü

Laboratuar havasının termodinamik özellikleri:

Basınç  $P = 1020$  mbar,

Sıcaklık  $T = 27$  °C,

Yoğunluk  $\rho_{1,b} = 1,18$  kg/m<sup>3</sup>,

Kinematik viskozite  $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,

İzentropik üs  $\kappa = 1,41$ .

Kanaldaki hava akışı, 2880 dev/dak ile dönen hava fanı kullanılarak sağlanmıştır.

**Tablo 1.** Ölçme Protokolü

Kontrol Klapesi Açısı ( $\alpha^\circ$ )	Orifis Önündeki Basınç $P_1$ Pa	Orifis Arkasındaki Basınç $P_2$ Pa	Orifisteki Effektif Basınç $\Delta P$ Pa	Ortalama Dinamik Basınç Pa	Basınç oranı $Y = P_2 / P_1$	Kütleli Debi $\dot{m}_{\text{orifis}}$ kg/s
90,0	102019,6	101980,3	39,24	8,34	0,9996	0,031
82,5	102029,4	101970,5	58,86	11,02	0,9994	0,038
75,0	102039,2	101960,7	78,58	14,20	0,9992	0,044
67,5	102058,8	101941,1	117,12	25,02	0,9988	0,054
60,0	102117,7	101882,2	235,44	45,30	0,9976	0,076
52,5	102156,9	101833,2	323,73	66,71	0,9968	0,090
45,0	102235,4	101744,9	490,50	107,51	0,9950	0,111
37,5	102304,1	101676,2	627,84	125,07	0,9938	0,125
30,0	102343,3	101637,0	706,32	141,66	0,9930	0,133
22,5	102382,8	101578,1	804,72	159,43	0,9920	0,142
15,0	102412,0	101558,5	853,47	175,10	0,9916	0,146
07,5	102441,4	101528,9	922,52	182,71	0,9900	0,152

Kütleli debinin orifiste ölçülen tesir basıncı üzerinden belirlenmesinde,  $\alpha$  debi sayısının ve  $\epsilon$  genişleme sayısının klasik olarak belirlenmesi:

Bu tür belirleme için, ölçülecek maksimum debinin 2/3'si dikkate alınarak akış hızı, buna bağlı Re sayısı tespit edilir.

$$\frac{2}{3} \dot{m}_{\text{max}} = \frac{2}{3} 0,165 = 0,111 \text{ kg/s}$$

[3] içinde verilmiş tablodan  $\epsilon = 0,9954$  ,  $\alpha = 0,7518$  değerleri okunmuştur.

**Tablo 2.** Prandtl borusu ile ölçülen ortalama dinamik basınçtan hesaplanan kütleli debi değerleri

Kontrol Klapesi Açısı ( $x^\circ$ )	Ortalama Dinamik Basınç Pa	Ortalama Velocity $W_{Pr}$ m/s	Kütleli Debi $\dot{m}_{orifis}$ kg/s
90,0	8,34	3,754	0,031
82,5	11,02	4,332	0,037
75,0	14,20	4,906	0,042
67,5	25,02	6,511	0,056
60,0	45,30	8,762	0,075
52,5	66,71	10,633	0,091
45,0	107,51	13,531	0,113
37,5	125,07	14,560	0,125
30,0	141,66	15,495	0,132
22,5	159,43	16,386	0,139
15,0	175,10	17,227	0,147
07,5	182,71	18,271	0,150

$\xi_c \cdot \mu_c$  çarpımının belirlenmesi:

$$\dot{m}_{max} = 0,165 \text{ kg/s} \quad (\beta = 0^\circ)$$

$$2/3 \dot{m}_{max} = 0,111 \text{ kg/s}$$

(33) denklemini kullanılarak hesaplamalar yapılabilir.

$$0,111 = 4,36 \cdot 10^{-3} \frac{\xi_c \cdot \mu_c \cdot 1,18 (0,995)^{\frac{1}{1,4}}}{\sqrt{1 - 0,602^2 (0,995)^{\frac{2}{1,4}}}} \sqrt{7 \cdot \frac{102235}{1,18} \left[ 1 - (0,995)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right]}$$

$$\xi_c \cdot \mu_c = 0,5925$$

$\mu_c = 0,70$  önerilerek, çarpım değerinden,

$$\xi_c = 0,847 \text{ hesaplanır.}$$

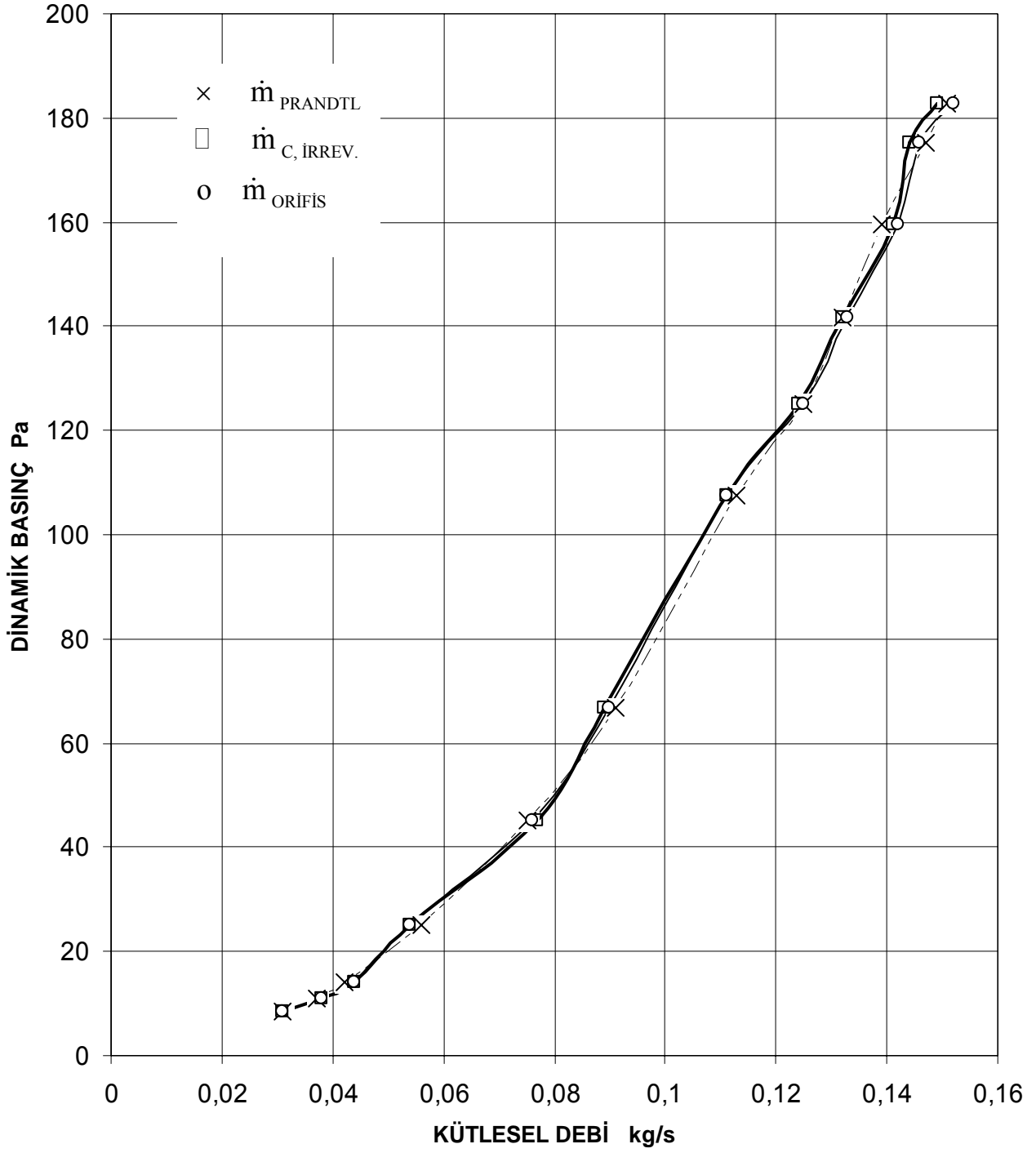
Bulunmuş bu değerler kullanılarak, Tablo 3'teki değerler tespit edilmiş ve topluca karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



**Tablo 3.** Termodinamiğin Birinci ve İkinci Yasalarına göre belirlenmiş kütleli debi değerlerinin diğer yöntemleri temel alarak belirlenmiş kütleli debi değerleri ile karşılaştırılması

Kontrol Klapesi Açısı ( $\alpha^\circ$ )	Kütleli Debi $\dot{m}_{Prandtl}$ kg/s	Kütleli Debi $\dot{m}_{c,irrev}$ kg/s	Bağıl Hata %	$\alpha.\varepsilon$ 1. ve 2. yasaya Göre	Kütleli Debi $\dot{m}_{orifis}$ kg/s	Orifis için Bağıl Hata %	Orifis için $\alpha.\varepsilon$
90,0	0,031	0,031	0	0,5333	0,031	0	0,7483
82,5	0,037	0,038	-2	0,5311	0,038	-2	0,7483
75,0	0,042	0,044	-4	0,5301	0,044	-4	0,7483
67,5	0,056	0,054	3,5	0,5333	0,054	3,5	0,7483
60,0	0,075	0,077	-2	0,5317	0,076	-1	0,7483
52,5	0,091	0,089	2	0,5339	0,090	1	0,7483
45,0	0,113	0,111	1	0,5301	0,111	3,5	0,7483
37,5	0,125	0,124	0,8	0,5226	0,125	0	0,7483
30,0	0,132	0,132	0	0,5231	0,133	-0,7	0,7483
22,5	0,139	0,141	-1	0,5226	0,142	-2	0,7483
15,0	0,147	0,144	1	0,5242	0,146	0,6	0,7483
07,5	0,150	0,149	0,6	0,5231	0,152	-1	0,7483

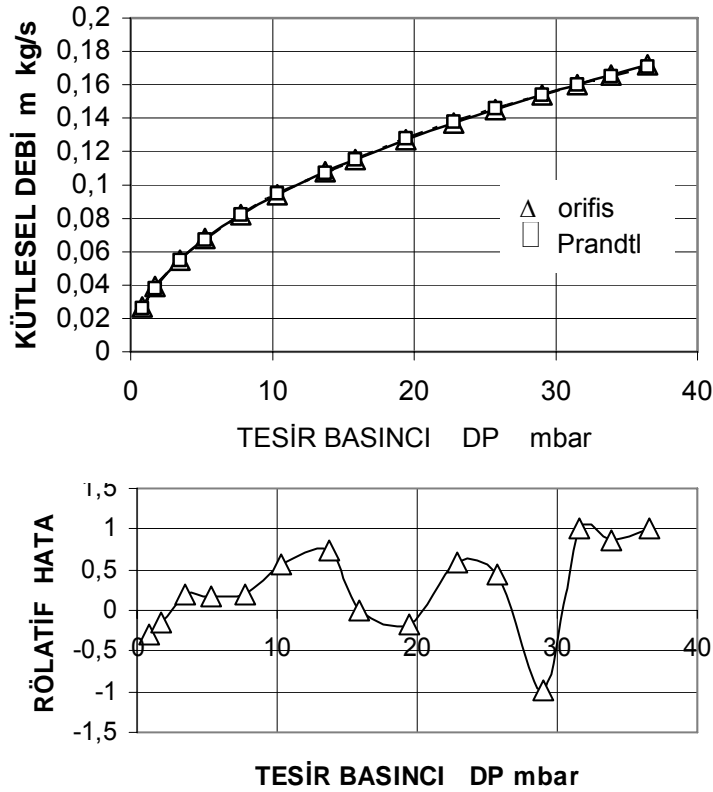
Orifis ile tesir basıncı üzerinden ve maksimum debinin 2/3'si esas alınarak belirlenmiş katsayılara bağlı ölçülen sonuçlara göre belirlenmiş kütleli debi değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Prandtl borusu ile kanal kesiti üzerinde ölçülen dinamik basınç ve bundan elde edilen hız değerlerinin ortalaması ile belirlenmiş kütleli debi değerleri gerçek değerler olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada hedeflenmiş şekilde termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre çıkarılmış debi sayısı ile sıkıştırılma faktörü değerleri ile kütleli debi değerleri belirlenmiştir. Tüm belirlenmiş bu kütleli debi değerleri Şekil 3'te karşılaştırmalı grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 3. Çıkarılan denklemlerden ve deneysel ölçümlerden belirlenen kütleli debi değerleri

## DEĞERLENDİRME

Orifis ile debi ölçülmesinde güvenilirlik ve hassasiyetin tespiti için dairesel akış kanalının dikey ve yatay ekseninde Prandtl borusu ile dinamik basınç değerleri ölçülmüş ve bunlara göre belirli ortalama değerlerden yararlanarak akış kesindeki ortalama akış hızı tespit edilmiştir. Akış kesiti, bu kesitteki hava yoğunluğu ve ortalama akış hızı çarpımından akış kesitindeki gerçek kütleli debi değerleri belirlenmiştir. Dinamik basınç değişiminin belirlendiği her ölçme durumunda orifisteki tesir basıncı ölçülmüştür. Ayrıca, tesir basıncı üzerinden de akış kesindeki kütleli debi değerleri hesaplanmıştır. Prandtl borusu ile ölçülen dinamik basınç değerleri üzerinden tespit edilmiş kütleli debi değerleri olması gereken (gerçek) değerler ve orifiste ölçülmüş tesir basıncı üzerinden tespit edilmiş kütleli debi değerleri mevcut (hatalı) değerler kabul edilerek, her ölçme durumu için rölafif hata hesaplanmıştır. Tüm bu açıklanmış kütleli debi değerleri rölafif hatalarla birlikte Şekil 4'teki grafikler ile sunulmuştur. Grafikte sunulmuş eğriler değerlendirildiğinde, rölafif hatanın ölçme değerleri büyüdükçe küçüldüğü görülmektedir. Araştırmaya dayanan deneysel çalışmalarda olduğu gibi burada da hata hesabı, ölçme sahası son değerine göre değil, gerçek ölçme değerine göre yapılmıştır. Küçük kütleli debi değerlerinde tahmin edileceği gibi küçük rölafif hata değerleri oluştuğu görülmektedir. Ölçme sahası içinde bazı ölçme değerlerindeki yüksek rölafif hataların durumu, tesadüfi ölçme hataları olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4. Ölçülmüş ve hesaplanmış kütleli debi değerleri güvenilirliği

Teknik uygulamalarda kullanılan orifis tesir basıncı yöntemine göre debi ölçülmesi, uzun zamandan beri bilinmektedir ve basitliğinden dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışma ile çıkarılan denklemler, akış olayında pülzasyonlar meydana gelmezse ve akış borusu akışkan ile tamamen doldurulursa güvenilirlikle kullanılabilir. Bu sebeple, tesisat ölçüleri ve debi ölçümü ile ilgili değişkenlerin, termodinamiğin birinci yasası ve ikinci yasası kullanılarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

DeneySEL çalışmaların ölçüm sonuçları ve analitik hesapların sonuçları karşılaştırarak hassasiyet ve güvenilirlik değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmanın sonucunda kabul edilebilir rölatif hata değerlerine ulaşılmış olduğundan termodinamiğin birinci yasasına ve ikinci yasasına göre elde edilmiş faktörler belirlenmiş kütleSEL debi değerlerinin, gerçek kütleSEL debi değerleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

**“ Bahsetmekte olduğunuz maddeyi ölçebiliyor ve bir birimle ifade edebiliyorsanız hakkında bir şey biliyorsunuz demektir.**

**Ancak ölçemiyor ve bir birimle ifade edemiyorsanız bilginiz zayıf ve yetersiz demektir. ”**

### Lord KELVİN

#### Terminoloji

$\dot{m}$	kütleSEL debi	kg/s
$\alpha$	debi sayısı	
$\varepsilon$	genleşme faktörü	
$n = A_o/A_K$	kesit oranı	
$A_K$	kanal kesiti	$m^2$
$\rho$	yoğunluk	$kg/m^3$
L	özgül iş	J/kg
$\dot{q}$	özgül ısı alışverişi	J/kg
$\Delta P$	tesir basıncı	mbar
P	basınç	mbar
E	özgül enerji	J/kg
H	özgül entalpi	J/kg
T	termodinamik sıcaklık	K
s	özgül entropi	J/kgK
u	özgül iç enerji	J/kg
v	özgül hacim	$m^3/kg$
w	akış hızı	m/s
$\mu$	kontraksiyon	
$\xi$	tersinmezlik faktörü	

#### İndisler

c	: sıkıştırılabilir
inc	: sıkıştırılamaz
rev	: tersinir
irrev	: tersinmez
o	: orifiste

## KAYNAKLAR

- [1] HENGSTENBERG, J., "Methoden der Durchflussmesstechnik", Chemie Ingenieur Technik, No:19, s. 1064-1072, 1971.
- [2] CAN, A., "Ein Beitrag zur direkten Messung des Massendurchflusses von Gasen", Dissertation der T.U.Berlin, D83, 1984.
- [3] MEIER ZU KÖKER, "Skript für messtechnische Übungen", insb. Bestimmung von  $m$  in DIN 1952, s.51-58, T.U. Berlin, 1980.
- [4] BONFIG, K. W., "Technische Durchflussmessung", Vulkan Verlag, 1977.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ahmet CAN

1953 yılı Tekirdağ doğumludur. 1974 Yıldız Devlet Müh. Mim. Akademisi, Makina Mühendisliği Lisans, 1977 Yıldız Devlet Müh. Mim. Akademisi, Isı ve Proses Opsiyonu, Yük. Lisans. 1981 Technische Universitaet BERLİN, Verfahrenstechnik- Hauptdiplom.(Dipl.-Ing.) 1984 Technische Universitaet BERLİN, Verfahrenstechnik-Promotion ( Dr.- Ing.) unvanı almıştır.

1977-1978 Balıkesir Devlet Müh. Mim. Akademisi, Mak. Müh. Böl. "Asistan". 1982-1984 Berlin Teknik Üniversitesi, "Wissenschaftlicher Mitarbeiter". 1985-1989 Trakya Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Mak.Müh. Böl. "Yardımcı Doçent" 1989-1997 Trakya Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Termodinamik Anabilim Dalı "Doçent", 1997 yılından beri Trakya Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Termodinamik Anabilim Dalında, "Profesör" olarak çalışmaktadır. Aynı anda Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı ve Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji dönüşümlerinde ikinci yasa uygulamaları ile ısı ve madde transferi konuları ilgi alanlarıdır.

Evli olup, birisi İ.T.Ü. Makine Fakültesi mezunu, diğeri Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi öğrencisi iki kız çocuğu vardır.