

ÖZET

Bu tezde; kütlelel gaz debisinin ölçülmesinde kullanılabilcek bir yöntem deneysel olarak incelenmiştir. Gaz kütlelel debisinin ölçümü için tasarlanmış dört orifisli köprü tesisat ile deneysel çalışmalar yapılmış, sonuçların hassas ve güvenilirliği incelenmiştir.

Birinci bölümde; yapılacak tez çalışması hakkında genel bilgiler verilirken; ikinci ve üçüncü bölümde “Basınç ve Debi Ölçüm Yöntemleri” açıklanmıştır. Dördüncü bölümde; değişik debi ve basınç elde edilmesi için kullanılan “Doğru Akım Motor Hız Kontrol Yöntemleri” hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde; gerekli standardizasyon referans alınarak tezin ana konusu olan “Orifis Yöntemiyle Debi Ölçüm Esasları” açıklanmıştır.

Altı ve yedinci bölümde; kullanılan deney tesisatının tasarlanması ile ilgili açıklamalar, yapılan deneyler ve sonuçları hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Orifis plakası, Orifis ile debi ölçümü, Basınç, Kütlelel debi ölçümü.

ABSTRACT

In this thesis, a method that can be used to measure the mass of the gas flow rate were investigated as experimental. Designed for measurement of gas mass flow and experimental studies have been made four orifice bridge installation and precision and reliability of the results was examined.

The first section, general information about the thesis work is given; the second and the third chapter "Pressure and Flow Measurement Methods" are described. The fourth section, to obtain different flow and pressure are used for "Direct Current Motor Speed Control Methods" are given information about. The fifth section, the main thesis about the necessary standardization of reference, the "Basics of Measuring Flow of Orifice Method" is described.

Six and seventh section, the design of experiments with the equipment descriptions, information about the experiments and the results are given.

Keywords: Orifice plate, pressure, mass flow measurement, measuring flow of orifice methods

ÖNSÖZ

Bir akışkanın aktığı boru içerisinde kesit daralmasından yararlanılarak akışkan debisinin ölçülmesi çokça kullanılan bir yöntemdir. Venturimetre, orifis, lüle gibi akışkan debisinin ölçümünde kullanılan yapıların temel ölçüm ilkesi bu şekildedir. Bu yöntemlerde; kesit daralmasına karşılık akışkan hızının değişimi ve bir basınç düşümü söz konusudur.

Gaz fazında bir akışkanın kütleli debisini doğru olarak ölçmek; genellikle zor, masraflı ve enerji tüketimi gerektiren bir süreçtir. Çok büyük veya çok küçük ölçme değerleri, yüksek sıcaklıklar, kaynama noktası yakınında bulunan haller ve akış halindeki salınımlar kütleli debi ölçümünü daha da zor hale getirmektedir.

En önemli debi ölçme yöntemleri, hidrodinamik prensiplere dayanmaktadır. Tesir basıncı yöntemleri (orifis, düze ve venturi borusu), sallanan veya askıda kalan parçalı ölçme yöntemleri, elektrik ileten akışkanların debisinin indüksiyon yasasından yararlanılarak manyetik indüktif, ses üstü sinyallerin akışkan içine girip gelme zamanlarına göre ölçülmesi ve elektrikle ısıtılmış tellerin akışkan debisine bağlı soğuma özelliğinden yararlanılarak debi ölçülmesi gibi birçok yöntem geliştirilmiştir.

SEMBOLLER LİSTESİ

A	Alan	m^2
B_L	Sönüm katsayısı	N.m
d	Orifis çapı	m
C	Boşaltım katsayısı	-
D	Boru çapı	m
E_b	Zıt EMK	V
F	Kuvvet	N
h	Yükseklik	m
g	Yerçekimi ivmesi	m/s^2
I_a	Endüvi akımı	A
I_ζ	Çıkış akımının ortalama değeri	A
i_ζ	Çıkış akımı	A
J_T	Eylemsizlik	kg/m^2
k_e	Motor gerilim sabiti	-
k_m	Motor sabiti	-
L_a	Endüvi sargısı endüktans	H
m	Kütle	kg
\dot{m}	Kütleli debi	kg/s
P	Basınç	Pa
R	Özgül gaz sabiti	J/kg.K
R_a	Endüvi sargısı omik direnci	ohm
R_f	Uyartım devresi direnci	ohm
t_{on}	Anahtarın kapalı kalma süresi	s

T	Sıcaklık	Kelvin
T_M	Motor momenti	N.m
T_L	Yük momenti	N.m
t	Zaman	s
$U_ç$	Çıkış gerilimi	V
U_g	Giriş gerilimi	V
U_T	Terminal gerilimi	V
V	Hacim	m ³
\dot{V}	Hacimsel debi	m ³ /s
w	Hız	m/s

YUNAN HARFLİ SEMBOLLER LİSTESİ

β	d/D oranı	
Δx	Yer değişimi	m
μ	Dinamik vizkozite	N.s/m ² , kg/m.s
ν	Kinematik vizkozite	m ² /s
φ_f	Toplam manyetik akı	maxwell
ρ	Yoğunluk	kg/m ³
ρ_f	Basıncı ileten akışkanın yoğunluğu	kg/m ³
ρ_m	Manometrede kullanılan akışkanın yoğunluğu	kg/m ³
ω_m	Motor açısal hızı	rad/sn

ALT İNDİSLER LİSTESİ

a	Endüvi
atm	Atmosfer
b	Zıt
ç	Çıkış
f	Uyartım
g	Giriş
L	Yük
M	Motor
m	Manometre
on	Açık
T	Terminal (uç)
ε	Genleşme katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1. Bağlı basınç skalası.....	5
Şekil 2.2. Boru içerisinde akan akışkanın dinamik basıncının ölçümü.....	6
Şekil 2.3. U manometrenin yapısı	7
Şekil 2.4. Bourdon tüpü ve basınç tesisiyle elde edilen şekil değişimi.....	8
Şekil 2.5. Bourdon tüpü ve LVDT kullanılarak basınç ölçümü.....	9
Şekil 2.6. Körüğün basınç etkisiyle daralıp uzaması	9
Şekil 2.7. LVDT kullanılarak körük ile basınç ölçümü	10
Şekil 2.8. Diyafram ile basınç algılama	10
Şekil 2.9. Piezoelektrik malzemelerin basınç ile elektrik üretimi.....	11
Şekil 2.10. Strain-gauge malzemenin yapısı	12
Şekil 2.11. Strain-gauge ile algılama	12
Şekil 3.1. Bir boru içerisindeki akışın hız profili.....	14
Şekil 3.2. Çarklı debi ölçümü.....	15
Şekil 3.3. Elektromanyetik debi ölçümü	16
Şekil 3.4. Ultrasonik debi ölçümü.....	17
Şekil 3.5. Venturimetre ve basınç ölçüm noktaları	18
Şekil 3.6. Düze ve basınç ölçüm noktaları.....	18
Şekil 3.7. Orifis plakasından akış.....	19
Şekil 4.1. Doğru akım motorunun yapısı	21
Şekil 4.2. Doğru akım motoru eşdeğer devresi	21
Şekil 4.3. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru eşdeğer devresi	22
Şekil 4.4. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru hız-moment karakteristiği	23
Şekil 4.5. Doğru akım motorlarında tristörle hız kontrolü.....	24
Şekil 4.6. Temel devre kesici devresi.....	25
Şekil 4.7. Kıyıcının giriş-çıkış akım ve gerilim dalga şekilleri.....	26
Şekil 5.1. Standart orifis plakası	29
Şekil 5.2. D ve D/2 delikli ve flanşlı basınç ölçme delikli orifis plakaları	31

Şekil 5.3. Köşe delikleri	32
Şekil 5.4. Daralan kesitte akış	35
Şekil 6.1. Deney düzeneği kompleksi	38
Şekil 6.2. Orifis plakası ölçüleri.....	40
Şekil 6.3. Köşe basınç ölçme delikleri	41
Şekil 6.4. Tasarımı yapılan orifis plakası ve orifis düzeneği (1 No'lu parça)	42
Şekil 6.5. Deney tesisatının 2 No'lu parçası	43
Şekil 6.6. Deney tesisatının 3 No'lu parçası	44
Şekil 6.7. Deney tesisatının 4No'lu parçası	45
Şekil 6.8. Deney tesisatının 5 No'lu parçası	45
Şekil 6.9. Deney tesisatının 6 No' lu parçası	46
Şekil 6.10. Deney tesisatında kullanılacak olan fanların yerleştirileceği parçalar.....	46
Şekil 6.11. Orifis testleri için kullanılacak olan deney tesisatı	48
Şekil 6.12. 1 No'lu orifise ait kütleli debi (m) - basınç farkı (ΔP) eğrisi.....	49
Şekil 6.13. 2 No'lu orifise ait kütleli debi (m) - basınç farkı (ΔP) eğrisi.....	50
Şekil 6.14. 3 No'lu orifise ait kütleli debi (m) - basınç farkı (ΔP) eğrisi.....	51
Şekil 6.15. 4 No'lu orifise ait kütleli debi (m) - basınç farkı (ΔP) eğrisi.....	52
Şekil 6.16. Doğru akım motoru hız kontrol devre şeması.....	53
Şekil 6.17. Baskı devresi ve yerleşim şeması	54
Şekil 6.18. Deney tesisatında ana fan debi ve sirkülasyon fan debi akış yönleri.....	55
Şekil 6.19. Ana fan debisinin sirkülasyon fanının debisinden büyük olması	56
Şekil 6.20. Ana fan debisinin sirkülasyon fanının debisinden küçük olması.....	58
Şekil 6.21. Uygulama 1' e ait debi – a sabiti değişimi.....	66
Şekil 6.22. Uygulama 1'de kütleli debinin ana fan gücü ile değişimi eğrisi	67
Şekil 6.23. Uygulama 2' ye ait debi – a sabiti değişimi.....	69
Şekil 6.24. Uygulama 2'de kütleli debinin ana fan gücü ile değişimi eğrisi	70
Şekil 6.25. Uygulama 3' e ait debi – a sabiti değişimi.....	72
Şekil 6.26. Uygulama 3'te kütleli debinin ana fan gücü ile değişimi eğrisi	73

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 2.1. Basınç birimleri dönüşüm tablosu	4
Tablo 6.1. Deney tesisatında kullanılacak olan parçalar	39
Tablo 6.2. 1 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri	49
Tablo 6.3. 2 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri	50
Tablo 6.4. 3 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri	51
Tablo 6.5. 4 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri	52
Tablo 6.6. Sirkülasyon fanı ile ilgili elde edilen değerler	62
Tablo 6.7. Ana fan ile ilgili değerler	63
Tablo 6.8. Uygulama 1' de elde edilen deney verileri	65
Tablo 6.9. Uygulama 1' de ana fan gücünün ölçülen fan debisi ile değişimini gösterir tablo	66
Tablo 6.10. Uygulama 2' de elde edilen deney verileri	68
Tablo 6.11. Uygulama 2' de ana fan gücünün ölçülen fan debisi ile değişimini gösterir tablo	69
Tablo 6.12. Uygulama 3' te elde edilen deney verileri	71
Tablo 6.13. Uygulama 3' te ana fan gücünün ölçülen fan debisi ile değişimini gösterir tablo	72

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖZET.....	İİİ
ABSTRACT.....	İV
ÖNSÖZ	V
SEMBOLLER LİSTESİ	VI
ALT İNDİSLER LİSTESİ	Vİİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	İX
TABLO LİSTESİ.....	XI
İÇİNDEKİLER	Xİİ
1. GİRİŞ.....	1
2. BASINÇ VE BASINÇ ÖLÇÜMÜ	3
2.1. Basınç Kavramı	3
2.2. Basınç Birimleri	4
2.3. Basınç Tiplerinin Sınıflandırılması	5
2.4. Basınç Ölçümü	6
2.4.1. U Manometreler	7
2.4.2. Bourdon tüplü manometreler	8
2.4.3. Körüklü ve diyafram tip basınçölçerler	9
2.4.4. Piezo-elektrik basınçölçerler.....	10
2.4.5. Piezo-rezistif basınç ölçerler.....	11
3. DEBİ VE DEBİ ÖLÇÜMÜ	13
3.1. Debi Kavramı	13
3.2. Debi Ölçümü	14
3.2.1. Mekanik olarak debi ölçümü	15
3.2.2. Isıl iletim ile debi ölçümü	15
3.2.3. Elektromanyetik debi ölçümü	16
3.2.4. Ultrasonik debi ölçümü.....	16

3.2.5.	Fark basıncının ölçülmesi ile debi ölçümü	17
3.2.5.1.	Venturimetre	17
3.2.5.2.	Düze	18
3.2.5.3.	Orifis	19
4.	DOĞRU AKIM MOTORLARI VE HIZ KONTROLÜ	20
4.1.	Doğru Akım Motorları ve Yapısı	20
4.1.1.	Doğru akım motoru eşdeğer devresi	21
4.2.	Doğru Akım Motorlarında Hız Kontrolü	23
4.2.1.	Motora uygulanacak gerilimin genliğinin değiştirilmesi ile hız kontrolü	24
4.2.2.	Doğru akım motorlarında devre kesiciler yardımı ile hız kontrolü	25
5.	ORİFİS İLE DEBİ ÖLÇÜMÜ	28
5.1.	Orifis Kavramı	28
5.2.	Orifis Plakası ve Özellikleri	29
5.3.	Basınç ölçme delikleri	31
5.3.1.	D ve D/2 ölçme delikli orifis plakaları ve flanş ölçme delikleri	31
5.3.2.	Köşe ölçme delikli orifis plakaları	32
5.4.	Orifis Katsayıları	33
5.4.1.	Boşaltım katsayısı (C)	33
5.4.2.	Genleşme katsayısı (ϵ)	34
5.4.3.	Hacimsel ve kütleli debi hesabı	34
6.	DENEY TESİSATININ TANITILMASI DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
6.1.	Deney Tesisatı	37
6.1.1.	Orifis Tasarımı	39
6.1.2.	Deney tesisatında kullanılan parçaların tasarımı	40
6.1.2.1.	Orifis Plakası	40
6.1.2.2.	Diğer parçalar	43
6.1.3.	Ana fan ve sirkülasyon fanı	47
6.2.	Orifis testleri	47
6.3.	Doğru akım motoru hız kontrol devresi	53
6.4.	Dört orifisli kütleli debi ölçüm yöntemi	55
6.4.1.	Ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden büyük olması durumu	56

6.4.2.	Ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden küçük olması durumu	58
6.5.	Deney Tesisatı Uygulamaları	60
6.5.1.	Sirkülasyon fanının debisinin belirlenmesi.....	61
6.5.2.	Ana fanın debisinin belirlenmesi	62
6.5.3.	Deneyleer	63
6.5.3.1.	Kütlesel debi ölçümü	64
SONUÇLAR		74
KAYNAKLAR		76
TEŞEKKÜR.....		78
ÖZGEÇMİŞ		79

1. GİRİŞ

Debi; herhangi bir kesitten birim zamanda geçen madde miktarıdır. Makine mühendisliğinde debisi ölçülen hareketli ortam, sıvı (su, yağ, vb.), hava ve gaz (oksijen, azot, su buharı, doğal gaz vb.) halinde olabilir. Suyun kanal veya nehirde akışı, elektrik üretimi yapılan termik santralde kızgın buharın türbine boru içerisinde akışı, helezonlarla tahılların yükleme yapılırken taşınması sırasıyla, sıvı, gaz ve katı akış sistemlerine birer örnektir. Debi ölçümü için bilinmesi gereken önemli fiziksel büyüklükler; akışkanın birim zamanda akan hacimsel olarak miktarı olan hacimsel debi (m^3/sn), birim zamanda akan kütleli olarak miktarı olan kütleli debi (kg/sn) ve birim zamanda kat etmiş olduğu yol hız (m/sn)'dır.

Kütle veya hacmin yer değişim oranını belirleyerek debi ölçümünün gerçekleştirilebilmesi için çok sayıda algılayıcı kullanılmaktadır. Hangi algılayıcı kullanılırsa kullanılsın ölçüm sırasında meydana gelebilecek zorluklar işlemi daha karmaşık hale getirmektedir. Bunun için; akışkanı çevreleyen ortam, akışkanın aktığı malzemenin cinsi ve şekli, ortam sıcaklığı, fiziksel özellikleri ve akış sırasında meydana gelebilecek bozucu etkiler ölçümün zorlaşmasına etki eden faktörlerdir. Öte yandan ölçme cihazının seçimi, hassasiyeti, ölçüm aralığı ve maliyet gibi faktörler yapılacak olan ölçümde meydana gelebilecek ölçüm hatalarının en aza indirilebilmesi oldukça önemli olmaktadır.

Günümüzde, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte debi ölçümüne ait çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. En önemli debi ölçüm yöntemleri Bernouilli Denkleminin uygulanması yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemde; akışkanın bir boru içerisindeki kısıtlanmış bölmeden geçirilerek hız değiştirilir ve debi ile orantılı basınç oluşur. Borunun yarı kesiti büyüdükçe akışkanın hızı azalır, basınç artar; yarı kesit küçüldükçe hızı artar, basınç azalır. İki nokta arasındaki basınç farkı diferansiyel basınç algılayıcı ile ölçülerek debi ölçümü gerçekleştirilir. Bunun dışında mekanik elemanların sıvı akışına yer değiştirerek yada belli bir hız oranında dönerek cevap verecek şekilde tasarlanmış mekanik debi ölçerler; hareket eden sıvı içerisinde iki nokta arasında taşınan

ısı miktarı akan kütle ile doğru orantılı olması prensibinden yararlanan ısıl debi ölçerler, manyetik alan içerisinde geçen iletken sıvının hızıyla artan bir elektromotor kuvvet indüklemesi prensibinden yararlanan manyetik debi ölçerler; akışkanın içine yerleştirilen bir engel üzerinde oluşan vorteks kaynaklı titreşimlerin algılanması ve titreşimin frekansının akışkanın hızı ile doğru orantılı olması prensibinden yararlanan salınımlı debi ölçerler; akışkanın içine gönderilen frekansı bilinen bir ultrasonik sesin, akışkanın içindeki partiküller, hava kabarcıklarından yansıtılarak geri dönmesi ve bu sinyalin frekansındaki değişikliğin akışkanın hızı ile orantılı olmasından yararlanan debi ölçüm yöntemleri mevcuttur (Can,1987).

Orifis ile debi ölçülmesinde, doğrudan debi ölçülemez. Ölçülen büyüklük, kesit daralmasıdaki etki basıncıdır. Bu basınç farkı yardımıyla debi hesaplanarak belirlenmektedir. Bunun için ayrıca, geometrik parametreler ile akışkan özelliklerine ve akışkan hızına bağlı olarak C boşaltım katsayısı ve ε genişleme katsayısının belirlenmesi gerekir.

Bu tez çalışması kapsamında, yine orifis kullanılmaktadır. Ancak dört adet orifis, elektronikteki wheatstone köprüsüne benzer bağlantı şeklinde kullanılmaktadır. Tesir basıncı, orifiste değil, köprünün diyagonalinden belirlenmektedir. Teorik esaslar bölümünde açıklanacağı ve tanımlanacağı gibi, diyagonalde ölçülen tesir basıncı, doğrudan akış borusundan geçen kütleli debi ile orantılıdır.

2. BASINÇ VE BASINÇ ÖLÇÜMÜ

2.1. Basınç Kavramı

Genel olarak maddeler; katılar ve akışkanlar olarak ikiye ayrılabilir. Akışkanlar, akabilen maddeler anlamına gelmekteyken sıvı ve gazları içine alır. Akışkan maddeler, buldukları kabın şeklini alır ve ağırlıkları nedeniyle kap cidarlarına kuvvet uygularlar. Akışkana ait yüzey üzerine etki eden dik kuvvetin, birim alana düşen miktarı *Basınç* olarak adlandırılır (Gürdal, 2001).

Kuvvetin kaynağı ne olursa olsun bütün yüzeye etki eden toplam kuvvet F ve yüzeyin alanı A ile gösterilirse akışkanın basıncı P aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Basınç, temel olarak mekanik bir kavram olup kütle, uzunluk ve zaman ölçüleri ile tanımlanabilir. Yükseklik ile basınçtaki değişim, yoğunluk ve yerçekimi ivmesi ile orantılıdır.

$$dp = -\rho g dh \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de, ρ ortamın yoğunluğu, g yerçekimi ivmesi ve dh dikey yükseklik değişimidir. Basınç, çevrenin biçiminden etkilenmez, bu nedenle çok küçük tipte basınç algılayıcılarının tasarımı, biçim ve boyut dikkate alınmadan yapılabilir. Basınç, akışkanın bulunduğu yüzeylerden birine uygulanırsa, basınç değerinden hiçbir şey kaybetmeden aynen iletilir.

Gazların kinetik teorisinin tanımına göre basınç, moleküllerin toplam kinetik enerjisinin bir ölçüsü sayılabilir.

$$p = \frac{2}{3} \frac{KE}{V} = \frac{1}{3} \rho C^2 = NRT \quad (2.3)$$

Denklem 2.3' te KE kinetik enerji, V hacim, C^2 moleküler hızların karesinin ortalama değeri, ρ yoğunluk, N birim hacim başına molekül sayısı, R özgül gaz sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Denklem 2.3' e göre sıkıştırılabilen akışkanların (gazların) basınç ve yoğunluğu arasında doğru orantı vardır. Yani basınçtaki artış ile yoğunluk doğru orantılı olarak değişir.

2.2. Basınç Birimleri

Birim yüzeye etki eden kuvvete basınç denilmektedir. Kuvvet birimi, *Newton* ve alan birimi, m^2 olarak alınırsa formül gereği basıncın birimi N/m^2 olarak ifade edilir. "SI" birim sistemine göre basınç birimi *Pascal*dır ve $1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$ ye karşılık gelmektedir. Bu da 1 metre karelik alana eşit olarak yayılmış 1 Newtonluk kuvvete eşittir. Basıncın birimi olan *Pascal (Pa)* şeklinde kısaltılmış olarak yazılabilir. Teknik sistemlerde daha çok atmosfer birimi kullanılır. Bir atmosfer $+4^\circ\text{C}$ ' de bir metre yüksekliğindeki su sütununun bir santimetre karesine etkileyen basınçtır. Atmosfer basıncı yaklaşık 1 Bar değerine eşittir. Aşağıdaki tabloda basınç ölçümünde kullanılan birimlere ait dönüşüm tablosu verilmiştir.

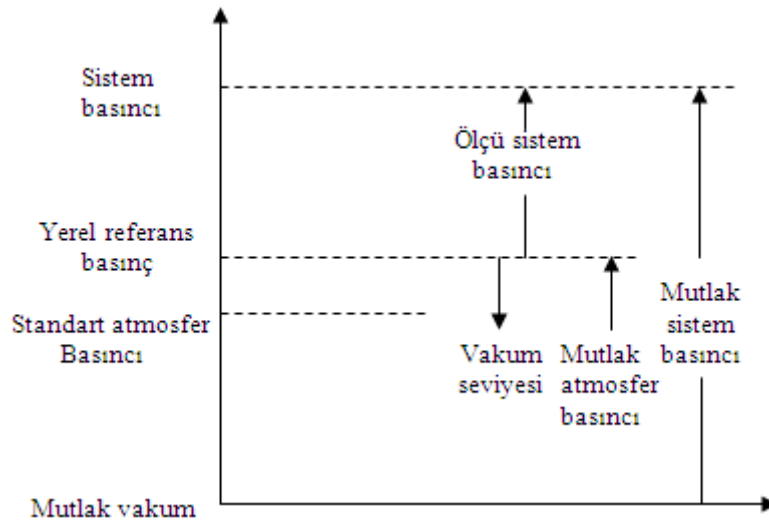
Tablo 2.1. Basınç birimleri dönüşüm tablosu ¹

Basınç Birimleri Dönüşüm Tablosu						
	Bar (bar)	Pascal (Pa)	Teknik atmosfer (at)	Atmosfer (atm)	torr (mmHg)	pound-kuvvet/ inch ² (psi)
1 Bar (0,1MPa)	1 (1000mbar)	100000 10^5	1,0197	0,98692	750,06	$145,04 \times 10^{-6}$
1 Pa (N/m ²)	10^{-5}	1	$1,0197 \times 10^{-5}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	$7,5006 \times 10^{-3}$	14,504
1 At kgf/cm ²	0,980665	98066,5	1	0,96784	735,56	14,223
1 Atm	1,01325 (1013,25mbar)	101325	1,0332	1	760	14,696
1 torr (mmHg)	$1,3332 \times 10^{-3}$	133,322	$1,3595 \times 10^{-3}$	$1,3158 \times 10^{-3}$	1	$19,337 \times 10^{-3}$
1 psi lbf/in ²	$68,948 \times 10^{-3}$	6894,76	$70,307 \times 10^{-3}$	$68,046 \times 10^{-3}$	51,715	1

¹ <http://tr.wikipedia.org/wiki/>

2.3.Basınç Tiplerinin Sınıflandırılması

Gaz basıncının, ortam basıncının altında olması ile vakum, ortam basıncının üstünde olması ile aşırı basınç ifade edilir. Basınç, ortam basıncına göre ölçüldüğüne göre bağıl olarak adlandırılır. Sıfır basınçtaki vakuma göre ölçüldüğünde ise mutlak olarak adlandırılır. Bir ortamın basıncı durgun akışkana göre statik veya hareketli akışkanın kinetik enerjisine göre dinamik olabilir.

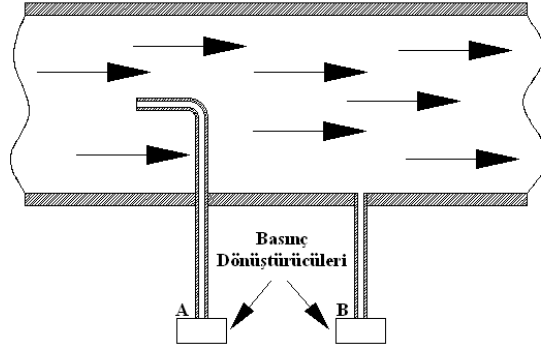


Şekil 2.1. Bağıl basınç skalası (Çengel, 1996)

Bir akışkanın basıncı atmosfer basıncına veya mutlak sıfır basınca göre verilebilir. Şekil 2.1' de herhangi bir basınca ait kullanılacak bağıl basınç skalası verilmiştir.

- Mutlak basınç, akışkan basıncı ile mutlak sıfır basınç arasındaki farkı verir.
- Ölçü basıncı akışkan basıncı ile atmosfer basıncı arasındaki farkı verir.
- Mutlak basınç = ölçü basıncı + atmosfer basıncını ifade eder.

Eğer akışkan durgun ise, statik basınç; akışkan hareketli ise dinamik basınç olarak adlandırılır.



Şekil 2.2. Boru içerisinde akan akışkanın dinamik basıncının ölçümü

Şekil 2.2' de A basınç dönüştürücüsü ile akışkanın toplam basıncı ve B basınç dönüştürücüsü ile statik basınç ölçülmektedir. Buna göre akışkanın dinamik basıncı aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$\text{Dinamik basınç} = \text{Toplam basınç (A)} - \text{Statik basınç (B)} \quad (2.4)$$

2.4. Basınç Ölçümü

Basınç; türetilmiş bir büyüklük olduğundan tanımı gereği bir basınç algılayıcısının çalışma prensibi, duyarlı bir elemana (zar, körük, diyafram, ince levha veya plaka) etkiyen basıncın sonucunda meydana gelen yer değişimine dayanır.

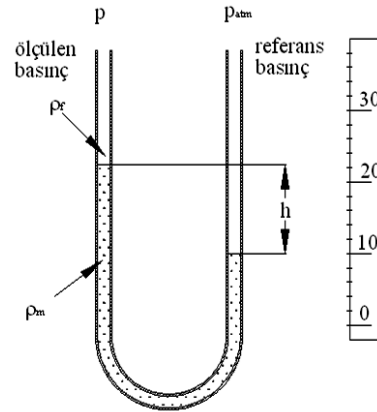
Basınç ölçmek için değişik ölçüm aletleri kullanılmaktadır. Statik yani sürekli rejimde basınç ölçümü kolaydır ve oldukça iyi bir hassasiyetle yapılmaktadır. Buna karşılık dinamik basıncı ölçmek zordur. Ölçme aletinin ve akışkanın karakteristiklerine bağlıdır. Statik ölçümde ölçüme başlandığı andan ölçüm cihazının sürekli değeri gösterinceye kadar, küçük bir zaman diliminde, geçici rejim oluşmaktadır. Basınç ölçme cihazının geçici rejimdeki dinamik davranışını etkileyen parametreler; basıncı algılayan elemanın dinamik tepkisi, basıncı ileten akışkan ve boru gibi elemanların dinamik tepkisidir.

Basınç algılayıcılarındaki algılama elemanı, mekanik bir aygıt olup gerginlik altında yapısal değişikliklere uğrar. Tarihsel olarak böyle aygıtlar bourdon tüpleri (C biçimli, bükümlü ve helisoidal), kıvrımlı ve esnek (catenary) diyaframlar, kapsüller, körükler, fıçı tüpleri, basınç altında biçimi değişerek elektrik üreten piezo-elektrik yada direnci değişen piezo-rezistif elemanlardır.

Genel olarak sıvı ve gazların basınç ölçümüne ilişkin kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1. U Manometreler

Kapalı kaplardaki gazların basıncını ölçen aletlere *Manometre* denir. U manometre, U şeklinde kıvrılmış, cam veya plastik gibi malzemelerden yapılmış dairesel kesitli şeffaf bir borudur. Boru içerisine ölçüme uygun olarak, cıva veya su konulmuştur. Ölçüme başlanmadan önce her iki kolda bulunan sıvı yüksekliği aynıdır. Basıncı ölçülecek gazın bulunduğu kap manometrenin bir koluna bağlanırken; diğer kol referans olarak atmosfere açık bırakılır. Basıncı ölçülecek gaz, sıvı üzerine basınç yaparak manometrenin her iki tarafındaki sıvı düzeyleri arasında yükselti farkı meydana getirir. U manometrelerde meydana getirilen bu yükselti farkı ile gaza ait basınç yada basınç farkı ölçülebilir.



Şekil 2.3. U manometrenin yapısı

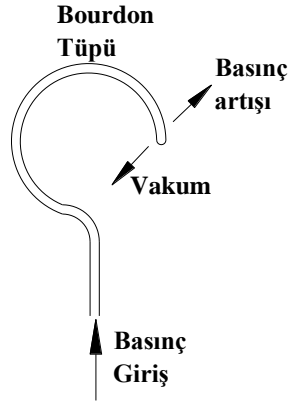
Bu seviyeler arasındaki toplam fark h , basıncı ileten akışkan yoğunluğu ρ_f , manometrede kullanılan sıvının yoğunluğu ρ_m ve yerçekimi ivmesi g ise basınç farkı;

$$p_a - gh\rho_m = p - gh\rho_f \Rightarrow p - p_a = gh(\rho_m - \rho_f) \quad (2.5)$$

şeklinde bulunur.

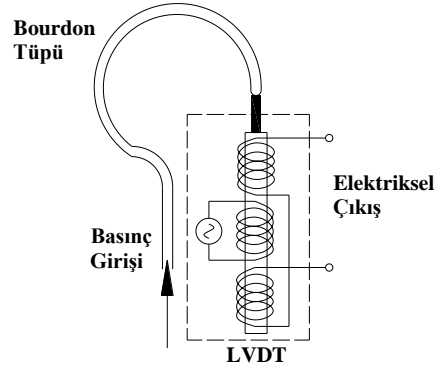
2.4.2. Bourdon tüplü manometreler

Bourdon tüpleri, basınç ölçümünde en çok kullanılan yapılardır. Metal alaşım çelik veya prinç malzemelerden yapılmış ve bir ucu basınç ölçümü için açık diğer ucu kapalı eliptik şekilde bükülmüş C şekilli boru yapıdadırlar. Açık ucundan basınç yada vakum uygulandığında ucu açılarak yada büzülerek şekil değişimine uğrar.



Şekil 2.4. Bourdon tüpü ve basınç tesisiyle elde edilen şekil değişimi

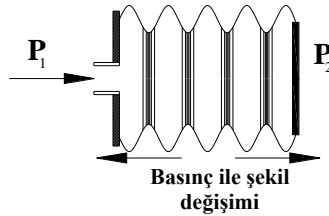
Bourdon tüpüne basınç veya vakum uygulandığında Şekil 2.4' te görüldüğü gibi elastik bir şekil değişimi meydana gelir. Borunun açık ucunun değişimi yay ve dişli mekanizmalarla dönme olarak ibreye yada elektriksel sinyale dönüştürülmek amacıyla Şekil 2.5' teki gibi bir Lineer Değişken Fark Dönüştürücüsü LVDT yada Strain Gauge (Gerginlik ölçer) algılayıcısına iletilir.



Şekil 2.5. Bourdon tüpü ve LVDT kullanılarak basınç ölçümü

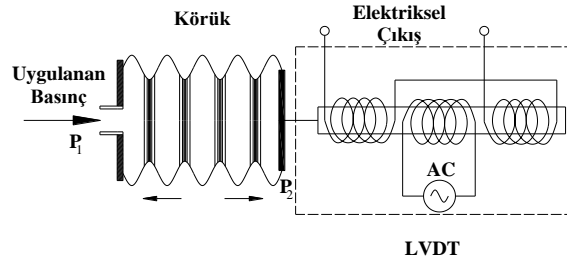
2.4.3. Körüklü ve diyafram tip basınçölçerler

Birçok basınç ölçme uygulamalarında olduğu gibi, diyafram ve körük, maruz kalınan kuvvet etkisi altında şekil değişimine uğratılarak basınç ölçülebilir. Bu elemanlar çelik veya bronz gibi metalik malzemelerden olabildikleri gibi, petrol ve yağa karşı dirençli lastik veya özel plastiklerden de yapılabilir.



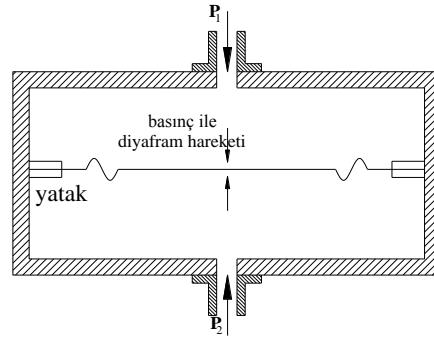
Şekil 2.6. Körüğün basınç etkisiyle daralıp uzaması

Körük basıncı doğrusal bir değişime dönüştürüp uygun bir algılayıcı ile ölçülmesi amacıyla yapılmıştır. Körük tipi fark basınç algılayıcıları ile 0 ile 1000 Pa aralığındaki basınç değerleri ölçülebilmektedir. Daha yüksek basınç değerlerinde körük zarar göreceğinden yüksek basınç değerlerinde kullanılamazlar. Körüklerde malzeme olarak bakır alaşımı, yapı olarak ince oluklu levha tipinde birbirine preslenmiş olarak imal edilirler. Körük üzerine basınç uygulandığında körük genişleyerek basınçla orantılı olarak uzar. Basınç etkisiyle oluşan bu uzama, elektriksel dönüştürücüler ile elektriksel sinyallere dönüştürülerek basınç ölçülmüş olur.



Şekil 2.7. LVDT kullanılarak körük ile basınç ölçümü

Diyafram, ince metal bir levha olup çevresi boyunca yataklanmıştır. Genelde paslanmaz çelik veya pirinçten yapılırlar. Şekil 2.8’ de gösterildiği gibi hazne içine yerleştirilmiş olan diyaframın bir yüzü P_1 basıncına, diğer yüzü ise P_2 basıncına maruz kalmaktadır. Bu iki basınç arasındaki fark diyaframın şekil değişimine neden olur. Bir mil veya mekanik bir düzenek, diyaframda oluşan hareketle yer değiştirirken elektriksel dönüştürücülere ile elektriksel sinyallere dönüştürülerek basınç ölçülmüş olur.

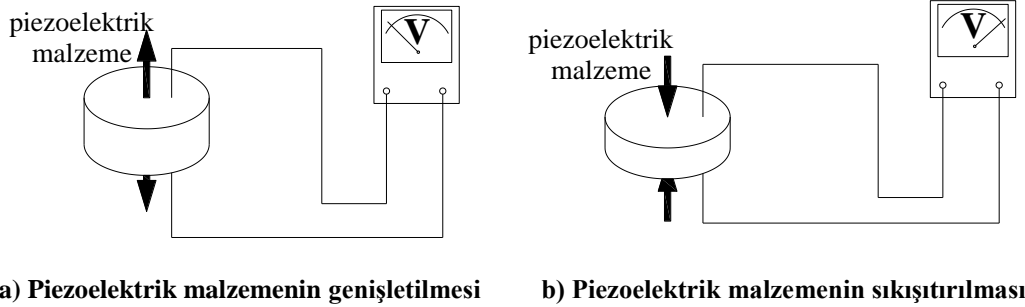


Şekil 2.8. Diyafram ile basınç algılama

2.4.4. Piezo-elektrik basınçölçerler

Doğada bulunan kuvars, turmalin gibi bazı cisimlerde, basınç veya şekil değişikliği sonucu meydana gelen elektrik olayına *Piezoelektrik* denir. Piezoelektrik, kristal yapıdaki cisimlerin kendilerine dışarıdan uygulanan basınç miktarı ile orantılı olarak elektrik üretme özelliği olarak da açıklanabilir. İki ucundan basınç uygulanan kristal yapının yine bu iki ucu arasında potansiyel farkı (voltaj) ölçülebilir. Aynı

şekilde, bu işlemin tersi de geçerlidir. Yani dışarıdan voltaj verildiğinde kristal yapının şekli az da olsa değişir. Bu özellikten yararlanılarak basınç ölçümü yapılabilir.

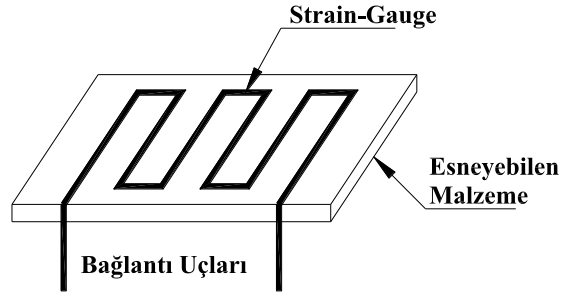


Şekil 2.9. Piezoelektrik malzemelerin basınç ile elektrik üretimi

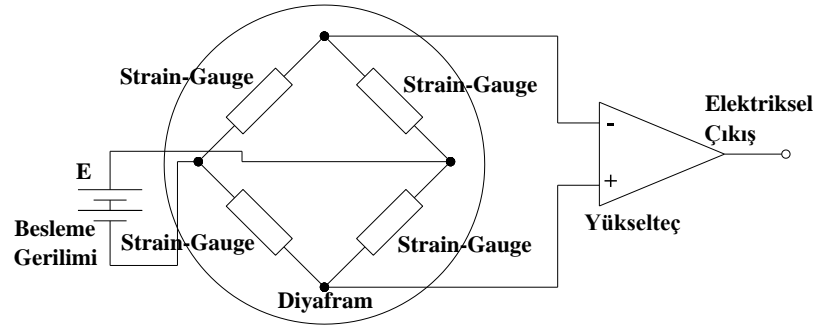
Algılayıcının yapısında bulunan ince metal yada diyafram yardımıyla basınç etkisi piezoelektrik malzeme üzerine aktarılır. Elde edilen elektriksel sinyal yükseltec devresi yardımıyla yükseltilerek basınç ölçülür. Basınç, sıkıştırma oranına bağlı değişen gerilimle orantılıdır.

2.4.5. Piezo-rezistif basınç ölçerler

Basınç ölçümü; metallerin gerilmeye bağlı olarak boyunun uzaması ve buna bağlı olarak direncinin değişimine indirgenerek gerçekleştirilebilir. Bir strain-gauge (gerilme ölçer); direnci uygulanan gerginliğin fonksiyonu olan bir rezistif elastik algılayıcıdır. Bir silikon diyafram basınç algılayıcısı, elastik malzeme olarak ince silikon diyafram ve diyaframın içine dağıtılarak yerleştirilmiş katkı malzemelerinden yapılmış strain-gauge dirençlerinden oluşur. Dirençteki değişim, uygulanan gerginlikle ve akabinde de uygulanan basınçla orantılıdır. Dirençler diyafram üzerinde boyuna ve enine katsayılar ters polariteye sahip olacak şekilde yerleştirilir. Bu yüzden dirençler zıt yönlerde değişir. Tipik olarak bir Wheatstone Köprüsü devresine bağlanabilirler.



Şekil 2.10. Strain-gauge malzemenin yapısı



Şekil 2.11. Strain-gauge ile algılama

3. DEBİ VE DEBİ ÖLÇÜMÜ

3.1. Debi Kavramı

Akışkanlar, mekaniğinin temel prensiplerinden biri olan kütle korunumu prensibine göre kütle, korunan bir miktardır; yoktan var edilemez veya vardan yok edilemez. Sistemin sınırları içerisinde kütle girişi ve çıkışı varsa kütle giriş ve çıkışlarının toplamı sıfır olacaktır;

$$\dot{m} = \left(\frac{dm_{giriş}}{dt} \right) = \left(\frac{dm_{çıkış}}{dt} \right) = \text{sabit} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $m_{giriş}(kg)$ sisteme giren kütle miktarını, $m_{çıkış}(kg)$ sistemden çıkan kütle miktarını ve $\dot{m}(kg/s)$ kütleli debiyi ifade eder. Herhangi bir kesitten birim zamanda geçen akışkan miktarı debi olarak adlandırılır.

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanır. Kütle yerine $m = \rho V$ ifadesi Denklem 3.1' de yerine konulursa;

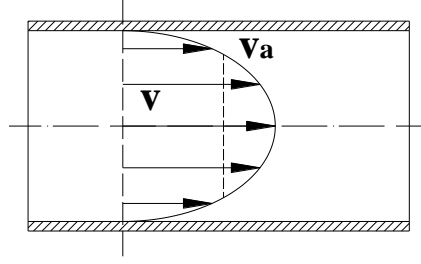
$$\dot{m} = \left(\frac{d\rho V}{dt} \right)_{giriş} = \left(\frac{d\rho V}{dt} \right)_{çıkış} = \text{sabit} \quad (3.3.a)$$

elde edilir. Şekil 3.1'den görüldüğü gibi birim zaman aralığında herhangi bir kesitten geçen hacimsel debi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (3.3.b)$$

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \int \frac{\Delta x}{\Delta t} dA = \int w dA \quad (3.4)$$

Denklemden w hareket eden akışkanın hızıdır.



Şekil 3.1. Bir boru içindeki akışın hız profili

Bir boru içerisinde akan sıvı yada gazın hız profili incelendiğinde, sıvı yada gaz hızının kesit alan üzerinde değiştiği görülür. Bu nedenle ortalama hızın kullanılması daha uygun olmaktadır. Ortalama hız, hacimsel debinin boru kesitine bölünmesi ile gibi elde edilir.

$$\dot{w}_a = \frac{\int w dA}{A} \quad (3.5)$$

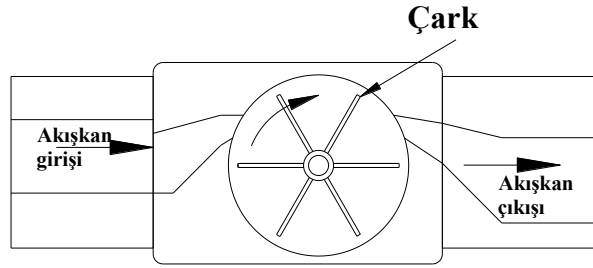
3.2. Debi Ölçümü

Kütle veya hacmin yer değişimi oranının belirlenmesiyle ölçüm yapan çok sayıda algılayıcı bulunmaktadır. Hangi tür algılayıcı kullanılacaksa kullanılsın akışkanı çevreleyen ortam, borunun biçimi ve malzemesi, ortam sıcaklığı, basınç ve debisi, ölçülecek olan akışkan maddenin özellikleri dikkate alınmalıdır. Bu sebeple debi ölçümünde kullanılacak çeşitli ölçüm teknikleri mevcuttur.

- Mekanik olarak debi ölçümü,
- Isıl iletim ile debi ölçümü,
- Elektromanyetik debi ölçümü,
- Ultrasonik debi ölçümü,
- Fark basıncının ölçülmesi ile debi ölçümü.

3.2.1. Mekanik olarak debi ölçümü

Mekanik debi ölçümünde, sıvı akışıyla dönecek şekilde tasarlanmış mekanik elemanlardan yararlanır. Yöntemde, debisi ölçülecek olan sıvının, boşluk hacmi bilinen mekanik kısımlar arasına dolarak meydana getireceği dönme hareketinden yararlanır. Mekanik kısmın bir turluk dönüşüne karşılık meydana gelen sıvı çıkışından yararlanılarak kütleli debi ölçümü yapılabilmektedir. Kullanılabilecek örnek uygulama Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çarklı debi ölçümü

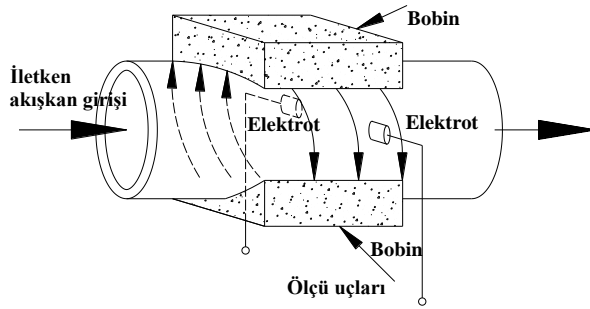
Şekil 3.2’deki debi ölçüm yöntemi ile çarkın bir tur dönüşüne bağlı olarak çıkacak sıvı miktarı belli olduğundan birim zamandaki dönme sayısından yararlanılarak kütleli debi ölçümü gerçekleştirilebilir.

3.2.2. Isıl iletim ile debi ölçümü

Isıl debi ölçümünde; hareket eden akışkanın iki noktası arasındaki taşınan ısı miktarının kütleli debi ile doğru orantılı olmasından yararlanır. Isıl anemometre olarak adlandırılan bu yöntemde, ısı ile meydana gelen direnç değişiminin bir wheatstone köprüsüne iletilmesi yoluyla debi ölçümü gerçekleştirilir.

3.2.3. Elektromanyetik debi ölçümü

Elektromanyetik debi ölçümü, iletken sıvıların hareketinin ölçümü için kullanılabilir. Bu yöntemde debi ölçümü için, Faraday'ın, manyetik alan içerisinde geçen iletken sıvının, hızıyla artan bir elektromotor kuvvet (emk) indüklenmesi prensibi kullanılır. Ölçüm sırasında Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi iletken sıvının aktığı borunun etrafına manyetik alan meydana getiren bobin yerleştirilir. Bobine dik olarak yerleştirilen iki elektrot ile iletken sıvıda indüklenen emk'nın değeri ölçülür. İndüklenen emk'nın değeri akışkanın hızı ile doğrusal olarak değişmektedir.



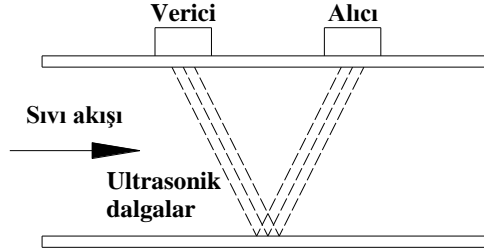
Şekil 3.3. Elektromanyetik debi ölçümü

Elektromanyetik akış ölçerler, ölçüm sırasında debi düşümü yaratmazlar, akışkanın viskozite, basınç, sıcaklık değişiminden etkilenmezler. Yatay ve dikey şekilde montaja uygundur ve ölçüm sırasında akışı engellemediğinden kimya, ilaç, gıda, kağıt hamuru, su ve benzeri uygulamalar için uygundur.

3.2.4. Ultrasonik debi ölçümü

Ultrasonik debi ölçerler; sesin yayılma frekansının akan ortamın meydana getirdiği frekans kayması ilkesine göre çalışırlar. Bu uygulama Dopler etkisine dayanır. Akışkanın içine gönderilen frekansı bilinen bir ultrasonik ses, akışkanın içindeki partiküller, hava kabarcıklarından yansıtılarak geri döner. Dönen sinyalin frekansındaki

değişiklik akışkanın hızı ile orantılıdır. Bir diğer yöntemde, bir ultrasonik dalga sıvı içerisinde gönderilir. Alıcı algılayıcı bu dalgayı alır almaz ikinci bir dalga gönderir. İki dalganın arasındaki varış süresi farkından akışkanın hızı çıkarılabilir.



Şekil 3.4. Ultrasonik debi ölçümü

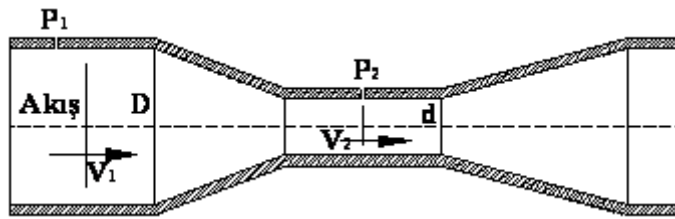
3.2.5. Fark basıncının ölçülmesi ile debi ölçümü

Fark basıncının elde edilmesi ile debi ölçümü, yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, akışkanın boru içerisinde akarken kısıtlanmış bir bölmeden geçirilmesi sonucu meydana gelen hız değişimi ve oluşan basınç farkından yararlanılır. Akışkanlar mekaniğine göre, boru içinden akan akışkanın hızı, boru kesiti ile ters orantılıdır. Yani kesit daralırken hız artar, basınç azalır. Dolayısıyla kesitin değişik değerlerde olduğu kısımlarda meydana gelen fark basıncının ölçülmesi ile debi ölçümü gerçekleştirilebilir. Basınç değişimi yardımıyla debinin ölçülmesi için, venturimetre, orifis ve akış lülesi gibi aletler tasarlanmıştır.

3.2.5.1. Venturimetre

Kısılma etkisine göre çalışan venturi boru, ölçümü yapılacak olan akışkanın aktığı boruya bağlanır. Venturimetrenin tasarımından dolayı, akış özelliklerinde

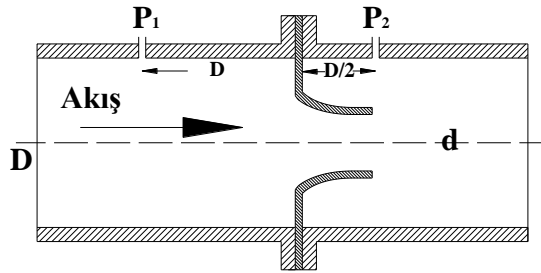
herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Tüpün incelerek boğaz oluşturan en dar kesitli kısmında, akışkan hızı en büyük değerini alırken akışkan basıncı düşer ve tüpün geniş kesitli kısmı ile dar kesitli kısmı arasında bir basınç farkı oluşur. Basınç farkı, venturimetrenin giriş ve çıkışına bağlanmış basınç ölçerler yardımıyla ölçülür. Bu ölçüm sonucu elde edilen basınç değerleri yardımıyla tüp içinden geçen akışkanın debisi tespit edilir. Kütleli veya hacimsel debi hesaplanırken "*Bernoulli Denklemi*" ve "*Süreklilik Denklemi*" nden yararlanılır. Debi, direk basınç farkı ile orantılı olduğu için gösterge üzerinde skala, hız, hacimsel debi yada kütleli debi ile taksimatlandırılır.



şekil 3.5. Venturimetre ve basınç ölçüm noktaları

3.2.5.2. Düze

Venturimetreden farklı olarak, kesit daralmasının bir düfizör konisi tarafından gerçekleştirildiği düze ile debi ölçümü yapılabilmektedir. Venturimetreye göre daha küçük boyutlarda olması, maliyetinin düşük olması ve boru sistemi içerisine kolaylıkla yerleştirilebildiklerinden daha çok tercih edilirler.



şekil 3.6. Düze ve basınç ölçüm noktaları

4. DOĞRU AKIM MOTORLARI VE HIZ KONTROLÜ

Motor hız kontrol sistemleri, küçük güçlerden büyük güçlere kadar oldukça geniş bir güç aralığında kullanılmaktadır. Çok hassas konum kontrol sistemlerinden, pompalarda akışkan debi kontrolüne kadar çeşitli uygulama alanlarında hız kontrolü yapılmaktadır.

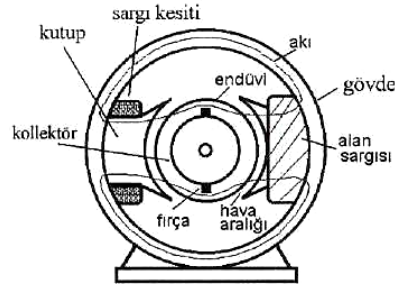
Bu tez çalışmasında, deney tesisatında kullanılacak olan elektrik fanının kalıcı mıknatıslı doğru akım elektrik motoru ile çalışmasından dolayı, bu bölümde doğru akım motorları ve hız kontrol yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

4.1. Doğru Akım Motorları ve Yapısı

Doğru akım motoru, elektromekanik güç dönüşümü yapan bir elektrik makinesidir. Uygulanan doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirler. Kontrol yöntemlerinin kolay olması açısından, konum ve hız kontrol uygulamalarında çokça kullanılmaktadırlar.

Bir doğru akım motoru basit olarak; endüvi (rotor), endüktör (stator), kollektör, fırçalar ve gövdeden meydana gelir. *Endüktör*, sabit kısımdır; makinenin gücüne bağlı olarak sabit mıknatıslı yada elektromıknatıslıdır. Elektromıknatıslı olanlarda sabit manyetik alanın meydana getirilmesi için kutup nüvelerinin üzerine sarılmış sargılar bulunur. *Endüvi*, dönen kısım olup üzerinde belirli bir kalıpta sarılmış ve makinenin çalışmasına göre momentin yada doğru gerilimin indüklendiği endüvi sargılarını bulundurur. Endüvi ile aynı mil üzerine geçirilmiş olan *kollektör* ve kollektör dilimleri üzerine basan *fırçalar*, endüvi ile dış devre arasındaki elektriki bağlantıyı sağlarlar. Dış devreden uygulanan doğru akım, kollektör ve fırçalar üzerinden endüvi iletkenlerine

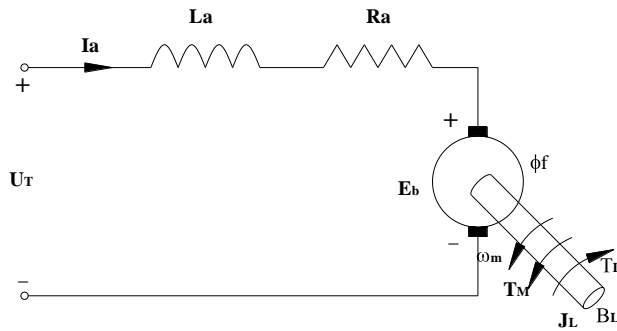
aktarılır. Manyetik alan içerisinde akım taşıyan iletkenlerin manyetik alan dışına itilmesi prensibine göre endüvi iletkenleri itileceğinden motor dairesel ekseninde dönmeye başlar. Şekil 4.1’de doğru akım motorunun yapısı verilmiştir.



Şekil 4.1. Doğru akım motorunun yapısı (Bal, 2001)

4.1.1. Doğru akım motoru eşdeğer devresi

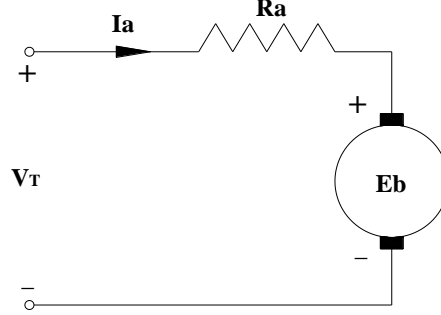
Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoruna ait modellemenin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 4.2’te verilmiş olan eşdeğer devreden faydalanılır. Şekil 4.2.’de, motora uygulanan doğru gerilim U_T , endüvi sargularından geçen akım I_a , endüvi sarguları omik direnci R_a , endüvi sargısı endüktansı L_a , uyarım sargısı direnci R_f , endüvide meydana gelen zıt emk E_b , mıknatısların toplam manyetik akısı ϕ_f , üretilen moment T_m , motor açılma hızı ω_m , yük momenti T_L , sönüm katsayısı B_L ve toplam eylemsizliği J_L ile ifade edilmektedir.



Şekil 4.2. Doğru akım motoru eşdeğer devresi (Duran, 2001)

Motor dönüyorken manyetik akının etkisi ile endüvide zıt emk oluşur.

$$E_b = k_e \phi_f \omega_m \quad (4.1)$$



Şekil 4.3. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru eşdeğer devresi (Bal, 2001)

k_e motorun yapısına bağlı olan motorun gerilim sabitidir. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motorunda manyetik alan sabit olduğu için zıt emk,

$$E_b = k_m \omega_m \quad (4.2)$$

olarak yazılabilir. $K_m = K_e \omega_m$ olup motor sabiti olarak adlandırılır. Şekil 4.3' te verilmiş olan kalıcı mıknatıslı doğru akım motoruna ait eşdeğer devreden;

$$V_T = E_b + I_a R_a \quad (4.3)$$

yazılır. Doğru akım motorlarında moment, manyetik akı ve endüvi akımı arasındaki ilişki ile elde edilir.

$$T_m = \frac{E_b I_a}{\omega_m} = \frac{k_m \omega_m I_a}{\omega_m} = k_m I_a \quad (4.4)$$

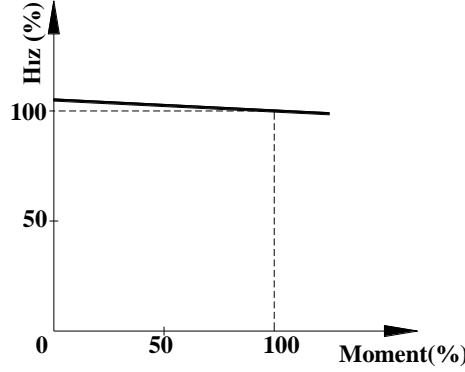
Burada k_m motorun yapısına bağlı olan sabit katsayı değeridir. Diğer eşitliklerden yararlanılarak kalıcı mıknatıslı doğru akım motoruna ait hız denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\omega_m = \frac{V_T - I_a R_a}{k_m} \quad (4.5)$$

Hız-moment ilişkisini gösteren denklem ise şu şekilde elde edilir.

$$\omega_m = \frac{V_t}{K_m} - \frac{R_a}{k_m^2} T_m \quad (4.6)$$

Denklem 4.6' da, kalıcı mıknatıslı doğru akım motorlarında manyetik alan sabit olacağından hız değişiminin uygulanacak gerilimin genliğinin değiştirilmesi ile sağlanabileceği görülür. Tek değişkenin uygulanan gerilim olması sonucunda motora ait hız – moment karakteristiği doğrusal çıkacaktır.



Şekil 4.4. Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru hız-moment karakteristiği (Bal, 2001)

4.2.Doğru Akım Motorlarında Hız Kontrolü

Doğru akım motoruna ait hız-moment ilişkisini gösteren denkleme göre bir doğru akım motorunun hız kontrolü genel olarak aşağıdaki yöntemlerden biri kullanılarak yapılabilir.

- Motora uygulanan gerilimin genliği değiştirilerek,
- Alan sargısının manyetik alanı değiştirilerek,
- Endüvi devresine direnç ilave edilerek.

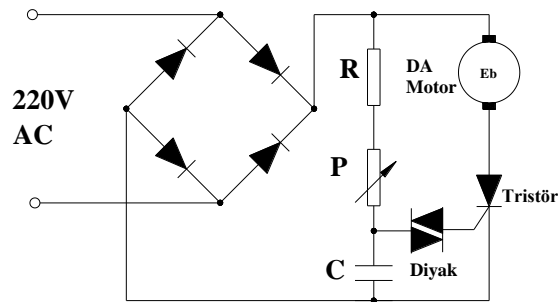
Yukarıdaki yöntemler içerisinde en çok kullanılanı gerilimin ayarlanmasıyla gerçekleştirilen hız kontrol yöntemidir. Ayarlı doğru gerilim yardımıyla yapılan hız kontrol yönteminde elde edilen hız-moment karakteristiklerinin eğimi değişmezken hız sıfırdan anma hızına kadar ayarlanabilmektedir.

Endüvi devresine bağlanacak olan ayarlı bir direnç vasıtasıyla gerçekleştirilecek olan yöntemde ise, kullanılan direnç ile bir gerilim bölücü devre meydana getirilmektedir. Bu nedenle gerilimin bir kısmı ayarlı direnç üzerinde düşeceğinden motor endüvisine genliği değişmiş bir gerilim uygulanmış ve böylelikle motor hızı ayarlanmış olur. Bu yöntem, ucuz ve basit bir yöntem olmasına rağmen seri bağlanacak olan dirençte bakır kayıpları meydana gelmesi, direnç değeri arttıkça hız-moment eğrisinin eğiminin artması gibi bazı sakıncaları bulunmaktadır.

Bu yöntemde endüviye uygulanan gerilim sabit kalırken uyartım devresine bağlanan seri direnç yardımıyla uyartım akımı ayarlanır. Sadece alan sargısının oluşturduğu manyetik alan değiştirilerek motorun hız kontrolü yapılacak olursa, motorun hızı ancak hızın üzerinde bazı hız değerlerine ayarlanabilir.

4.2.1. Motora uygulanacak gerilimin genliğinin değiştirilmesi ile hız kontrolü

Bu yöntemde, elektromıknatıslı olan doğru akım motorunun alan sargısına sabit bir gerilim uygulanırken endüviye değişken doğru gerilim uygulanarak hız ayarı yapılır. Ayarlı bir doğru gerilim elde edilmesi herhangi doğru akım güç kaynağından yararlanılabilir. Şekil 4.5' te ayarlı doğru gerilim elde edilmesi amacıyla yapılmış bir devre verilmiştir. Bu devre ile doğru akım motoruna ayarlı doğru gerilim uygulanması ile motor hızı basitçe ayarlanabilmektedir.

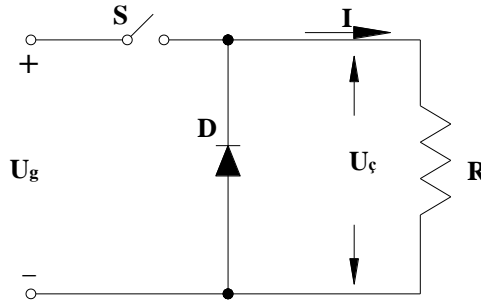


Şekil 4.5. Doğru akım motorlarında tristörle hız kontrolü

Şebekeye direk bağlanabilmesi amacıyla devreye bir köprü doğrultma devresi eklenmiştir. Devrede bulunan tristörün, tetikleme açısının ayarlanması ile gerilim ayarlanabilmektedir. Direnç ve kondansatörün değerlerine bağlı olarak diyağın iletme geçişi ayarlanarak tristörün tetikleme açısı ayarlanmaktadır. Değişken genlikli doğru gerilim elde etmek için devrede bulunan ayarlı direncin değerini değiştirmek yeterlidir. Böylece motora uygulanan gerilim değeri ayarlanarak hız kontrolü gerçekleştirilmiş olur.

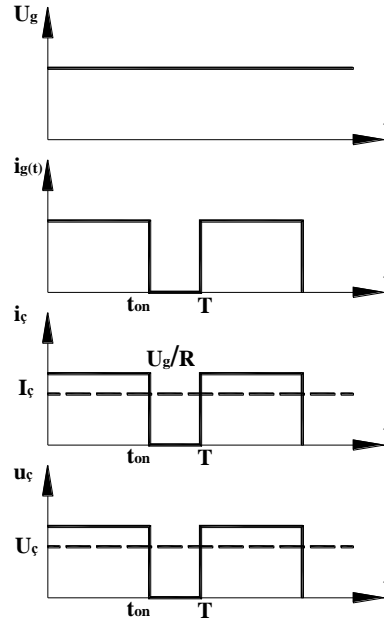
4.2.2. Doğru akım motorlarında devre kesiciler yardımı ile hız kontrolü (Bal, 2001)

Sabit gerilimli doğru akım kaynağından ayarlanabilir doğru akım elde edilebilmesi için yarı iletken devre kesiciler kullanılabilir. Doğru akım kaynağından beslenen ve hız kontrolünün uygulandığı sistemlerde, yarı iletken devre kesiciler yardımıyla belli bir frekansta, kaynağın akımının kesilmesi ile değişken genliklere sahip ortalama değeri olan doğru akımlar elde edilebilir. Bu gerilimin hız kontrolünün yapılışı istenen motora uygulanarak hız kontrolü yapılır. Bir devre kesicisinin temel çalışması Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Temel devre kesici devresi (Bal, 2001)

Kesici devresinde, S anahtarı yerine, tristör veya transistör gibi yarı iletken anahtarlar kullanılır. Aşağıdaki şekillerde bu devreye ait giriş – çıkış dalga şekilleri verilmiştir.



Şekil 4.7. Kırıcının giriş-çıkış akım ve gerilim dalga şekilleri (Bal, 2001)

Genliği ayarlanacak olan doğru gerilim U_g yarı iletken bir anahtar ile bir periyotta t_{on} süresince yüke uygulanır. Giriş gerilimi $u_{g(t)}$ değeri sabit olup U_g genliğindedir. t_{on} süresince anahtar kapalı olduğu için çıkış gerilimi kaynak gerilimine eşit olur $u_{ç(t)} = U_g$ ve dolayısıyla çıkış akımı $i_{ç(t)} = U_g/R$ olur. $t_{on} < t < T$ süresince anahtar açık olduğu için çıkış gerilimi $u_{ç(t)} = 0$ olur ve dolayısıyla çıkış akımı da $i_{ç(t)} = 0$ olur. Bir periyotluk süre için gerilim ve akım değerleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$u_{ç(t)} = \begin{cases} U_g; & 0 < t \leq t_{on} \\ 0; & t_{on} < t \leq T \end{cases}$$

$$i_{ç(t)} = \begin{cases} U_g/R; & 0 < t \leq t_{on} \\ 0; & t_{on} < t \leq T \end{cases} \quad (4.7)$$

olarak yazılabilir. Giriş akımı ile Şekil 4.7'de gösterilen çıkış akımı aynıdır.

$$i_{g(t)} = i_{ç(t)} \quad (4.8)$$

Anahtarlama süresi değişmedikçe dalga şekilleri T periyoduyla tekrarlayacaktır. $U_{g(t)}$ çıkış geriliminin T periyodundaki ortalama değeri;

$$U_{ç} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{ç(t)} dt = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} U_g(t) dt \quad (4.9)$$

$$U_{\zeta} = \frac{t_{on}}{T} U_g \quad (4.10)$$

Çıkış akımının ortalama değeri denklem 4.11'deki gibi elde edilir.

$$I_{\zeta} = \frac{U_{\zeta}}{R} \quad (4.11)$$

5. ORİFİS İLE DEBİ ÖLÇÜMÜ

Bu bölümde; Nisan 2006'da yayımlanmış olan “*TS EN ISO-5167-2 Borularda Akışkan Akışının Ölçülmesi – Sıvılar İçin - Dolu Akan Daire Kesitli Borular İçerisine Yerleştirilen Basınç Farkı Cihazları İle - Bölüm 2: Orifis Plakaları*” standartından yararlanılarak orifis tasarımından bahsedilecektir.

5.1.Orifis Kavramı

Gazların debilerinin, orifisle ölçümü özel önemi olan bir konudur. Bu yöntemde, akışkan debisi, doğrudan değil de akışkan yoğunluğu ile etki basıncı çarpımının karekökü orantısından yararlanarak belirlenir. Çevre koşullarının değişimi veya akışın salınımlı olması bu yöntemin kullanılmasında bazı konulara dikkat edilmesini gerektirir.

Sıvı veya gaz şeklindeki akışkanların debilerinin ölçülmesi, gerek kimya ve petrokimya endüstrisindeki tepkimeleri yönlendirmek, gerekse su, gaz ve benzeri diğerlerinin eksilen miktarlarını belirlemek bakımından, büyük öneme sahiptir; özellikle gazlar, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak çok kolay hacim değiştirdiklerinden, bunların debilerinin tam ve kesin belirlenmesi, güncelliğini koruyan bir ölçme problemi olarak durmaktadır. Tekniğin gelişme süreci içinde devamlı yeni debi ölçme yöntemleri geliştirilmekte ve çeşitli denemelerden geçirilerek uygulamaya alınmaktadır. Bu değişik yeni yöntemler akışkan maddenin özelliklerine ve konstrüktif sınırlara bağlı olarak, belli alanlarda kullanılabilir (Can, 1987).

Orifis ile debi ölçme yönteminde, orifis plakasının boru içerisinde akan akışkan içerisine yerleştirilmesi esas alınır. Orifis plakası ile, plakanın akışkanın akış yönüne bağlı olarak iki yönünde statik basınç meydana gelir. Akışa ait kütleli debi, Denklem 5.1 ile elde edilir. (TS EN ISO 5167-2).

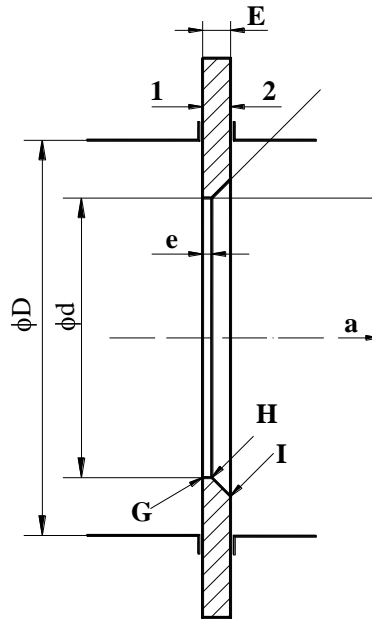
$$\dot{m} = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_2)\rho} \quad (5.1)$$

Hacimsel debi, kütleli debinin akışkanın yoğunluğuna oranlanmasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5.2)$$

5.2. Orifis Plakası ve Özellikleri (TS EN ISO 5167-2)

Orifis plakası; merkezi, akışkanın aktığı boru ile çakışan dairesel kesitli bir plaka olarak tasarlanır. Plaka yüzleri düz ve birbirine paraleldir. Standart orifis plakasına ait kesit görünüşü Şekil 5.1' de olduğu gibidir.



Şekil 5.1. Standart orifis plakası (TS EN ISO 5167-2)

- | | |
|---|---------------------|
| 1 | Akış yukarı yüz (A) |
| 2 | Akış aşağı yüz (B) |
| a | Akış yönü |

e	Orifis kalınlığı
E	Plaka kalınlığı
α	Pah açısı
G, H ve I	Akış yukarı ve akış aşağı kenarlar
D	Boru çapı
d	Orifis çapı

Orifis tasarımı ile ilgili olarak aşağıdaki kurallar uygulanmalıdır. (TS EN ISO 5167-2)

- Boru içerisinde herhangi bir akış yokken yani basınç farkı sıfırken plakanın akış yönü yüzü olan A düz olmalıdır.
- Akış aşağı yüz, düz ve akış yukarı yüzüne paralel olmalıdır.
- Orifis kalınlığı e , $0,005D$ ile $0,02D$ arasında olmalıdır.
- Plaka kalınlığı E , orifis kalınlığı e ile $0,05$ arasında olmalıdır.
- Plakanın kalınlığı E , orifisin kalınlığı e' den fazla ise, plakanın akış aşağısına pah yapılmalıdır. Pahlı yüzey pürüzsüz olmalı ve pah açısı $45^\circ+15^\circ$ olmalıdır.
- Orifisin çapı d , bütün durumlarda en az 12,5 mm olmalıdır. Çap oranı $\beta = d/D$ daima, en az 0,10 ve en fazla 0,75 olmalıdır.

Orifis plakası iki yönlü akımları ölçmek için kullanıldığında, aşağıdakiler sağlanmalıdır (TS EN ISO 5167-2):

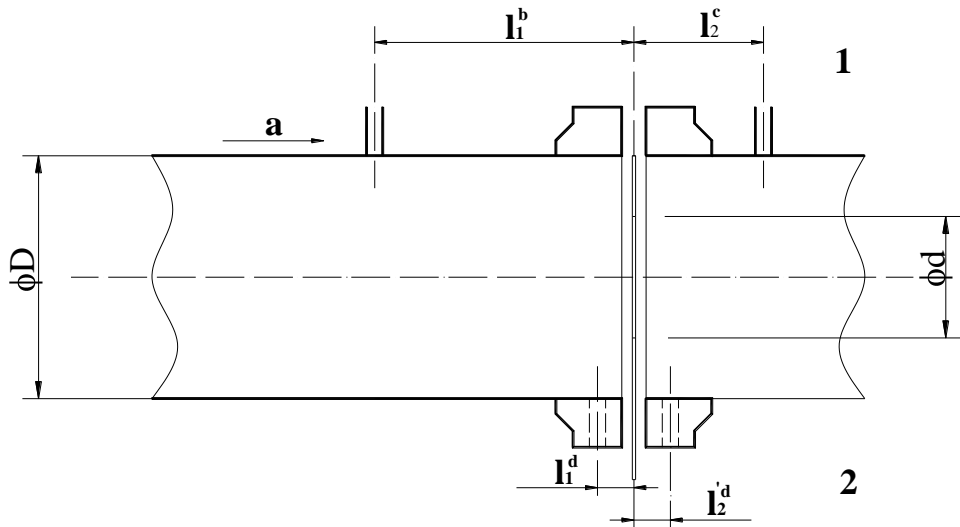
- Plaka pahlı olmamalıdır,
- Plakanın her iki yüzü, akış yukarı yüz için verilen özelliklere sahip olmalıdır,
- Plakanın E kalınlığı, orifis kalınlığı e 'ye eşit olmalı; bu durumda, plakanın çarpılmasını önlemek için basınç farkının sınırlanması gerekli olabilir.
- Orifisin her iki kenarı, akış yukarı kenarı için belirtilen özelliklere uygun olmalıdır.

5.3.Basınç ölçme delikleri (TS EN ISO 5167-2)

Her bir orifis plakası için, standartlarda belirtilmiş şekliyle akış yukarı ve akış aşağı kısımlara birer adet basınç ölçme deliği yerleştirilir. Bunlar; D ve $D/2$, *flânş* veya *köşe basınç ölçme delikleri*dir.

5.3.1. D ve $D/2$ ölçme delikli orifis plakaları ve flânş ölçme delikleri (TS EN ISO 5167-2)

D ve $D/2$ çaplı basınç ölçme delikleri olan orifis plâkaları için Şekil 5.2' den yararlanır. Akış yukarı ölçme delikleri, l_1 boyutunun anma değeri olarak D 'ye eşit olmalıdır. Akış aşağı tarafındaki basınç ölçme deliğinin anma boyutu, l_2 olarak $0,5D$ 'ye eşit olmalıdır. Basınç ölçme deliklerinin çapları $0,13D$ veya 13 mm 'den daha küçük olmalıdır. Basınç ölçme delikleri, dairesel kesitli ve borunun iç yüzeyinden itibaren, basınç ölçme deliklerinin iç çapının en az 2,5 katı kadar uzunluk boyunca silindirik şeklinde olmalıdır.

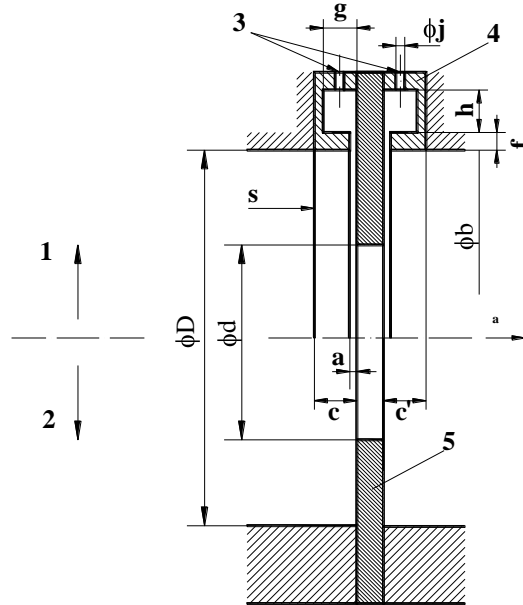


Şekil 5.2. D ve $D/2$ delikli ve flânşlı basınç ölçme delikli orifis plakaları (TS EN ISO 5167-2)

- 1 D ve D/2 basınç ölçme delikleri
- 2 Flanş delikleri
- a Akış yönü
- b $l_1 = D + D/2$
- c $\beta < 0,6$ için $l_2 = 0,5D \pm 0,02D$
 $\beta > 0,6$ için $0,5D \pm 0,01D$
- d $\beta > 0,6$ ve $D < 150$ mm için $l_1 = l_2 = (25,4 \pm 0,5)$ mm
 $\beta < 0,6$ için $(25,4 \pm 1)$ mm
 $\beta > 0,6$ ve 150 mm $< D < 1000$ mm için $(25,4 \pm 1)$ mm

5.3.2. Köşe ölçme delikli orifis plakaları (TS EN ISO 5167-2)

Köşe ölçme delikli orifis plakaları için Şekil 5.3' ten yararlanılır. Bu metot için ölçme deliklerinin merkez eksenleri ile plakanın buldukları yüzleri arasındaki mesafe, çapın veya ölçme deliği genişliğinin yarısına eşit olmalıdır. Böylece, boru kenarındaki deliklerin, plaka yüzeyinden çıkıntı yapmaması sağlanmış olur.



Şekil 5.3. Köşe delikleri (TS EN ISO 5167-2)

- 1 Dairesel yarıklı taşıyıcı halka
 2 Tek delikler
 3 Basınç ölçme delikleri
 4 Taşıyıcı halka
 5 Orifis plakası
 a Akış yönü
 f Yarık kalınlığı
 c Akış yukarı dairenin uzunluğu
 c' Akış aşağı dairenin uzunluğu
 b Taşıyıcı halka çapı
 a Dairesel yarığın genişliği veya tek deliğinin çapı
 s Akış yukarı basamaktan taşıyıcı halkaya kadar mesafe
 g, h Dairesel kapalı boşluk boyutu
 Φ_j ; Kapalı boşluk delik çapı

5.4. Orifis Katsayıları (TS EN ISO 5167-2)

5.4.1. Boşaltım katsayısı (C)

Boşaltım katsayısı, (ISO) denkleminde yararlanılarak hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 C = & 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6\beta}{Re_D}\right)^{0,7} \\
 & + \left(0,0188 + 0,0063 \left(\frac{19000\beta}{Re_D}\right)^{0,8}\right) \cdot \left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{0,3} \cdot \beta^{3,5} \\
 & + (0,043 + 0,08e^{-10L_1} - 0,123e^{-7L_1}) \left(1 - 0,11 \left(\frac{19000\beta}{Re_D}\right)^{0,8}\right) \frac{\beta^4}{1-\beta^4}
 \end{aligned}$$

$$-0,031 \left(\frac{2L_2}{1-\beta} - 0,8 \left(\frac{2L_2}{1-\beta} \right)^{1,1} \right) \beta^{1,3} + 0,11(0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{25,4} \right) \quad (5.3)$$

Denklem 5.3'te, β çap oranı d/D ve Re_D reynold katsayısıdır. Reynold katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Re_D = \frac{vD}{\nu} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (5.4)$$

Denklem 5.4' te, ν kinematik viskoziteyi ifade eder. Basınç ölçüm noktalarının orifis plakasına olan uzaklığına göre L_1 ve L_2 aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$L_1 = L_2 = 0$	Köşe basınç ölçme delikleri için,
$L_1 = 1$ ve $L_2 = 0,47$	D ve D/2 basınç ölçme deliği için,
$L_1 = L_2 = 0,0254/D$	Flanşta basınç ölçme deliği için.

5.4.2. Genleşme katsayısı (ϵ)

Genleşme katsayısı ϵ sadece gazlar için aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\epsilon = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4) \frac{\Delta p}{\chi p_1} \quad (5.5)$$

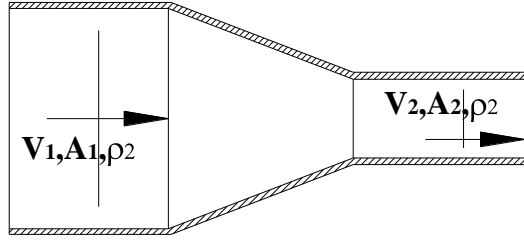
Denklem 5.5'te izentropik sabiti hava için $\chi = 1,4$ olarak alınır.

5.4.3. Hacimsel ve kütleli debi hesabı

Sıkıştırılmayan akışkanlar için orifis plakası kullanılarak yapılacak olan debi hesabı için Bernoulli prensibinden yararlanılır. Bernoulli prensibi Denklem 5.6' teki gibidir.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2} + g \cdot z_2 + \frac{\Delta p_{1,2}}{\rho} \quad (5.6)$$

Denklem 5.6' ta; w_1 akışkanın kesitin daralmasından önceki hızını, w_2 akışkanın daralmış kesitteki hızını, ρ akışkanın yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, z geometrik yüksekliği ifade etmektedir. Şekil 5.4' te daralan kesitte meydana gelen akış gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Daralan kesitte akış

Basınç kaybı çok küçük olduğundan $\Delta p_{1,2}=0$ ve $g \cdot z_1 = g \cdot z_2$ olacağından hacimsel debi ile giriş ve çıkış hızları,

$$w_1 = \frac{4\dot{V}}{\pi D^2} \quad w_2 = \frac{4\dot{V}}{\pi d^2} \quad (5.7)$$

yazılabilir. D , akışkanın aktığı boru çapını ve \dot{V} , hacimsel debiyi ifade eder. Hız artışından dolayı orifis bir basınç düşümüne sebep olur. Basınç düşüşünün değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{1}{2} \left(\frac{16\dot{V}^2}{\pi^2 d^4} - \frac{16\dot{V}^2}{\pi^2 D^4} \right) \quad (5.8)$$

veya,

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} = \frac{16\dot{V}^2}{\pi^2} \left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right) \quad (5.9)$$

Denklem 5.9' dan yararlanarak hacimsel debi denklem 5.10'daki gibi yazılabilir.

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (5.10)$$

$$E = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \quad (5.11)$$

Denklem 5.11’de, d/D oranı β ile ifade edilir. Hacimsel debi, Denklem 5.10’da yerine konulup akışkana ait C boşaltım katsayısı ile ε genleşme katsayısı eklendiğinde hacimsel debi aşağıdaki yazılır.

$$\dot{V} = C \cdot \varepsilon \cdot E \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (5.12)$$

Kütleli akış,

$$\dot{m} = \rho \dot{V} \quad (5.13)$$

olarak yazılırsa kütleli debi aşağıdaki şekilde elde edilir.

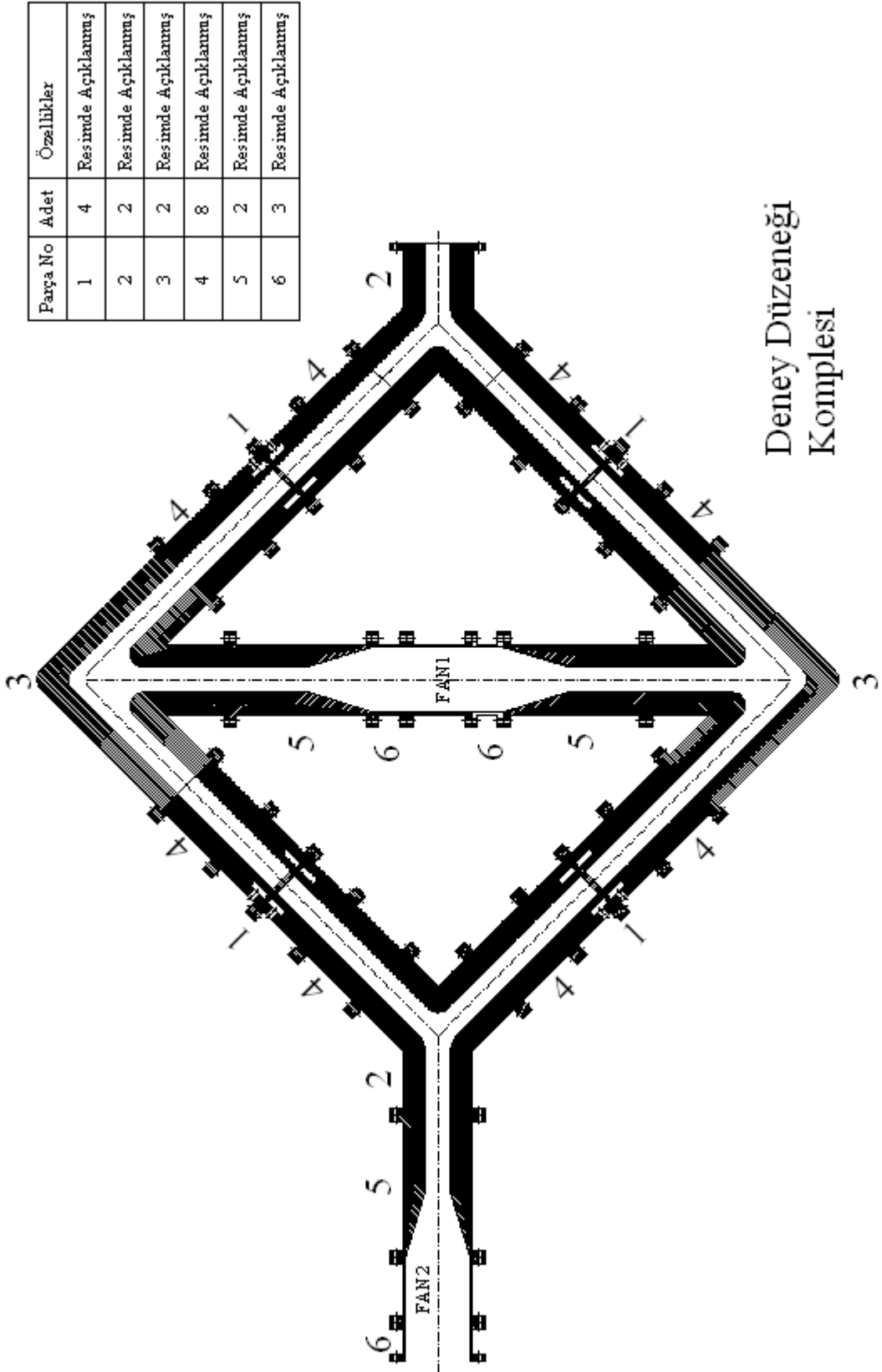
$$\dot{m} = C \cdot \varepsilon \cdot E \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_2)\rho} \quad (5.14)$$

6. DENEY TESİSATININ TANITILMASI DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deney Tesisatı

Dört adet orifis içeren deney tesisatının prensip şeması; elektrik ölçmelerinde ve algılayıcılarda kullanılan Wheatstone Köprüsü şeklindedir. Sistemde; oluşturulan köprünün ortasında, hava akışkanının sirkülasyonunu sağlayan bir adet $\Phi 55'$ lik çapa sahip 30 V'luk doğru akım ile çalışan fan ile sisteme ana hava girişinin sağlanması amacıyla sirkülasyon fanı ile aynı özelliklere sahip fan kullanılmıştır. Deney tesisatında kullanılacak olan sisteme ait deneysel şema Şekil 6.1' de olduğu gibi gerçekleştirilmiştir.

Deneyde ölçüme konu olan akışkan, hava olarak seçilmiştir. Tesisatın ortasında bulunan Sirkülasyon Fanı (2 No'lu Fan), tesisat içerisinde sürekli dolaşan bir hava debisi oluşturmaktadır. Şekil 6.1'den de anlaşılacağı üzere sirkülasyon fanının meydana getirdiği hava debisi iki kola ayrılarak bu işlemi yerine getirmektedir. Tesisat dışarıdan hava girişi olmadığı sürece dengede kalmaktadır. Tesisat dışından hava girişi sağlandığında, mevcut olan denge bozularak fanlara ait debilere bağlı olarak tesisat kollarında farkı debiler oluşmaktadır. Debi değişimiyle birlikte kollarında basınç farkı ölçülebilir. Ölçülen basınç farkından yararlanılarak tesisat şekline ve akışkan karakteristiklerine bakılarak sistemden geçen kütleli debi hesaplanabilir.



Şekil 6.1. Deney düzeneği kompleksi

Deney tesisatının oluşturulması için gerekli olan altı adet farklı tasarımda flanşlı parça yapılmıştır. Tesisatta kullanılacak olan parçalara özellikler Tablo 6.1’ de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deney tesisatında kullanılacak olan parçalar

Parça No	Adet	Özellikler
1	4	Orifis plakası ve orifis düzeneği
2	2	Havanın iki kola ayrılması için kullanılan bağlantı parçaları
3	2	Köşegenleri birbirine bağlantısı için kullanılan bağlantı parçaları
4	8	Orifisleri köşe kenarlara bağlayan bağlantı parçaları
5	2	Sirkülasyon fanını köşegenlere bağlayan bağlantı parçaları
6	3	Uzatma bağlantı parçaları. Sistemde kullanılacak olan iki adet elektrik fanının yerleştirileceği bağlantı parçaları.

6.1.1. Orifis Tasarımı

Sistemde kullanılacak olan dört adet orifis için Nisan 2006’da yayınlanmış olan “*Borularda Akışkan Akışının Ölçülmesi – Sıvılar İçin - Dolu Akan Daire Kesitli Borular İçerisine Yerleştirilen Basınç Farkı Cihazları İle - Bölüm 2: Orifis Plâkaları*” “*TS EN ISO-5167-2*” standardından yararlanılmıştır.

Orifis tasarımı için aşağıdakiler dikkate alınmıştır:

Akışkan cinsi	Hava
D	20 mm (Hava akışkanın akacağı borunun çapı)
d	10 mm (Orifis çapı)
Basınç ölçme	Köşe ölçme delikli
Malzeme cinsi	Polyamid

6.1.2. Deney tesisatında kullanılan parçaların tasarımı

Deney tesisatının tasarımında kullanılan parçalara ait detay çizimleri aşağıdaki şekillerde olduğu gibidir. Tasarımda, kolay işlenebilir ve sağlam malzeme olan Polyamid plastik malzeme kullanılmıştır.

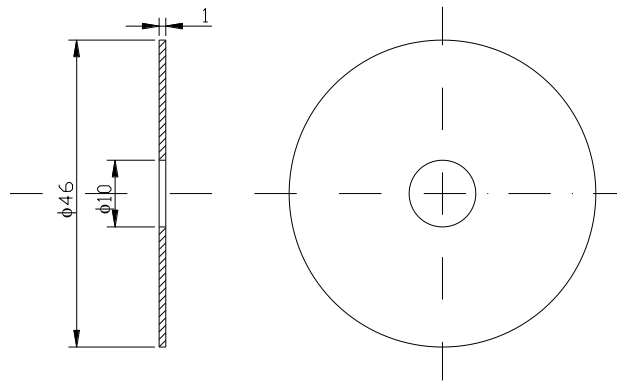
6.1.2.1. Orifis Plakası

Orifis kalınlığı *TS EN ISO-5167-2'* e göre $0,02D$ olarak alınmıştır. Buna göre akışkanın akacağı boru çapı 20 mm' den;

$E = 0,02D = 0,02 \cdot 20 = 0,4 \text{ mm}$ çıkmıştır. Ancak orifis plakasının kalınlığı 1 mm olarak tasarlanmıştır.

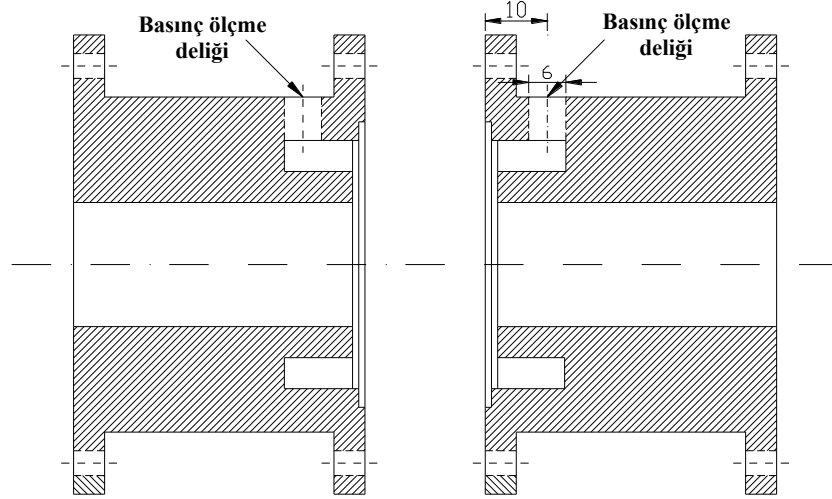
Orifis plakasından her iki yönde de akış olacağından orifis deliği pah yapılmadan tasarlanmıştır. Çap oranı $\beta = d/D = 0,5$ olduğundan orifis deliğinin çapı;

$d = \frac{D}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ mm}$ olarak tasarlanmıştır. Bu değerler göz önüne alınarak yapılan orifis plakası, Şekil 6.2' de olduğu gibidir.



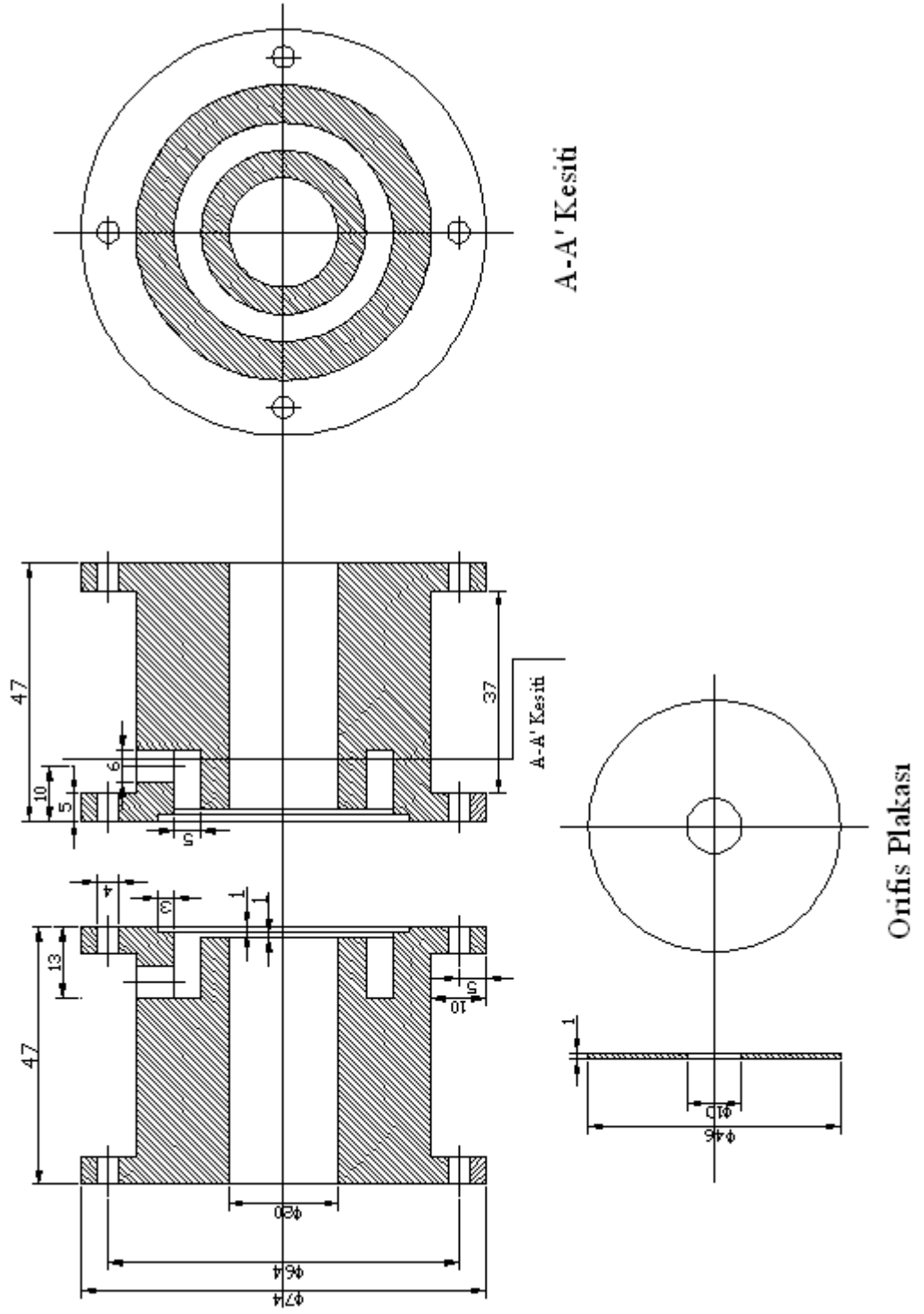
Şekil 6.2. Orifis plakası ölçüleri

Basınç ölçme delikleri için üç farklı tasarım (D ve $D/2$, flanş ve köşe ölçme delikli) yapılabileceği Bölüm 5’ te açıklanmıştır. Tasarlanan deney tesisatında kullanılacak olan orifisteki ölçme delikleri, köşe ölçme delikli olarak tasarlanmıştır. *TS EN ISO-5167-2*’ e göre dairesel kesitli olan basınç ölçme deliklerinin çapı $4 - 10 \text{ mm}$ arasında olmalıdır. Deney tesisatında deliklerin çapı 6 mm olarak alındı. Şekil 6.3’ te köşe basınç ölçme delikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Köşe basınç ölçme delikleri

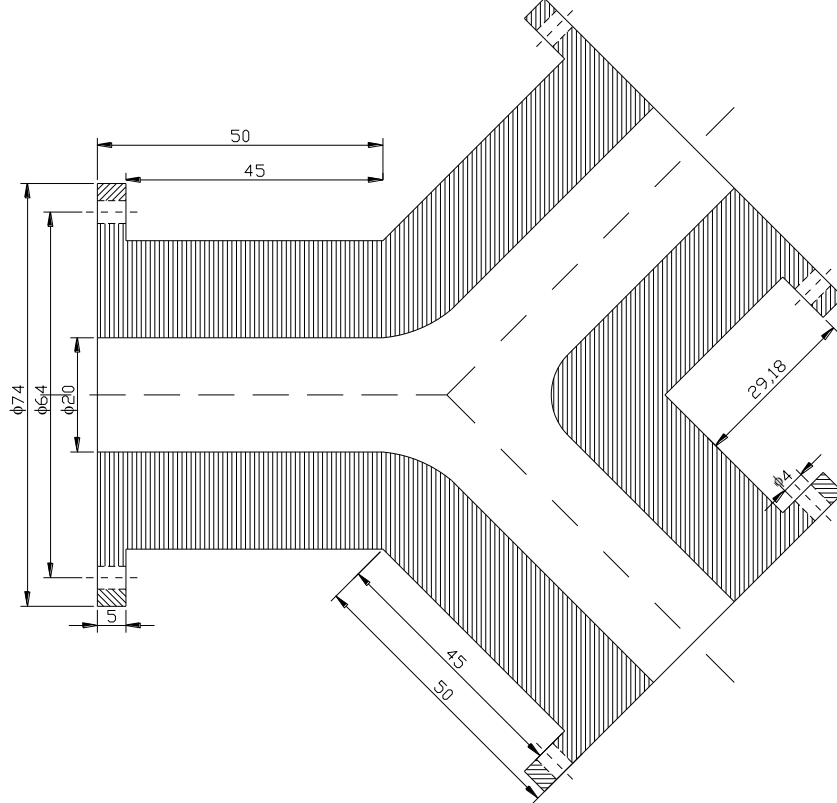
Yukarıda açıklanmış olan orifis plakası ve basınç ölçme deliklerinin birleştirilmiş hali Şekil 6.4’ te verilmiştir.



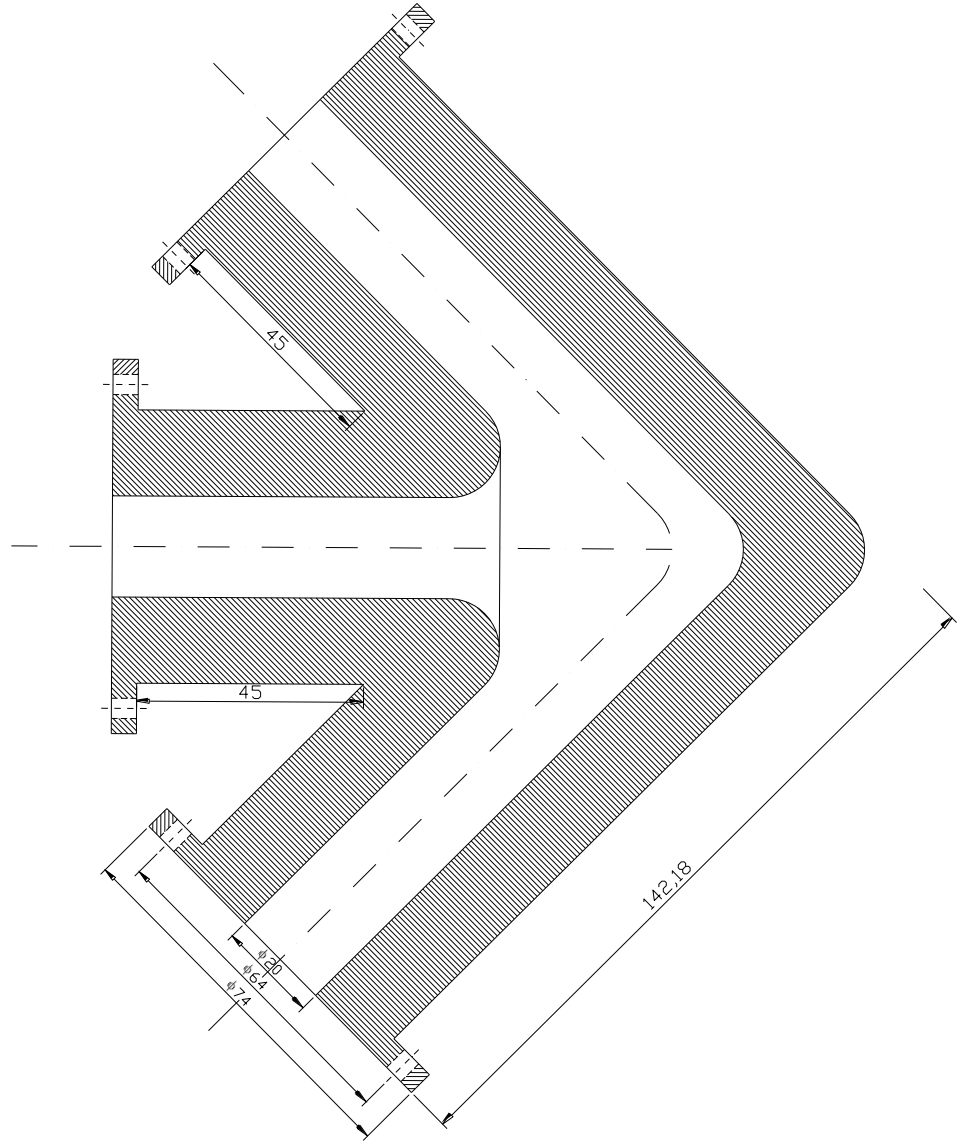
Şekil 6.4. Tasarımı yapılan orifis plakası ve orifis düzeneği (1 No'lu parça)

6.1.2.2. Diğer parçalar

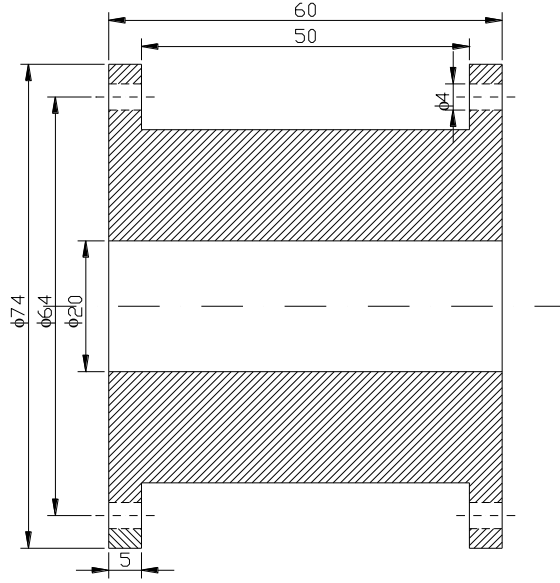
Diyagonal köşeleri birbirine bağlayan 2 ve 3 No'lu parçaların kesitleri, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da olduğu gibidir.



Şekil 6.5. Deney tesisatının 2 No'lu parçası

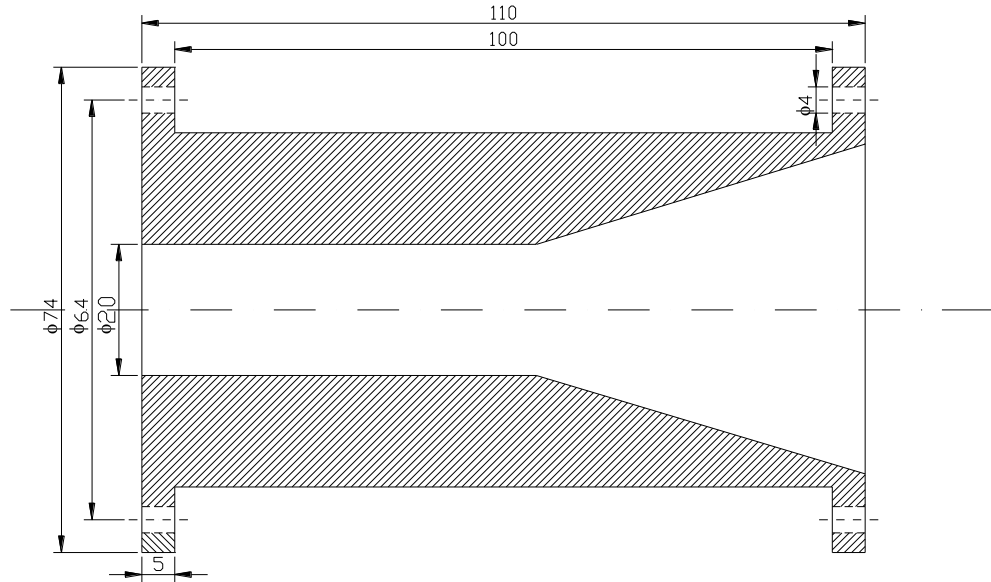


Şekil 6.6. Deney tesisatının 3 No'lu parçası



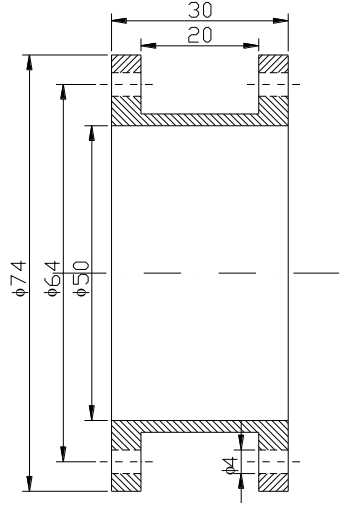
Şekil 6.7. Deneysel tesisatın 4 No'lu parçası

Deneysel tesisatın 4 No'lu parçası, orifislerin köşelere bağlantısının sağlanması için Şekil 6.7' de olduğu gibi tasarlanmıştır. Fanın geniş kesitten meydana getirdiği debinin boru çapına indirgenmesi için de Şekil 6.8' de gösterildiği gibi 5 No'lu tesisat parçası kullanılmıştır.



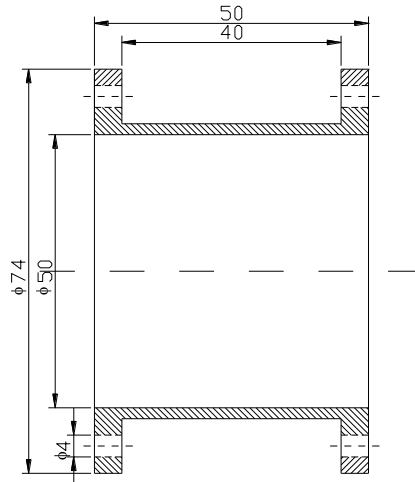
Şekil 6.8. Deneysel tesisatın 5 No'lu parçası

Şekil 6.9' da gösterilen 6 No'lu parça ile sirkülasyon fanının tesisata bağlantısı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.9. Deney tesisatının 6 No' lu parçası

Ana debiyi ve sirkülasyonu sağlayacak olan elektrik fanlarının yerleştirileceği parçalar Şekil 6.10'da olduğu gibidir.



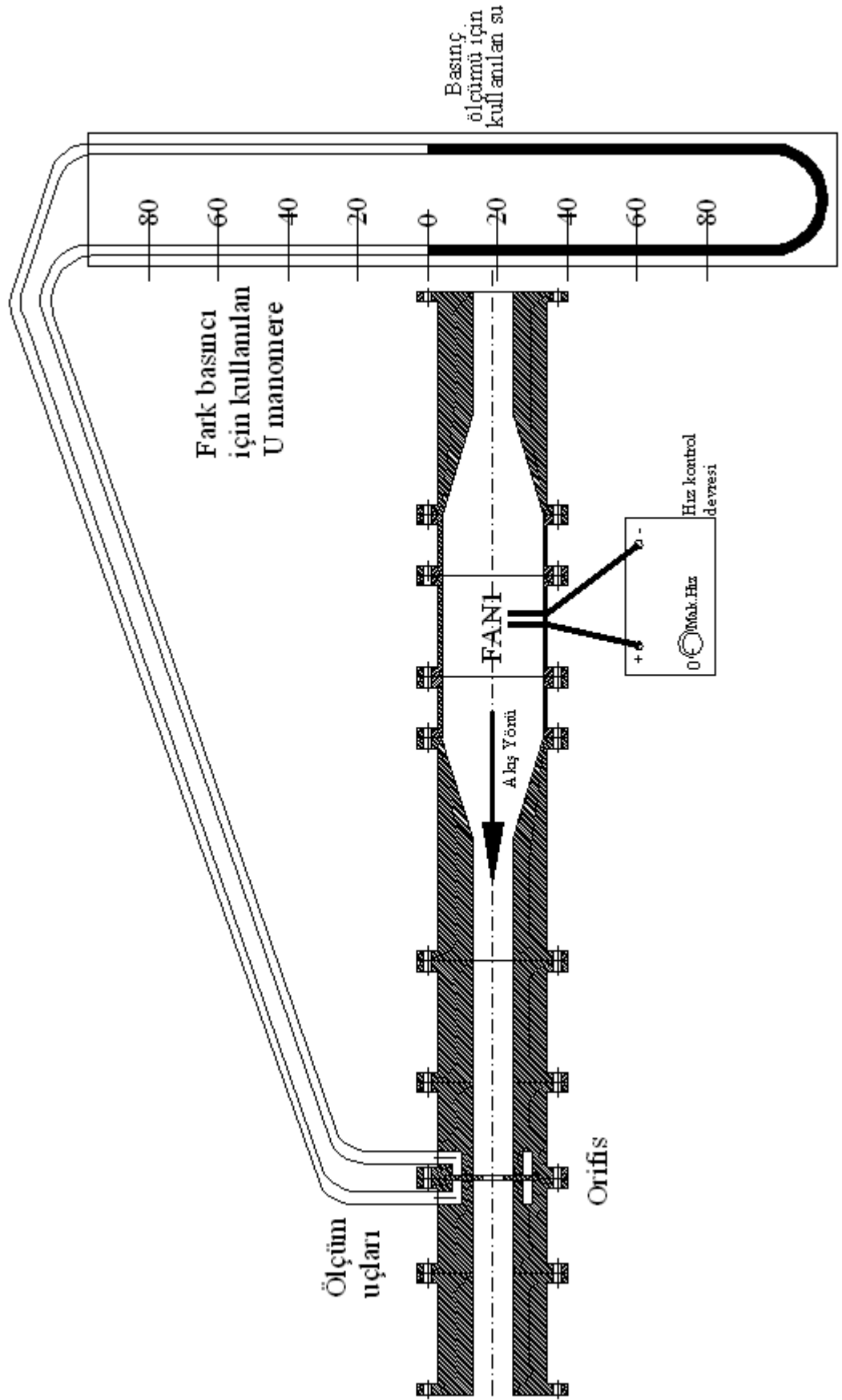
Şekil 6.10. Deney tesisatında kullanılacak olan fanların yerleştirileceği parçalar

6.1.3. Ana fan ve sirkülasyon fanı

Deney sırasında gerekli sirkülasyonun ve ölçüme konu olan ana debinin sağlanması için, $\Phi 55$ çapa sahip 30 V'luk doğru akım kaynağı ile beslenen iki adet elektrik fanı kullanılmıştır.

6.2. Orifis testleri

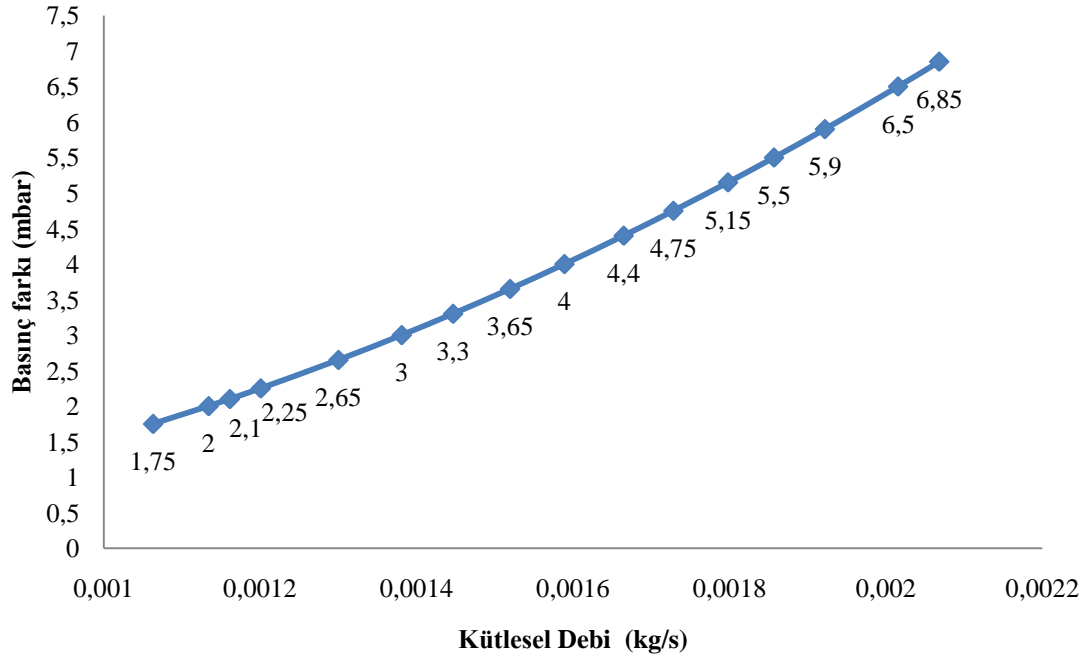
Deneyisel çalışmalara geçmeden önce, kullanılacak orifislerle doğru bir ölçüm gerçekleştirilmesi amacıyla bazı testler yapılmıştır. Burada amaç, deney sırasında meydana gelecek tasarımdan kaynaklanacak hataları azaltmaktır. Öncelikle orifislerin istenilen şekilde çalışıp çalışmadığının tespiti için bir fan yardımıyla ofislere değişken hava debisi uygulanmış ve bir U manometre yardımıyla oluşan basınç farkları ölçülerek tablolara kaydedilmiştir. Sonuçta olması istenen, değişen debiye karşılık olarak oluşan basınç farkının doğrusal değişimidir. Buna göre tasarımı yapılan dört adet orifise ait deney devresi ile elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.11. Orifis testleri için kullanılacak olan deney tesiatı

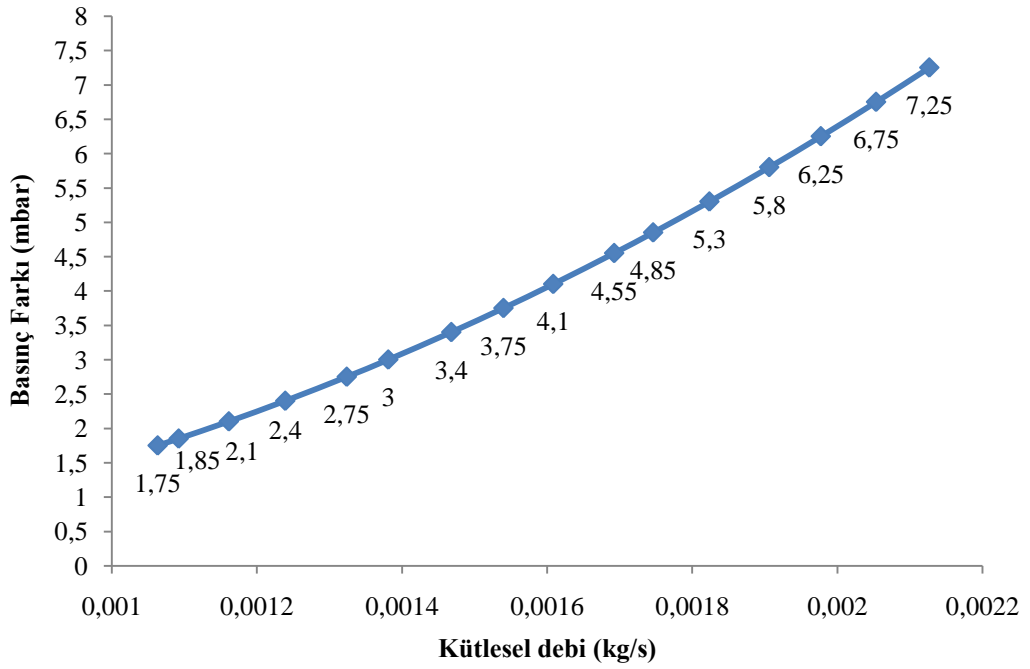
Tablo 6.2. 1 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri

1-1' Orifis Debi Ölçeri						
Ölçüm Sırası	Uygulanan Gerilim (U)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Basınç Farkı (mbar)	Akışkan Kütleli Debi (kg/s)	Akışkan Hacimsel Debi (m ³ /h)	Akışkan Hızı (m/s)
1	6,18	1027	1,75	0,0010631	3,181021	2,81
2	7,23	1202	2	0,0011341	3,392642	3
3	8,01	1333	2,1	0,0011613	3,473496	3,07
4	9,13	1519	2,25	0,0012008	3,591189	3,18
5	10,09	1679	2,65	0,0013002	3,886786	3,44
6	11,05	1839	3	0,0013811	4,127235	3,65
7	11,89	1979	3,3	0,0014467	4,322152	3,82
8	12,96	2157	3,65	0,0015196	4,538430	4,01
9	13,85	2302	4	0,0015891	4,744329	4,19
10	14,83	2465	4,4	0,0016649	4,96863	4,39
11	15,82	2630	4,75	0,0017285	5,156442	4,56
12	16,69	2775	5,15	0,0017983	5,362565	4,74
13	17,72	2946	5,5	0,0018571	5,536251	4,9
14	18,31	3044	5,9	0,0019222	5,727905	5,06
15	19,65	3267	6,5	0,0020158	6,003194	5,3
16	20,04	3332	6,85	0,0020684	6,157721	5,4

Şekil 6.12. 1 No'lu orifise ait kütleli debi (\dot{m}) - basınç farkı (ΔP) eğrisi

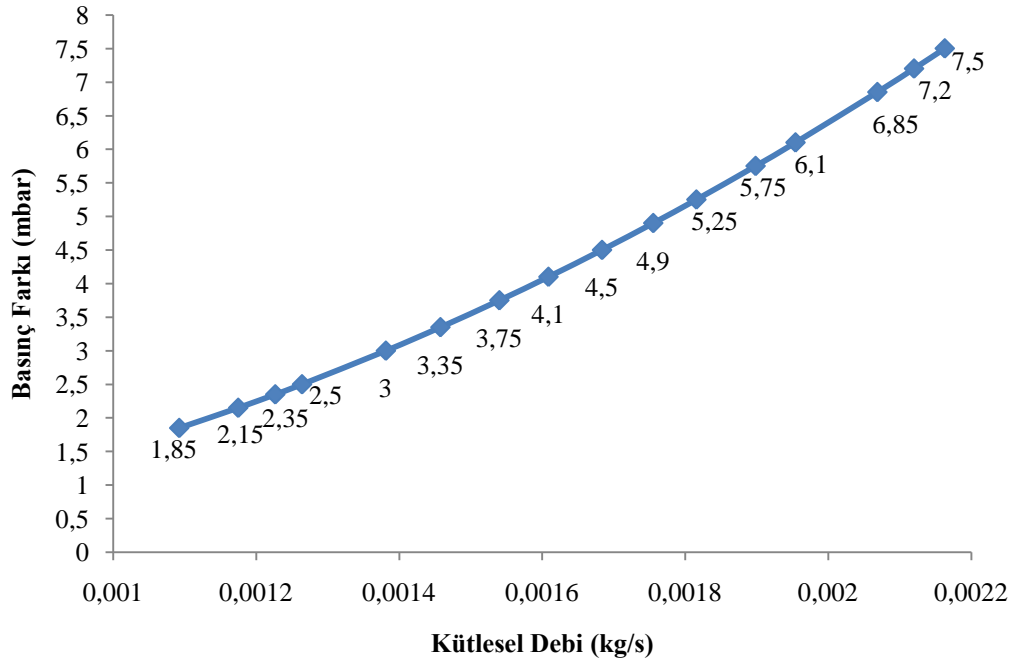
Tablo 6.3. 2 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri

2-2' Orifis Debi Ölçeri						
Ölçüm Sırası	Uygulanan Gerilim (U)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Basınç Farkı (mbar)	Akışkan Kütleli Debi (kg/s)	Akışkan Hacimsel Debi (m ³ /h)	Akışkan Hızı (m/s)
1	6,04	1004	1,75	0,001063	3,181021	2,81
2	7,12	1183	1,85	0,001092	3,267403	2,89
3	8,09	1344	2,1	0,001161	3,473496	3,07
4	9,11	1514	2,4	0,001239	3,704952	3,28
5	10,07	1674	2,75	0,001324	3,957059	3,5
6	11,08	1842	3	0,001381	4,127235	3,65
7	12,16	2021	3,4	0,001468	4,3851	3,88
8	13,15	2186	3,75	0,001539	4,59825	4,07
9	14,12	2347	4,1	0,001608	4,80144	4,25
10	15,14	2517	4,55	0,001692	5,05003	4,47
11	16	2660	4,85	0,001746	5,208784	4,61
12	16,96	2820	5,3	0,001824	5,437724	4,81
13	18	2993	5,8	0,001906	5,680636	5,02
14	18,86	3236	6,25	0,001977	5,890161	5,21
15	20,07	3337	6,75	0,002057	6,113998	5,41
16	21,27	3536	7,25	0,002127	6,32939	5,6

Şekil 6.13. 2 No'lu orifise ait kütleli debi (\dot{m}) - basınç farkı (ΔP) eğrisi

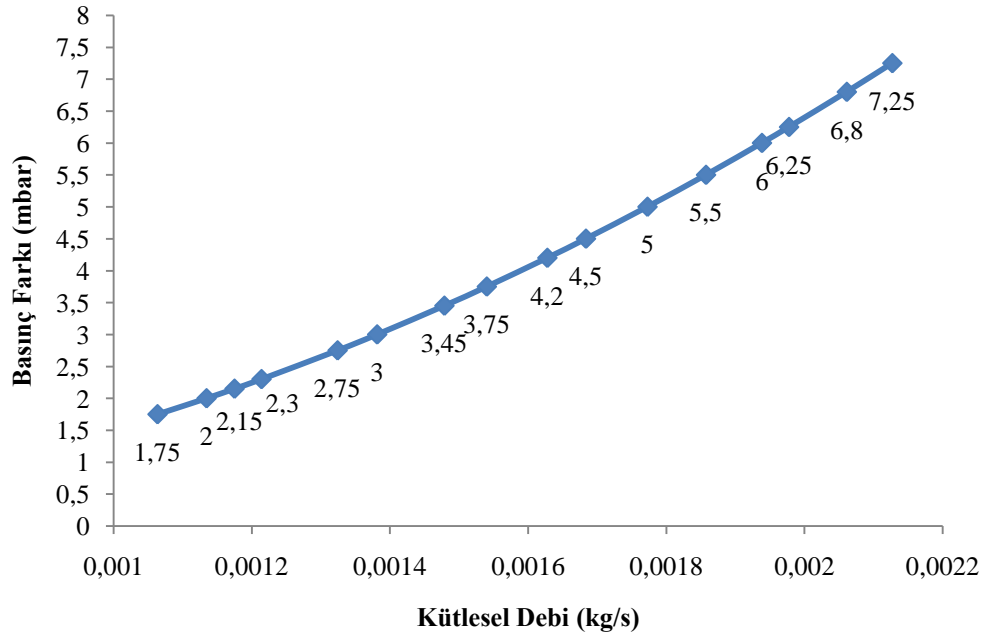
Tablo 6.4. 3 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri

3-3' Orifis Debi Ölçeri						
Ölçüm Sırası	Uygulanan Gerilim (U)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Basınç Farkı (mbar)	Akışkan Kütleli Debi (kg/s)	Akışkan Hacimsel Debi (m ³ /h)	Akışkan Hızı (m/s)
1	7,01	1165	1,85	0,0010921	3,267403	2,89
2	8,01	1331	2,15	0,0011746	3,513188	3,11
3	9,23	1534	2,35	0,0012264	3,667444	3,24
4	10,04	1669	2,5	0,0012639	3,778793	3,34
5	11,12	1849	3	0,0013811	4,127235	3,65
6	12,03	2000	3,35	0,0014574	4,353744	3,85
7	13,01	2163	3,75	0,0015398	4,598253	4,07
8	14,04	2334	4,1	0,0016084	4,801444	4,25
9	14,94	2484	4,5	0,0016833	5,02305	4,44
10	15,96	2654	4,9	0,0017550	5,234748	4,63
11	16,8	2794	5,25	0,0018153	5,412794	4,79
12	17,72	2947	5,75	0,0018981	5,656846	5,00
13	18,36	3053	6,1	0,0019539	5,821213	5,15
14	19,76	3286	6,85	0,0020684	6,157721	5,45
15	20,52	3412	7,2	0,0021196	6,308203	5,58
16	21,22	3528	7,5	0,0021626	6,434187	5,69

Şekil 6.14. 3 No'lu orifise ait kütleli debi (\dot{m}) - basınç farkı (ΔP) eğrisi

Tablo 6.5. 4 No'lu orifis için elde edilen deney değerleri

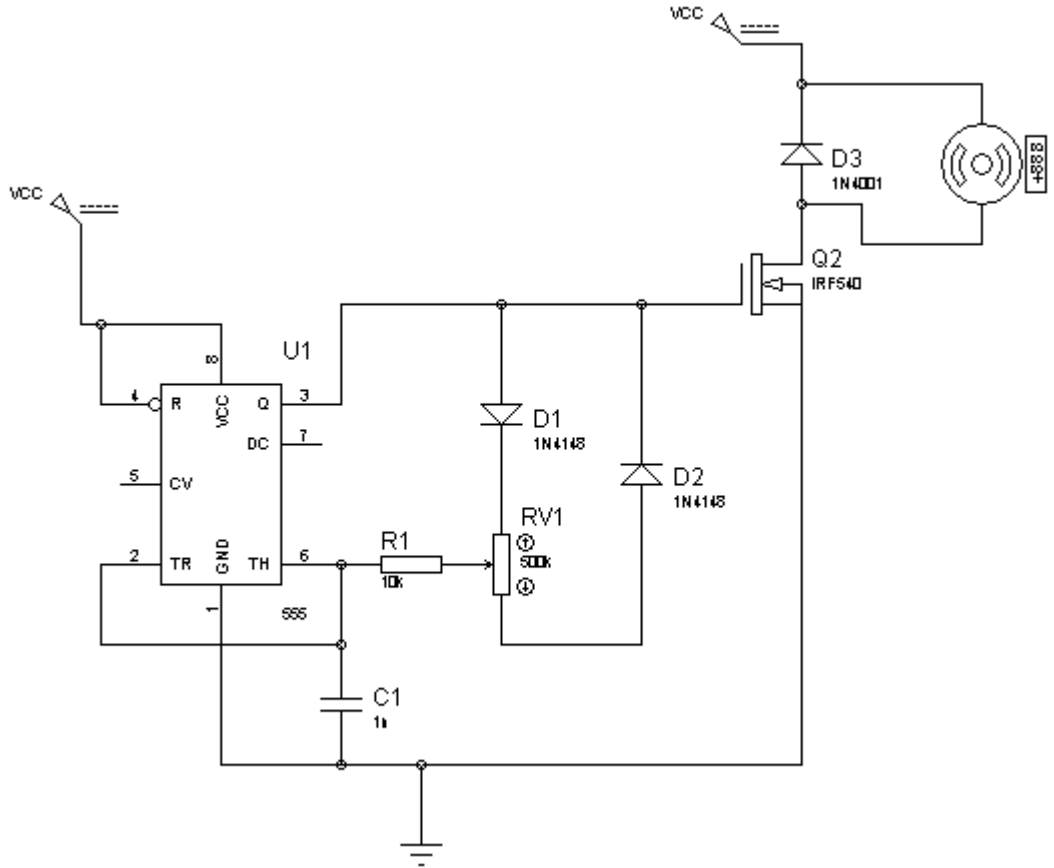
4-4' Orifis Debi Ölçeri						
Ölçüm Sırası	Uygulanan Gerilim (U)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Basınç Farkı (mbar)	Akışkan Kütleli Debi (kg/s)	Akışkan Hacimsel Debi (m ³ /h)	Akışkan Hızı (m/s)
1	6,08	1011	1,75	0,0010631	3,181021	2,81
2	7,11	1182	2	0,0011341	3,392642	3
3	8,01	1332	2,15	0,0011746	3,513188	3,11
4	8,95	1488	2,3	0,0012137	3,629528	3,21
5	10,01	1664	2,75	0,0013238	3,957059	3,5
6	11,08	1842	3	0,0013811	4,127235	3,65
7	12,14	2018	3,45	0,0014784	4,416212	3,90
8	13,07	2173	3,75	0,0015398	4,598253	4,07
9	14,15	2352	4,2	0,0016275	4,857850	4,3
10	15,02	2497	4,5	0,0016833	5,02305	4,44
11	16,13	2681	5	0,0017724	5,286269	4,67
12	17	2826	5,5	0,0018571	5,536251	4,9
13	18,06	3002	6	0,0019381	5,77476	5,11
14	19	3158	6,25	0,0019773	5,890161	5,21
15	20,1	3341	6,8	0,0020609	6,135902	5,43
16	21,27	3535	7,25	0,0021268	6,329387	5,6

Şekil 6.15. 4 No'lu orifise ait kütleli debi (\dot{m}) - basınç farkı (ΔP) eğrisi

6.3. Doğru akım motoru hız kontrol devresi

Deney tesisatında her iki fanın çalışması sırasında değişken hava debilerinin elde edilmesi, doğru akım motor hızının bir hız kontrol devresi tarafından kontrol edilmesi ile sağlanmıştır. Hız kontrol devresinin tasarımında, 4. Bölümde de bahsedildiği gibi hız kontrolünde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan değişken gerilimli hız kontrolü yöntemi kullanılmıştır. Değişken gerilim elde edilmesi için *Dalga Genlik Modülasyonunun (PWM)* uygulandığı iki adet elektronik devre tasarlanmıştır.

Tasarımı yapılan dalga genlik modülasyonunun (PWM) kullanıldığı hız kontrol devresi, baskı devre şeması ve devre elemanlarının yerleşim planı aşağıdaki şekillerde olduğu gibidir.

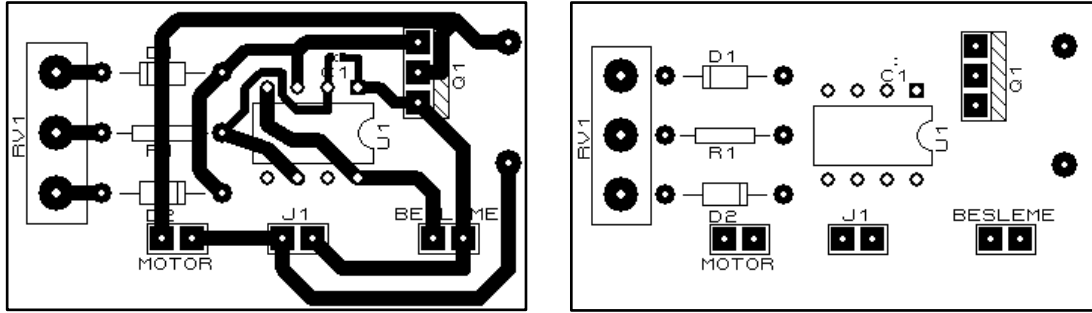


Şekil 6.16. Doğru akım motoru hız kontrol devre şeması

Devrede kullanılan elektronik devre elemanları şu şekildedir.

U_1	LM555H
D_1 ve D_2	1N4148
D_3	1N4001
R_{v1}	500K
R_1	10K
C_1	1nF
Q_1	IRF540

Şekil 6.17'deki doğru akım motor hız kontrol devrenin çalışması kısaca şu şekilde açıklanabilir.



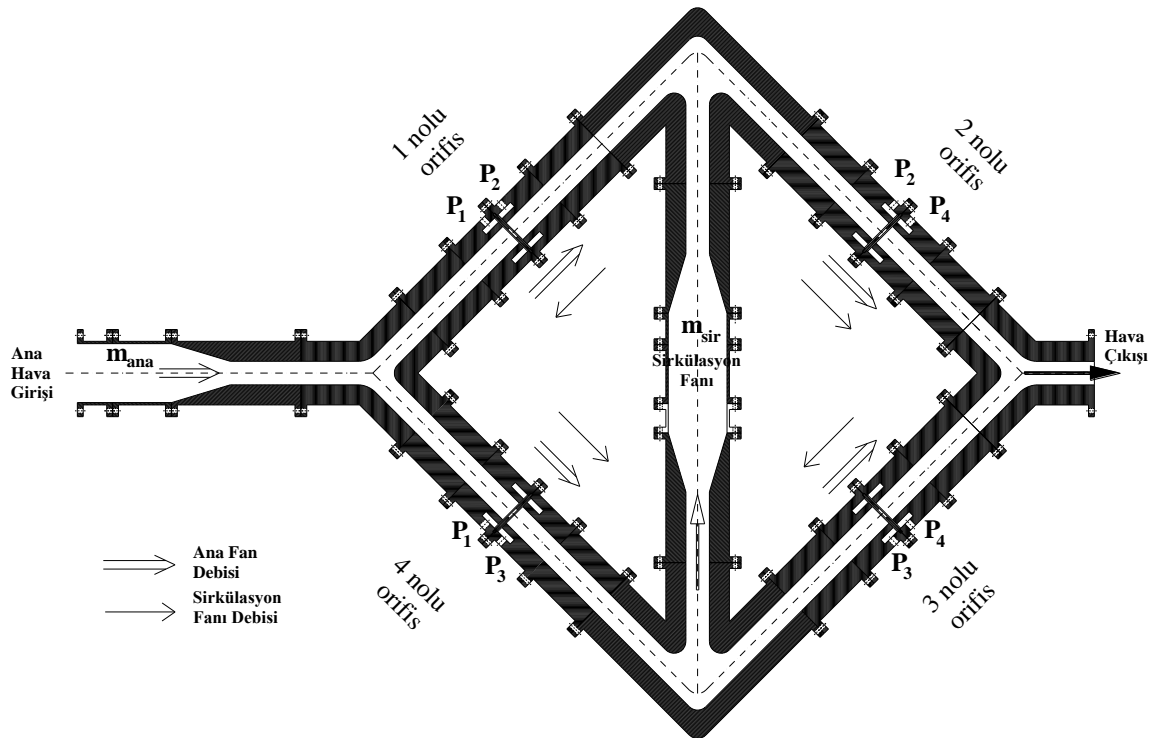
Şekil 6.17. Baskı devresi ve yerleşim şeması

Devrede; RV1 potansiyometresinin değerinin değiştirilmesi ile C_1 kondansatörünün şarj ve deşarj süresi ayarlanmaktadır. Dolayısıyla Q_1 transistörünün iletim ve kesim süreleri ayarlanmakta, çıkışta değişken genlikte doğru gerilim elde edilmektedir. Değişen gerilime karşılık olarak fan motorun devir sayısı ve dolayısıyla sisteme gönderdiği hava debisi değişmektedir.

6.4. Dört orifisli kütleli debi ölçüm yöntemi

Orifis ile debi ölçülmesinde, doğrudan debi ölçülememektedir. Ölçülen büyüklük, kesit daralmasındaki tesir basıncıdır. Bu basınç farkı yardımıyla debi hesaplama yöntemiyle belirlenebilmektedir. Ayrıca, geometrik parametreler ile akışkan özelliklerine ve akışkan hızına bağlı olarak C boşaltım katsayısı ve ε genişleme katsayısının belirlenmesi gerekmektedir.

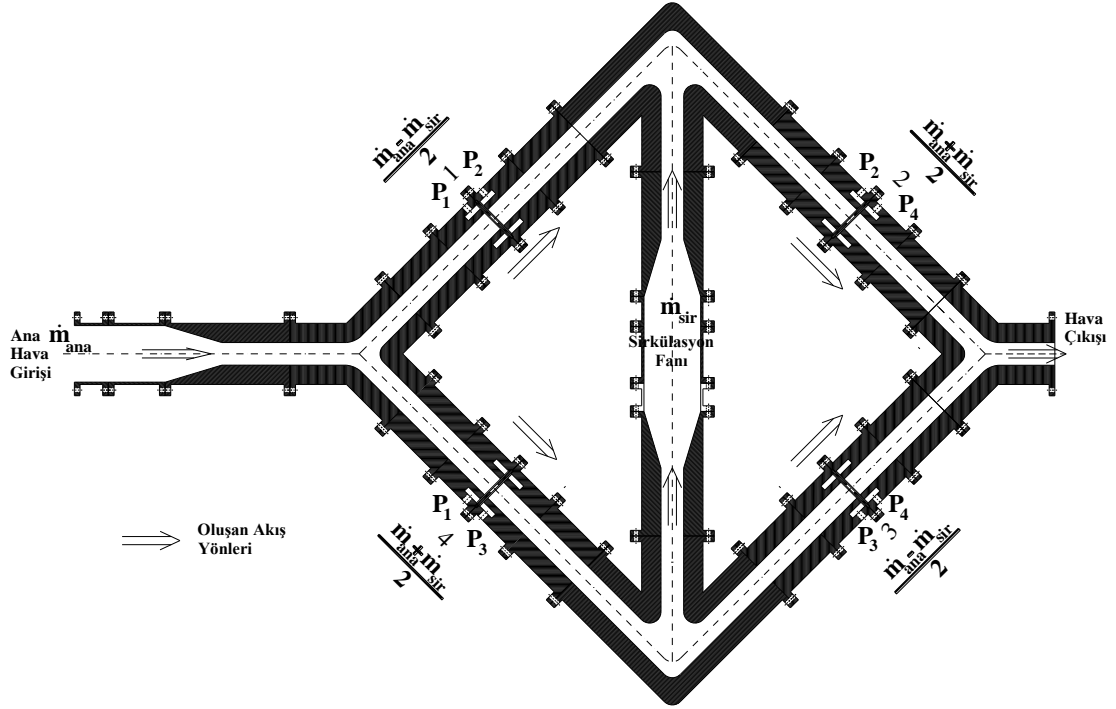
Şekil 6.18'den de görüldüğü gibi deney tesisatında her iki fan da çalışırken, 1 ve 3 No'lu orifislerde, ana fan ile sirkülasyon fanının debisi birbirini azaltacak şekilde akarken; 2 ve 4 No'lu orifislerde birbirini arttıracak şekilde akmaktadır. Bu durum zıt yönlerde akışın olduğu kollarda iki farklı durumu ortaya çıkarır: Deney tesisatında ana hava girişini sağlayan ana fanın debisi \dot{m}_{ana} 'nın, tesisat içerisinde hava sirkülasyonunu sağlayan sirkülasyon fanının debisi \dot{m}_{sir} 'den büyük yada küçük olma durumu.



Şekil 6.18. Deney tesisatında ana fan debi ve sirkülasyon fan debi akış yönleri

6.4.1. Ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden büyük olması durumu

Ana fan debisi \dot{m}_{ana} 'nın sirkülasyon fanının debisi \dot{m}_{sir} 'nden büyük olması durumunda 1, 2, 3 ve 4 nolu orifislerdeki akış yönleri Şekil 6.19'daki gibi olur.



Şekil 6.19. Ana fan debisinin sirkülasyon fanının debisinden büyük olması

Dışarıdan bir hava debisi girişi yokken sirkülasyon fanı bir denge meydana getirir. Dengenin oluşup oluşmadığı, deney tesisatında bulunan orifislerde ölçülen basınç farklarının birbirine eşit değerde olmasından anlaşılabilir. Çalışma sırasında sirkülasyon fanının sağladığı \dot{m}_{sir} debisi iki eşit kola ayrılarak her iki koldan $\dot{m}_{sir}/2$ debisi dolaştırır. Dışarıdan ana hava girişinin sağlanması ile meydana getirilmiş olan denge bozulur. Ana fanın meydana getirdiği debi \dot{m}_{ana} da, iki eşit kola ayrılarak 1 ve 3 nolu orifislerin olduğu kollar ile 2 ve 4 nolu orifislerin olduğu kollar da Şekil 6.19'da olduğu gibi bir debiye sebep olur.

Kütleli debinin elde edilmesinde kullanılan Denklem 5.14'ten yararlanılarak 2 nolu orifisin bulunduğu koldaki kütleli debi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\dot{m}_{ana} + \dot{m}_{sir}}{2} = C_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot E_2 \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \sqrt{2(P_2 - P_4)\rho} \quad (6.1)$$

Denklem 6.1' de 2 nolu orifise ait, C_2 boşaltım katsayısı, ε_2 genişleme katsayısı, $P_2 - P_4$ ölçülen basınç farkı, d_2 orifis çapı ve ρ boruda akan akışkanın yoğunluğudur. Benzer şekilde 1 nolu orifisin olduğu kolda elde edilecek olan debiye ait denklem de aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{\dot{m}_{ana} - \dot{m}_{sir}}{2} = C_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E_1 \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_2)\rho} \quad (6.2)$$

Benzer şekilde Denklem 6.1' de 1 nolu orifise ait, C_1 boşaltım katsayısı, ε_1 genişleme katsayısı, $P_1 - P_2$ ölçülen basınç farkı, d_1 orifis çapı ve ρ boruda akan akışkanın yoğunluğudur. Denklem 6.1 ve 6.2'de kareköklü ifadeden kurtulmak için her iki tarafından karesi alınırsa Denklem 6.3 ve 6.4 elde edilir.

$$\frac{\dot{m}_{ana}^2 - 2\dot{m}_{ana}\dot{m}_{sir} + \dot{m}_{sir}^2}{4} = (C_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E_1)^2 \cdot \left(\frac{\pi d_1^2}{4}\right)^2 \cdot 2(P_1 - P_2)\rho \quad (6.3)$$

$$\frac{\dot{m}_{ana}^2 + 2\dot{m}_{ana}\dot{m}_{sir} + \dot{m}_{sir}^2}{4} = (C_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot E_2)^2 \cdot \left(\frac{\pi d_2^2}{4}\right)^2 \cdot 2(P_2 - P_4)\rho \quad (6.4)$$

Yukarıdaki denklemlerde boşaltım katsayısı C , genişleme katsayısı ε ve E değerleri ile akışkanın aktığı borunun kesiti, kullanılan orifislerin özdeş olması nedeniyle yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde bir k sabiti altında toplanabilirler.

$$k = \frac{1}{8}\rho[C_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E_1 \cdot (\pi d_1^2)]^2 \cong \frac{1}{8}\rho[(C_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot E_2 \cdot (\pi d_2^2))]^2 \quad (6.5)$$

Denklem 6.3 ve 6.4 tekrar düzenlenerek birbirinden taraf tarafa çıkarılacak olursa;

$$\dot{m}_{ana}\dot{m}_{sir} = k[(P_1 - P_2) + (P_2 - P_4)] \quad (6.6)$$

bağıntısı elde edilir. Ölçülmek istenen \dot{m}_{ana} debisinin değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{m}_{ana} = \frac{k[(P_1 - P_2) + (P_2 - P_4)]}{\dot{m}_{sir}} \quad (6.7)$$

Yine $a = \frac{k}{\dot{m}_{sir}}$ şeklinde bir sabit kabul edilirse ölçülmesi istenen \dot{m}_{ana} debisi;

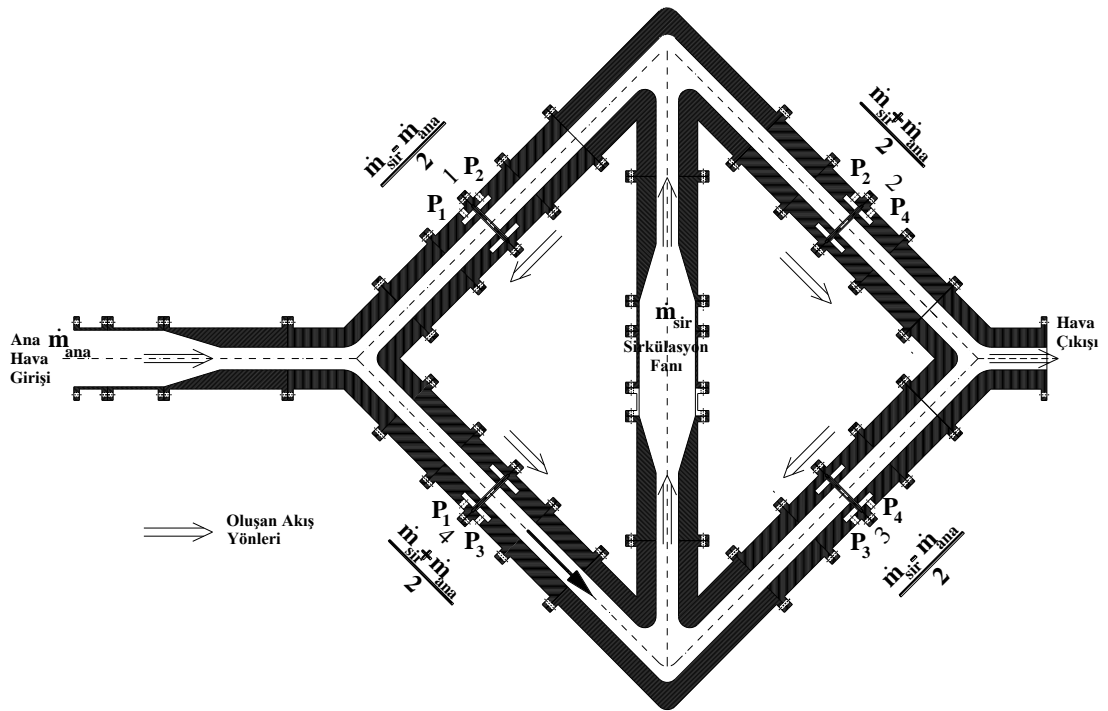
$$\dot{m}_{ana} = (P_1 - P_4)]a \quad (6.8)$$

$$\dot{m}_{ana} = a\Delta P_{14} \quad (6.9)$$

elde edilir. Denklem 6.9' dan da anlaşılacağı gibi ölçülmek istenen \dot{m}_{ana} debisinin sağ ve sol yan diyagonallerden elde edilecek basınç farkının bir a sabiti ile çarpımına eşit olduğu görülür. Sabit a değerinin elde edildiği formül incelendiğinde sirkülasyon fanının debisinin değerinin küçülmesi ile daha hassas bir ölçüm elde edilebileceği görülmektedir.

6.4.2. Ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden küçük olması durumu

Ana fan debisi \dot{m}_{ana} ' nın sirkülasyon fanının debisi \dot{m}_{sir} 'nden küçük olması durumunda 1, 2, 3 ve 4 nolu orifislerdeki akış yönleri Şekil 6.20'deki gibi olur.



Şekil 6.20. Ana fan debisinin sirkülasyon fanının debisinden küçük olması

Yine kütleli debinin elde edilmesinde kullanılan Denklem 5.14'ten yararlanılarak 1 nolu orifisin bulunduğu koldaki kütleli debi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\dot{m}_{ana} - \dot{m}_{sir}}{2} = C_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E_1 \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_2)\rho} \quad (6.10)$$

Denklem 6.10' da 1 nolu orifise ait, C_1 boşaltım katsayısı, ε_1 genişleme katsayısı, $P_1 - P_2$ ölçülen basınç farkı, d_1 orifis çapı ve ρ boruda akan akışkanın yoğunluğudur. Benzer şekilde 4 nolu orifisin olduğu kolda elde edilecek olan debiye ait denklem de aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{\dot{m}_{ana} + \dot{m}_{sir}}{2} = C_4 \cdot \varepsilon_4 \cdot E_4 \cdot \frac{\pi d_4^2}{4} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_3)\rho} \quad (6.11)$$

Benzer şekilde Denklem 6.11'de 4 nolu orifise ait, C_4 boşaltım katsayısı, ε_4 genişleme katsayısı, $P_1 - P_4$ ölçülen basınç farkı, d_4 orifis çapı ve ρ boruda akan akışkanın yoğunluğudur. Denklem 6.11 ve 6.12'de kareköklü ifadeden kurtulmak için her iki taraftan karesi alınırsa Denklem 6.13 ve 6.14 elde edilir.

$$\frac{\dot{m}_{ana}^2 - 2\dot{m}_{ana}\dot{m}_{sir} + \dot{m}_{sir}^2}{4} = (C_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E_1)^2 \cdot \left(\frac{\pi d_1^2}{4}\right)^2 \cdot 2(P_1 - P_2)\rho \quad (6.12)$$

$$\frac{\dot{m}_{ana}^2 + 2\dot{m}_{ana}\dot{m}_{sir} + \dot{m}_{sir}^2}{4} = (C_4 \cdot \varepsilon_4 \cdot E_4)^2 \cdot \left(\frac{\pi d_4^2}{4}\right)^2 \cdot 2(P_1 - P_3)\rho \quad (6.13)$$

Yukarıdaki denklemlerde boşaltım katsayısı C , genişleme katsayısı ε ve E değerleri ile akışkanın aktığı borunun kesiti, kullanılan orifislerin özdeş olması nedeniyle yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde bir k sabiti altında toplanabilirler.

$$k = \frac{1}{8}\rho[C_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot E_1 \cdot (\pi d_1^2)]^2 \cong \frac{1}{8}\rho[C_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot E_2 \cdot (\pi d_2^2)]^2 \quad (6.14)$$

Denklem 6.13 ve 6.14 tekrar düzenlenerek birbirinden taraf tarafa çıkarılacak olursa;

$$\dot{m}_{ana}\dot{m}_{sir} = k(P_1 - P_3) \quad (6.15)$$

bağıntıları elde edilir. Ölçülmek istenen \dot{m}_{ana} debisinin değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{m}_{ana} = \frac{k(P_1 - P_3)}{\dot{m}_{sir}} \quad (6.16)$$

Yine $a = \frac{k}{\dot{m}_{sir}}$ şeklinde kabul edilirse ölçülmesi istenen \dot{m}_{ana} debisi;

$$\dot{m}_{ana} = (P_1 - P_3)a \quad (6.18)$$

$$\dot{m}_{ana} = a\Delta P_{13} \quad (6.19)$$

elde edilir. Denklem 6.19' dan da anlaşılacağı gibi ölçülmek istenen \dot{m}_{ana} debisinin alt ve üst yan diyagonallerden elde edilecek basınç farkı ile bir a sabit değerine bağlı olduğu görülmektedir.

Her iki durum da incelendiğinde, ölçüm için doğru sonucun, ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden büyük olması durumunda elde edileceği görülmektedir. Sirkülasyon fanının debisi ölçülecek ana fan debisinden ne kadar küçük olursa ölçümün o kadar iyi sonuç vereceği söylenebilir.

6.5. Deney Tesisatı Uygulamaları

Dört adet orifisten oluşmakta olan Wheatstone Köprüsüne uygun şekilde bağlantısı gerçekleştirilmiş olan deney tesisatına ait bağlantı, Şekil 6.1' de olduğu gibi gerçekleştirildikten sonra ölçümün doğruluğunun saptanması amacıyla deneysel çalışmalara geçilmiştir. Öncelikle deneyde sirkülasyonu sağlayacak olan fanın debisinin ve elde edilen değerlerin karşılaştırılması için ana fanın debisinin hesaplanması sağlanmıştır.

6.5.1. Sirkülasyon fanının debisinin belirlenmesi

Öncelikle deney tesisatında dengenin sağlanıp sağlanmadığının anlaşılması ve sirkülasyon fanının debisinin elde edilebilmesi için ana fan devrede yokken deney tesisatı çalıştırılmıştır. Aşağıdaki verilmiş olan ortam koşulları ve özellikler göz önünde bulundurularak sirkülasyon fanının her bir devri için 1 ve 2 No'lu orifislerde meydana gelen basınç farkları U manometre ile ölçülmüştür. Debi hesabında kullanılacak olan boşaltım katsayısı ve genleşme katsayıları, Denklem 5.3 ve 5.5' ten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{1 \text{ nolu orifis}} = C. \varepsilon. E. \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (6.20.a)$$

$$\dot{m}_{2 \text{ nolu orifis}} = C. \varepsilon. E. \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_2 - P_4)} \quad (6.20.b)$$

Denklem 6.20.a ve b' den sirkülasyon fanının debi hesabında kullanılacak denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{m}_{sir} = \sqrt{2\rho}. C. \varepsilon. E. \frac{\pi d^2}{4} (\sqrt{\Delta P_{12}} + \sqrt{\Delta P_{24}}) \quad (6.21)$$

Sirkülasyon fanının debi hesabı Denklem 6.21'den yararlanılarak hesaplanmış ve Tablo 6.6' ya kaydedilmiştir. Denklem 6.21, iki kolda oluşan debilerin hesaplanarak toplanmasından elde edilmiştir.

Akışkan	Hava
Havanın viskozitesi	$\nu_{\text{hava}} = 1,51.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Havanın yoğunluğu	$\rho_{\text{hava}} = 1,2028636 \text{ kg/m}^3$ (20 °C' de)
İzentropik sabiti	$\chi_{\text{hava}} = 1,4$
Boru kesiti	$= \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 0,01^2}{4} = 7,854. 10^{-5} \text{ m}^2$
$\beta = d/D = 0,5$	
$E = 1,032795559$	
Ortam sıcaklığı	$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Tablo 6.6. Sirkülasyon fanı ile ilgili elde edilen değerler

Ölçüm Sırası	Gerilim (V)	Motor akımı (A)	Motor Devri (d/d)	1 nolu Orifis (P ₁₂)	2 Nolu Orifis (P ₂₄)	Boşalt. Katsayı (C)	Genleş. Katsayı (ε)	Akış Hızı (m/s)	Sir. Fan Debisi (kg/s)
1	9,02	0,31	1967	0,4995	0,4604	0,726045	0,999848	1,55	1,26521 E-3
2	10,04	0,35	2185	0,5681	0,5583	0,724185	0,999827	1,64	1,36729 E-3
3	12,00	0,45	2622	0,8375	0,7836	0,718985	0,999744	1,94	1,62813 E-3
4	15,03	0,62	3277	1,3762	1,2782	0,712967	0,99958	2,46	2,06557 E-3
5	18,00	0,82	3932	2,0177	1,8512	0,709067	0,999385	2,95	2,47947 E-3
6	20,00	0,99	4370	2,5173	2,3263	0,706961	0,999233	3,29	2,76568 E-3
7	21,03	1,06	4589	2,7817	2,5712	0,706084	0,999153	3,45	2,90363 E-3
8	24,00	1,32	5244	3,4869	3,2323	0,706084	0,998939	3,86	3,45312 E-3

6.5.2. Ana fanın debisinin belirlenmesi

Daha önce verilmiş olan ortam koşulları ve özellikler göz önünde bulundurularak ana fanın her bir devri için 1 ve 4 No'lu orifislerde meydana gelen basınç farkları U manometre ile ölçülmüştür. Debi hesabında kullanılacak olan boşaltım katsayısı ve genleşme katsayıları, Denklem 5.3 ve 5.5'ten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{1 \text{ nolu orifis}} = C \cdot \varepsilon \cdot E \cdot \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (6.22.a)$$

$$\dot{m}_{4 \text{ nolu orifis}} = C \cdot \varepsilon \cdot E \cdot \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_1 - P_3)} \quad (6.22.b)$$

Denklem 6.20.a ve b' den yararlanılarak ana fan debisinin hesaplanmasında kullanılacak denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{m}_{sir} = \sqrt{2\rho} \cdot C \cdot \varepsilon \cdot E \cdot \frac{\pi d^2}{4} (\sqrt{\Delta P_{12}} + \sqrt{\Delta P_{13}}) \quad (6.23)$$

Ana fanının debi hesabı, Denklem 6.23'den yararlanılarak hesaplanmış ve Tablo 6.7' ye kaydedilmiştir. Denklem 6.23, iki kolda oluşan debilerin hesaplanarak toplanmasından elde edilmiştir.

Tablo 6.7. Ana fan ile ilgili değerler

Ölçüm Sırası	Gerilim (V)	Motor akımı (A)	Motor Devri (d/d)	1 nolu Orifis (P ₁₂) (mbar)	4 Nolu Orifis (P ₁₃) (mbar)	Boşalt. Katsayı (C)	Genleş. Katsayı (ε)	Akış Hızı (m/s)	Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	0,43	1967	0,7885	0,6856	0,720277	0,999759	1,86	1,55468 E-3
2	10,04	0,49	2185	0,8570	0,8032	0,718669	0,999738	1,97	1,64697 E-3
3	12,00	0,63	2622	1,1705	1,1852	0,714326	0,999643	2,33	1,95002 E-3
4	15,03	0,86	3277	1,9394	1,8072	0,709364	0,999409	2,91	2,4412E -3
5	18,03	1,12	3932	2,4683	2,4438	0,706835	0,999248	3,31	2,78527 E-3
6	20,03	1,31	4370	2,9825	3,056	0,705069	0,999092	3,66	3,0799 E-3
7	21,00	1,39	4589	3,2372	3,1784	0,704576	0,999014	3,77	3,17217 E-3
8	24,00	1,72	5244	4,0942	3,9473	0,702829	0,998754	4,21	3,54163 E-3

6.5.3. Deneyler

Deneylerde, kütleli debinin ölçümü için üç farklı deney uygulaması gerçekleştirilmiştir. Her bir uygulamada sirkülasyon fanının devri dolayısıyla meydana getirdiği debisi sabit tutulup ana fanın devri sürekli olarak değiştirilmiştir. Sonuç olarak üç deneyden elde edilen veriler tablolara kaydedilmiştir. Fanların devir ayarı, değişken gerilimli kaynaktan sağlanırken basınç ölçümü U manometre ile gerçekleştirilmiştir. Her bir uygulamanın sonucunda ana debiyi sağlayan elektrik motoru gücü ile kütleli debi değişimi incelenmiş ve aralarındaki ilişki grafiklerle açıklanmıştır.

6.5.3.1. Kütlesel debi ölçümü

Daha önce açıklandığı gibi deney sırasında boru içerisinde meydana gelen akışlarda iki durum meydana gelmektedir. Bunlar; akışın olduğu kollarda oluşan debilere karşılık ana fan debisinin sirkülasyon fanının debisinden büyük yada küçük olması durumudur. Boruda akan akışkanın orifislerde meydana getirdiği fark basıncından yararlanılarak; o anda boruda oluşan akış hakkında yorum yapılabilir. Dolayısıyla, akış yönü soldan sağa doğru olduğu kabul edilirse; orifiste oluşan negatif değerli bir sonucun sirkülasyon fanının debisinin büyük olması durumunda; pozitif işaretli olması küçük olması durumunda olduğu anlaşılır. Hesaplama işlemi; tabloya kaydedilmiş basınç değerlerinden yararlanılarak ana fanın her bir devir değerine göre ayrı ayrı yapılmıştır. Daha önce teorik kısımda açıklandığı şekliyle, sirkülasyon fan debisinin büyük olduğu durumlarda alt-üst diyagonallerden elde edilen değerler kullanılmış iken, ana fan debisinin büyük olduğu durumda sağ-sol diyagonallerden elde edilen değerler kullanılarak gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Uygulama 1:

Bu deneyde ana fana değişken, sirkülasyon fanına sabit 12 V' luk gerilim uygulanarak elde edilen değerler aşağıdaki tabloya kaydedildi. Daha sonra hesaplanan a sabiti değerine karşılık kütlesel debi değişimi grafikte gösterilmiştir.

$$E \text{ sabiti} \quad E = 1,032795559$$

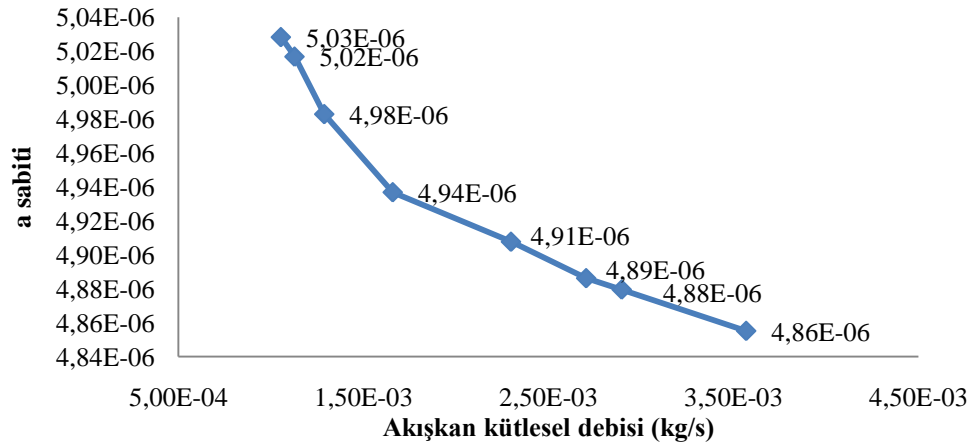
$$\text{Sirkülasyon fan debisi} \quad \dot{m}_{sir} = 1,628131E - 3 \text{ kg/s}$$

$$\text{Sirkülasyon fanı gerilimi} \quad U_{sir} = 12 \text{ V sabit}$$

Teorik kısımda da açıklandığı gibi kütlesel debi, negatif işaretli basınç değeri için Denklem 6.19, pozitif işaretli basınç değeri için Denklem 6.9' dan yararlanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.8. Uygulama 1' de elde edilen deney verileri

Ölçüm Sırası	Ana Fan Gerilim (V)	Motor Devri (d/d)	P ₂₃ Basınç Farkı (mbar)	P ₁₄ Basınç Farkı (mbar)	Boşalt. Katsayı (C ₁)	Genleş. Katsayı (ε ₁)	a ₁ sabiti	Ana Fan Debisi (kg/s)	Ölçülen Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	1967	2,0961	1,9345	0,719618	0,999361	5,028215 E-6	1,55468 E-3	1,053964 E-3
2	10,04	2185	2,2479	2,1598	0,718826	0,999315	5,016702 E-6	1,64697 E-3	1,127714 E-3
3	12,00	2622	2,5858	2,6691	0,716468	0,999212	4,98282 E-6	1,95002 E-3	1,288478 E-3
4	15,03	3277	2,8013	3,6633	0,713318	0,998977	4,936773 E-6	2,4412 E-3	1,658576 E-3
5	18,03	3932	2,9238	4,9121	0,711492	0,998577	4,907585 E-6	2,78527 E-3	2,297702 E-3
6	20,03	4370	2,9629	5,6957	0,710117	0,998319	4,886119 E-6	3,0799 E-3	2,704023 E-3
7	21,00	4589	2,9776	6,2393	0,709717	0,998198	4,879429 E-6	3,17217 E-3	2,896274 E-3
8	24,00	5244	3,0462	7,2384	0,708245	0,997771	4,85505 E-6	3,54163 E-3	3,568966 E-3



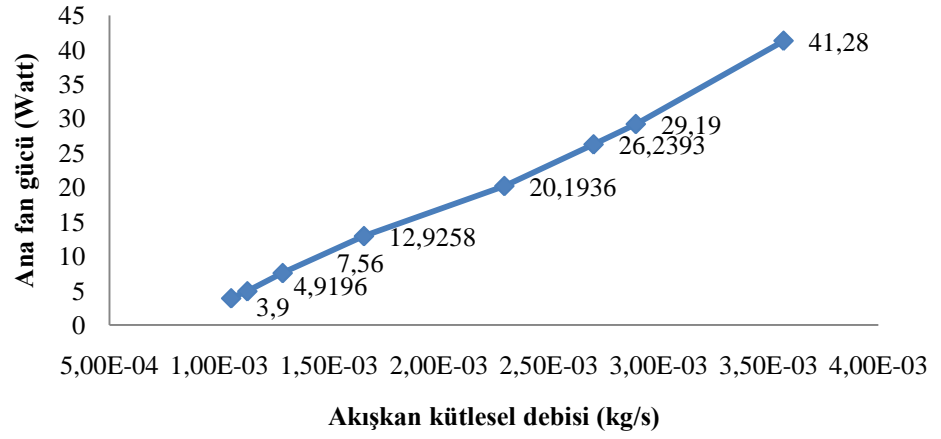
Şekil 6.21. Uygulama 1' e ait debi – a sabiti değişimi

Şekil 6.21'deki eğri incelendiğinde debinin bir *a sabiti* değeri ile yaklaşık olarak doğrusal değiştiği görülmektedir. Kollarda meydana gelen akışların ana fan ile sirkülasyon fanlarının debilerine bağlı olduğundan iki farklı yöntem ile debi hesaplanmıştır. Dolayısıyla yöntem değişikliğinin olduğu kısımda doğrunun eğimi değişmiştir. Ancak yine de elde edilen bu *a* sabitesinden yararlanılarak yaklaşık debi ölçümü sağlanabileceği görülmektedir. Tablo 6.8 incelendiğinde, ölçüm sonuçlarının istenilen şekilde çıkması için ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden mümkün olduğunca büyük olması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 6.9' da ana fan debisinin gücü ile debi arasındaki ilişkiyi veren değerler verilmiştir. Motor gücü motora uygulanan gerilim ile motorun çektiği akımın çarpımından yararlanılarak elde edilmiştir.

Tablo 6.9. Uygulama 1'de ana fan gücünün ölçülen fan debisi ile değişimini gösterir tablo

Ölçüm Sırası	Ana Fan Gerilimi (V)	Ana Fan Akımı (A)	Ana Fan Gücü (W)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	0,43	3,9	1967	1,053964E-3
2	10,04	0,49	4,9196	2185	1,127714E-3
3	12,00	0,63	7,56	2622	1,288478E-3
4	15,03	0,86	12,9258	3277	1,658576E-3
5	18,03	1,12	20,1936	3932	2,297702E-3
6	20,03	1,31	26,2393	4370	2,704023E-3
7	21,00	1,39	29,19	4589	2,896274E-3
8	24,00	1,72	41,28	5244	3,568966E-3



Şekil 6.22. Uygulama 1’de kütleli debinin ana fan gücü ile değişimi eğrisi

Şekil 6.22’den de anlaşılacağı gibi ana fan debisi ana fanın gücü ile yaklaşık olarak doğrusal ilişkili olmaktadır. Dolayısıyla böyle bir sistemden yararlanılarak fan gücünün ölçümü ile debi ölçümünün gerçekleştirilebileceği görülmektedir.

Uygulama 2:

Uygulama 1'deki aşamalar uygulama 2'de de sağlanmıştır. Bu uygulamada ana fana değişken, sirkülasyon fanına sabit 15 V' luk gerilim uygulanarak elde edilen değerler aşağıdaki tabloya kaydedildi. Daha sonra hesaplanan a sabiti değerine karşılık kütleli debi değişimi grafikte gösterilmiştir.

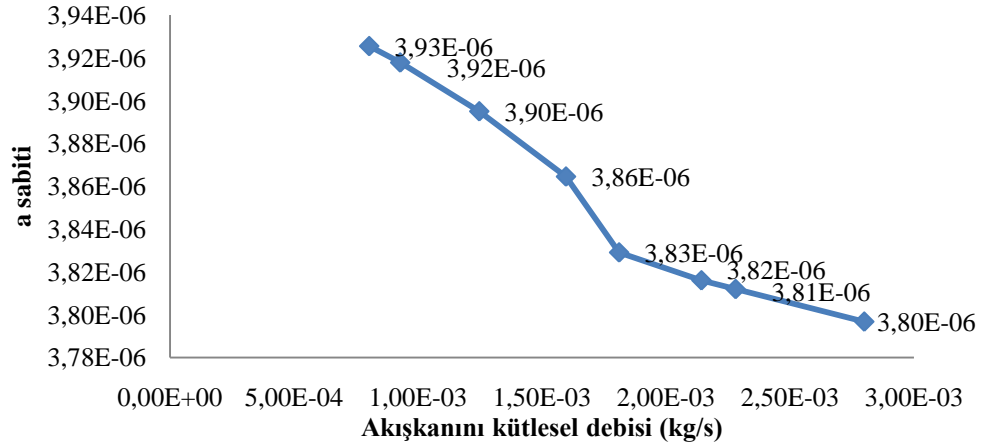
$$E \text{ sabiti} \quad E = 1,032795559$$

$$\text{Sirkülasyon fan debisi} \quad \dot{m}_{sir} = 2,065567E - 3 \text{ kg/s}$$

$$\text{Sirkülasyon fanı gerilimi} \quad U_{sir} = 15 \text{ V sabit}$$

Tablo 6.10. Uygulama 2' de elde edilen deney verileri

Ölçüm Sırası	Ana Fan Gerilim (V)	Motor Devri (d/d)	P ₂₃ Basınç Farkı (mbar)	P ₁₄ Basınç Farkı (mbar)	Boşalt. Katsayı (C ₂)	Genleş. Katsayı (ε ₂)	a ₂ sabiti	Ana Fan Debisi (kg/s)	Ölçülen Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	1967	3,1197	2,0471	0,716161	0,999376	3,925497 E-6	1,55468 E-3	0,803598 E-3
2	10,04	2185	3,1588	2,3704	0,715531	0,999278	3,917819 E-6	1,64697 E-3	0,928662 E-3
3	12,00	2622	3,4674	3,2029	0,713629	0,999025	3,895046 E-6	1,95002 E-3	1,247551 E-3
4	15,03	3277	4,0453	4,1334	0,711033	0,998743	3,864574 E-6	2,4412 E-3	1,597394 E-3
5	18,03	3932	4,3342	5,441	0,707894	0,998562	3,829139 E-6	2,78527 E-3	1,811533 E-3
6	20,03	4370	4,4371	6,019	0,706878	0,998294	3,816104 E-6	3,0799 E-3	2,143639 E-3
7	21,00	4589	4,4958	6,4254	0,706579	0,998183	3,81203 E-6	3,17217 E-3	2,281369 E-3
8	24,00	5244	4,6036	7,6841	0,705464	0,997764	3,796815 E-6	3,54163 E-3	2,80035 E-3

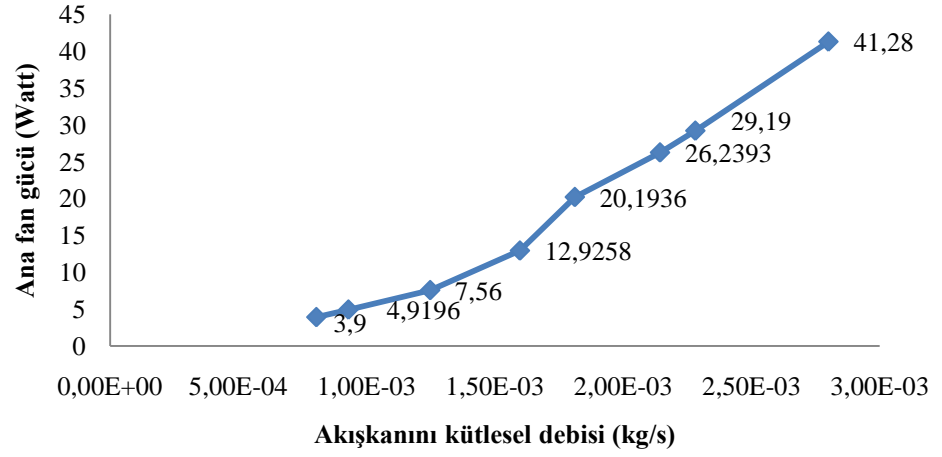


Şekil 6.23. Uygulama 2' ye ait debi – a sabiti değişimi

Şekil 6.23'deki eğri incelendiğinde debinin bir a sabiti değeri ile yaklaşık olarak doğrusal değiştiği görülmektedir. Kollarda meydana gelen akışların ana fan ile sirkülasyon fanlarının debilerine bağlı olduğundan iki farklı yöntem ile debi hesaplanmıştır. Dolayısıyla yöntem değişikliğinin olduğu kısımda doğrunun eğimi değişmiştir. Ancak yine de elde edilen bu a sabitesinden yararlanılarak yaklaşık debi ölçümü sağlanabilir. Tablo 6.10'da sirkülasyon fan debisinin ana fan debisine yakın değerlerde olduğu için elde edilen sonuçların Uygulama 1 'e göre iyi olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 6.11. Uygulama 2'de ana fan gücünün ölçülen fan debisi ile değişimini gösterir tablo

Ölçüm Sırası	Ana Fan Gerilimi (V)	Ana Fan Akımı (A)	Ana Fan Gücü (W)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	0,43	3,9	1967	0,803598E-3
2	10,04	0,49	4,9196	2185	0,928662E-3
3	12,00	0,63	7,56	2622	1,247551E-3
4	15,03	0,86	12,9258	3277	1,597394E-3
5	18,03	1,12	20,1936	3932	1,811533E-3
6	20,03	1,31	26,2393	4370	2,143639E-3
7	21,00	1,39	29,19	4589	2,281369E-3
8	24,00	1,72	41,28	5244	2,80035E-3



Şekil 6.24. Uygulama 2’de kütleli debinin ana fan gücü ile değişimi eğrisi

Şekil 6.24’den de anlaşılacağı gibi aynen uygulama 1’deki gibi ana fan debisi, ana fanın gücü ile doğrusal olarak değişmektedir. Dolayısıyla böyle bir sistemde fan gücünden yararlanılarak da debi ölçümü gerçekleştirilebilir.

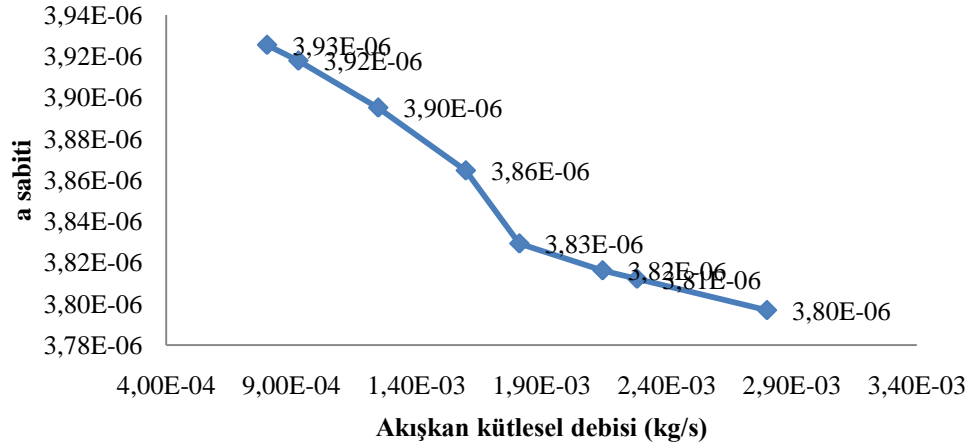
Uygulama 3:

Uygulama 1'deki aşamalar bu uygulamada da sağlanmıştır. Deney sırasında ana fana değişken, sirkülasyon fanına sabit 18 V' luk gerilim uygulanarak elde edilen değerler aşağıdaki tabloya kaydedildi. Daha sonra hesaplanan a sabiti değerine karşılık kütleli debi değişimi grafikte gösterilmiştir.

E sabiti	$E = 1,032795559$
Sirkülasyon fan debisi	$\dot{m}_{sir} = 2,479474E - 3 \text{ kg/s}$
Sirkülasyon fanı gerilimi	$U_{sir} = 18 \text{ V sabit}$

Tablo 6.12. Uygulama 3' te elde edilen deney verileri

Ölçüm Sırası	Ana Fan Gerilim (V)	Motor Devri (d/d)	P ₂₃ Basınç Farkı (mbar)	P ₁₄ Basınç Farkı (mbar)	Boşalt. Katsayı (C ₃)	Genleş. Katsayı (ε ₃)	a ₃ sabiti	Ana Fan Debisi (kg/s)	Ölçülen Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	1967	4,153	2,1892	0,713528	0,999333	3,245921 E-6	1,55468 E-3	0,710581 E-3
2	10,04	2185	4,2363	2,6103	0,713006	0,999205	3,240348 E-6	1,64697 E-3	0,845837 E-6
3	12,00	2622	4,4077	3,5359	0,711418	0,998924	3,224116 E-6	1,95002 E-3	1,140029 E-6
4	15,03	3277	5,0003	4,7407	0,709215	0,998559	3,201836 E-6	2,4412 E-3	1,517898 E-6
5	18,03	3932	5,6516	5,7937	0,707894	0,998329	3,188453 E-6	2,78527 E-3	1,753588 E-6
6	20,03	4370	5,9308	6,5626	0,706878	0,998227	3,178655 E-6	3,0799 E-3	1,855614 E-6
7	21,00	4589	5,9993	6,9201	0,706579	0,99806	3,174905 E-6	3,17217 E-3	2,029127 E-6
8	24,00	5244	6,1952	8,0954	0,705464	0,997716	3,162711 E-6	3,54163 E-3	2,38223 E-6

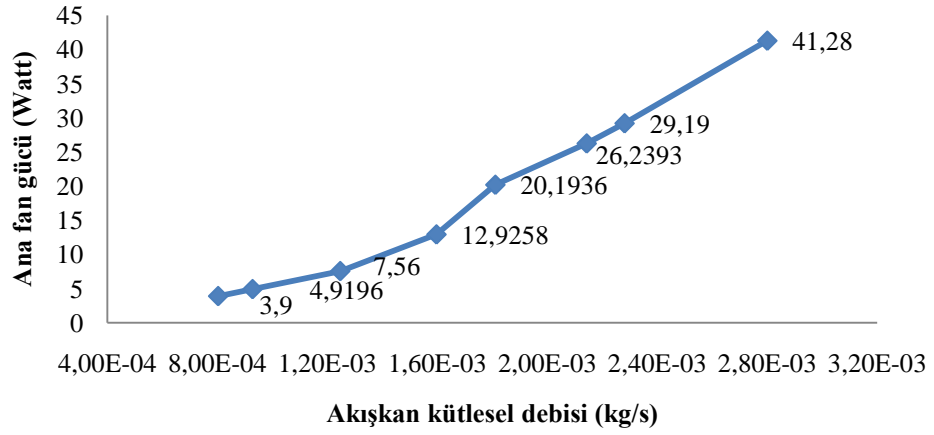


Şekil 6.25. Uygulama 3' e ait debi – a sabiti değişimi

Şekil 6.25'deki eğri incelendiğinde debinin bir a sabiti değeri ile yaklaşık olarak doğrusal değiştiği görülmektedir. Kollarda meydana gelen akışların ana fan ile sirkülasyon fanlarının debilerine bağlı olduğundan iki farklı yöntem ile debi hesaplanmıştır. Dolayısıyla yöntem değişikliğinin olduğu kısımda doğrunun eğimi değişmiştir. Ancak yine de elde edilen bu a sabitesinden yararlanılarak yaklaşık debi ölçümü sağlanabilir. Tablo 6.12'ye göre bu yöntemin ana fan debisinin sirkülasyon fan debisine çok yakın olması durumunda iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Tablo 6.13. Uygulama 3'te ana fan gücünün ölçülen fan debisi ile değişimini gösterir tablo

Ölçüm Sırası	Ana Fan Gerilimi (V)	Ana Fan Akımı (A)	Ana Fan Gücü (W)	Motor Devri (d/d)	Ölçülen Ana Fan Debisi (kg/s)
1	9,07	0,43	3,9	1967	0,710581E-3
2	10,04	0,49	4,9196	2185	0,845837E-6
3	12,00	0,63	7,56	2622	1,140029E-6
4	15,03	0,86	12,9258	3277	1,517898E-6
5	18,03	1,12	20,1936	3932	1,753588E-6
6	20,03	1,31	26,2393	4370	1,855614E-6
7	21,00	1,39	29,19	4589	2,029127E-6
8	24,00	1,72	41,28	5244	2,38223E-6



Şekil 6.26. Uygulama 3'te kütleli debinin ana fan gücü ile değişimi eğrisi

Şekil 6.26'dan da anlaşılacağı gibi aynen uygulama 1'deki gibi ana fan debisi, ana fanın gücü ile doğrusal değişim göstermektedir. Dolayısıyla böyle bir sistemde fan gücünden yararlanılarak da debi ölçümü gerçekleştirilebilir.

SONUÇLAR

Orifis ile debi ölçümünün temel ilkesi; akışkanın boru içerisinde akarken meydana getirilen kesit daralmasıyla oluşan tesir basıncının ölçümü şeklinde olmaktadır. Birçok akışkan debisinin ölçümünde kullanılan bu yöntemde, kesit daralmasına karşılık akışkan hızının değişimi ve bir basınç düşümü söz konusudur.

Gaz halindeki akışkanların kütleli debisinin ölçümü, gazların özelliklerinden (sıcaklık değişimi, debinin çok küçük olması, sıkıştırılabilirlik, genişleme) dolayı oldukça zor ve masraflı olmaktadır. Bu tez çalışması esnasında bu faktörler göz önünde bulundurularak ölçüm sonuçlarının istenilen doğrulukta olmasına gayret gösterilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, kullanılan dört adet orifis yardımıyla, elektronikteki wheatstone köprüsüne benzer bağlantı şekli gerçekleştirilerek gaz akışkanlara ait debi ölçümünde kullanılacak bir yöntemin denemesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tesir basıncı ile doğrudan doğruya debi ölçümü olmamaktadır. Ancak teorik olarak bazı bağıntılardan yararlanılarak akış halindeki gazın debisinin diyagonallerden elde edilen tesir basınçları ile alakalı olduğu görülmüştür. Yapılan deney uygulamalarında da bunun gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Yapılan deney uygulamalarından elde edilen veriler doğrultusunda, ölçümü yapılmak istenen gaz akışkana ait kütleli debi ile diyagonallerden elde edilen tesir basınçları arasında doğrusala yakın bir ilişki olduğu görülmüştür. Çıkan sonuç eğrilerinin doğrusal çıkması gerekiyorken tam doğrusal çıkmaması kullanılan ölçüm metodunun tesisatın çalışma şekline göre değişmesinden kaynaklanmıştır. Yapılan üç adet uygulama sonucunda, ölçülecek debi değeri arttıkça yöntemin daha doğru sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Daha iyi ölçüm için ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinden büyük olmasının gerektiği ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla en iyi sonuç, ana fan debisinin sirkülasyon fan debisinin iki katı olması durumunda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla ana fan debisinin her bir değeri için ölçüm sonuçları aynı hassasiyette ölçülemediği görülmüştür. Farklı bir şekilde, ana fan gücü ile ölçülen debi

arasında da doğrusal bir değişimin olduğu gözlemlenmiştir; gereken ölçüm için farklı olarak akışı sağlayan elektrik motorunun gücünün de ölçümünün istenen debinin ölçümünde kullanılabileceği görülmüştür.

Deney tesisatında kullanılacak olan ölçü aleti ve ölçüm yöntemlerinin hassasiyeti ve tasarımı gerçekleştirilmiş olan deney tesisatının imalat ve montaj sorunlarının ortadan kaldırılması ile doğru değerler elde edilebileceği görülmektedir. Deneyler sırasında kullanılan ölçü aletlerinin sınırlı ve hassas olmaması elde edilen verilerin güvenilirliği konusunda sıkıntı oluşturmuştur.

Sonuçlara etki eden bir etken de gazların sıkıştırılabilir olmasıdır. Dolayısıyla tasarımı yapılan deney tesisatında meydana gelen bozucu etkilerin tam olarak bilinmemesi de ölçüm sonuçlarına etki etmiştir. Dolayısıyla sisteme giren ölçüme konu olan debi ile çıkışta oluşan debide farklılıklar olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak deney tesisatında farklı ölçümler için bazı eklemeler yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Örneğin; giren debinin ne kadarının sirkülasyon fanı tarafında kullanıldığının tespiti için bu gereklidir. Bunun yanında, akışkanın kollara ayrılırken oluşabilecek istenmeyen bozucu etkilerin ortaya çıkmasının mümkün olduğu kadar önüne geçilmesi gerekmektedir.

Her ne kadar teorik olarak Wheatstone köprüsü şeklinde tasarlanmış bu tesisat ile debi ölçümünün gerçekleştirilebileceği teorik olarak söylenebilse de uygulamada yaşanabilecek olumsuzlukların ölçümün istenilen hassasiyette olmasına etki ettiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

KAYNAKLAR

ALTUNSAÇLI, Adem; Elektrik Makineleri I, Color Ofset, İskenderun, 2003

AYDIN, Mehmet; Orifis metre Yapımı ve Uygulamaları Üzerine Deneysel Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Kasım 1996

AYDOĞMUŞ, Ömür; PIC Mikrodenetleyici Yardımı İle DC Motorun Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ 2006

BAL, Güngör; Doğru Akım Makineleri ve Sürücüler, Seçkin Yayıncılık, Ankara 2001

CAN, Ahmet; “Orifis ile debi ölçüm esasları” TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt28, Sayı 328, Mayıs 1987.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A.; Çeviren DERBENTLİ, Taner; Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1996

DURAN, Fecir; PIC Mikrodenetleyicisi İle DC Motor Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 2001

GÜRDAL, Osman; Algılayıcılar ve Dönüştürücüler, Fiziksel Prensipler, Tasarım, Uygulama Pratiği, Kasım 2000

KUŞÇU, Hilmi; Elektriksel Olmayan Büyüklüklerin Elektriksel Olarak Ölçülmesi Ders Notları, Edirne 2007

MOHAN, Ned; UNDELAND, Tore M.; ROBBİNS, William P.; Çevirenler
TUNCAY, Nejat; GÖKAŞAN, Metin; BOĞOSYAN, Güç Elektroniği, Seta Literatür Yayıncılık Birinci basım, Eylül 2003

WHITE, M. Frank; dördüncü basımından çevirenler **KIRKKÖPRÜ, Kadir;**
AYDER, Erkan; Akışkanlar Mekaniği, Literatür Yayıncılık, İstanbul 2004

TS EN ISO-5167-2 Borularda Akışkan Akışının Ölçülmesi – Sıvılar İçin - Dolu Akan Daire Kesitli Borular İçerisine Yerleştirilen Basınç Farkı Cihazları İle - Bölüm 2: Orifis Plâkaları” Nisan 2006

ZENGİN, Alper; Dört Adet Orifis Kullanarak Gaz Kütleli Debitinin Direkt Ölçülmesi İçin Bir Yöntemin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Edirne 1998

<http://www.elektrikforumu.com/showthread.php?p=167>

http://www.voltam.com.tr/teori/Ef500/page_06.html

http://www.flowmeterdirectory.com/flowmeter_orifice_calc.html

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışması sırasında, bana her konuda yardımcı olan, fikir ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli danıőmanım Prof.Dr.-Ing. Ahmet CAN'a teőekkÖr ederim. Ayrıca, tez çalıőmalarım sırasında, anlayıőları ve sabırlarıyla beni destekleyen aileme; çalıőmalarım konusunda beni yÖreklendiren ve fikir veren çalışma arkadaşlarım, Öğr. Gör. Ali MÖLAYİM, Öğr.Gör. Ercan KURAK ve Mustafa ÇOBAN'a teőekkÖrÖ bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

Volkan ERDEMİR, 1980 yılında Kırklareli Merkez’de doğdu. İlk ve ortaöğretimini Kırklareli’nde tamamladıktan sonra 1998 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümünden 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılından beri Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta olan Volkan ERDEMİR, bekar olup orta düzeyde İngilizce bilmektedir.