



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ORİFİS AKIŞ ÖLÇERLERDE ÜST AKIM MESAFESİNİ KISALTMAK
İÇİN YENİ TİP BİR AKIŞ ŞARTLANDIRICISININ DEBİ ÖLÇÜM
DOĞRULUĞUNA OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL YÖNTEMLE
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan ÇİFTÇİ

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Hasan DÜZ

Ağustos 2022

BATMAN

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ramazan ÇİFTÇİ tarafından hazırlanan “Orifis Akış Ölçerlerde Üst Akım Mesafesini Kısaltmak İçin Yeni Tip Bir Akış Şartlandırıcısının Debi Ölçüm Doğruluğuna Olan Etkisinin Deneysel Yöntemle Araştırılması” adlı tez çalışması 26/08/ 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

.....

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Hasan DÜZ

.....

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Hasan OKTAY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ramazan ÇİFTÇİ
26/08/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ ORİFİS AKIŞ ÖLÇERLERDE ÜST AKIM MESAFESİNİ KISALTMAK İÇİN YENİ TİP BİR AKIŞ ŞARTLANDIRICISININ DEBİ ÖLÇÜM DOĞRULUĞUNA OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL YÖNTEMLE ARAŞTIRILMASI

Ramazan ÇİFTÇİ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan DÜZ

2022, 136 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

Dr. Öğr. Üyesi Hasan DÜZ

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

Orifis akış ölçerler: Basit, düşük maliyetli, dayanıklı ve çoğu akış türünde (sıvı, gaz, sıvı+gaz vb.) kullanılabilirliğinden çok tercih edilen bir akış ölçerdir. Fakat uzun boru montajı sınırlı alan akış sistemlerinde kullanılmamasına neden olmuştur. Bir çözüm olarak akış şartlandırıcılar kullanılarak bu uzun boru oldukça kısaltılabilmektedir. Pek çok akış şartlandırıcı geliştirilmesine rağmen akış şartlandırıcılar basınç kaybı ve kısa akım mesafesi açısından halen araştırıldıkları görülmektedir. Bu tezde, kısa akımda yüksek ölçüm doğruluğu sağlayabilmek amacıyla basınç kaybı az, çok delikli akış şartlandırıcı plakalar (1x7, 1x6x12) deneysel olarak araştırıldı. Delik pah açısının basınç kaybı üzerindeki etkisini araştırmak için 1x7 pahsız plaka ve dörtü pahlı (15°, 30°, 45°, 55°) plaka imal edildi. Ayrıca gözeneklilik oranı (GO) daha büyük olan bir adet 1x7 (GO=0.25) plakası da imal edildi. Bilinen 1x6x12 Laws plakası karşılaştırma amacıyla kullanıldı. Deneyde bir küresel vananın D aşağı akımında konumlandırılan şartlandırıcı plakanın iki aşağı akım mesafesinde (2D ve 3D) orifis akış ölçer üzerindeki etkileri araştırıldı. Deneyde 52 mm çapındaki test borusuna yerleştirilen orifis plakası ($\beta=0.346, 0.480$) üç farklı debide (1000, 1500, 2000 L/h) ve iki vana konumunda test edildi. Deneysel veriler sonucunda debi ölçüm hatası ve şartlandırıcı plaka basınç kayıpları analiz edildi. Analiz sonuçlarına göre minimum basınç kaybı 20° civarındaki pah açılarında oluşmaktaydı ve pahsız plakaya göre basınç kaybı %30 kadar düşüktü. Sonuçlara göre 1x6x12 plakası %50 açık vana konumunda tüm akış testlerinde %0.5 altında bir debi ölçüm hatası göstermesine rağmen vana konumu %20 olduğunda bu hata 5-10 kat artabilmekteydi. L_1 durumunda tüm akış testlerinde vana konumundan daha az etkilendiğinden 1x6x12 göre daha iyi bir akış şartlandırıcısı olduğu görüldü. 30° ve 45° pahlı şartlandırıcı plakalar L_2 durumunda $\beta=0.346$ orifis plakası takılı iken tüm akış testlerinde %1 altında debi ölçüm hatası göstermelerine rağmen 15° pahlı plaka L_2 durumunda tüm akış testlerinde %1 altında debi ölçüm hatası ile daha iyi bir akış şartlandırıcı özelliği göstermiştir. 15° pahlı plaka 1x6x12 plakasıyla karşılaştırıldığında vana konumundan çok daha az etkilendiğinden $L_2=3D$ gibi kısa üstakım mesafesinde çok iyi bir akış şartlandırıcısı olduğu bu çalışmanı sınırları dahilinde anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akış ölçer, Akış şartlandırıcı, Debi kayıp katsayısı, Orifis akış ölçer, Orifis, Pah açısı Yerel kayıp katsayısı

ABSTRACT

DETERMINING THE EFFECT OF A NEW TYPE FLOW CONDITIONER ON THE ACCURACY OF FLOW MEASUREMENT BY EXPERIMENTAL METHOD TO REDUCE THE UPSTREAM DISTANCE IN ORIFICE FLOW METERS

Ramazan ÇİFTÇİ

**BATMAN UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AUTOMOTIVE
ENGINEERING DEPARTMENT**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hasan DÜZ

2022, 136 Pages

Jury

Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

Asst. Prof. Dr. Hasan DÜZ

Asst. Prof. Dr. Hasan OKTAY

Orifice flow meters: They become the most preferred flow meters since they are of simple use, low budget, durable and can be used in many flow types (liquid, gas, liquid + gas etc.). However, their long pipe installation poses an obstacle for them to be used in the limited space flow systems. Long pipe can be greatly shortened by using flow conditioners as a solution. Although many flow conditioners have been developed, flow conditioners are still being investigated in terms of pressure loss and short flow distance. In this dissertation, multi-hole flow conditioning plates that have low pressure loss (1x7, 1x6x12) were analyzed empirically to ensure the high measurement accuracy. One 1x7 unchamfered plate and four chamfered plates (15°, 30°, 45°, 55°) were manufactured in order to investigate the impact of hole chamfer angle on the pressure loss. Additionally, one 1x7 (Porosity Ratio=0.25) plate that has a bigger porosity ratio was also manufactured. One common 1x6x12 Laws plate was used for comparison purpose. In the experiment, the impacts of a conditioner plate positioned in D downstream of a ball valve on orifice flow meters were investigated at two downstream distances (2D and 3D). Orifice plate ($\beta=0.346, 0.480$) inserted in test pipe of 52 mm in diameter was tested in three different flow rate (1000, 1500, 2000 L/h) and at two valve positions. As a result of the empirical data, flow rate measurement error and conditioner plate pressure losses were analyzed. According to analysis results, minimum pressure loss occurred at chamfer angles around 20° and the pressure loss was 30 % less when compared with the unchamfered plate. In reference to results, even though 1x6x12 plate showed a flow rate measurement error below 0.5% in 50 % open valve position in all flow tests, that error could increase 5-10 times when the valve position is 20 %. This showed that velocity profile of 1x6x12 plate is very sensitive to distortion level. 1x7 (porosity ratio=0.25) plate showed very low flow rate measurement error below 0.5 % only when it was in L_1 position and when the $\beta=0.48$ plate was inserted. It was observed that it is a better flow conditioner when compared with 1x6x12 plate since it was affected from valve position less in L_1 position in all flow tests. Although chamfered conditioner plates of 30° and 45° showed flow rate measurement error below 1 % in all flow tests when $\beta=0.346$ orifice plate was inserted in L_2 position, 15° chamfered plate showed better flow conditioner quality with flow rate measurement error below 1 % in L_2 position in all flow tests. Since 15° chamfered plate was affected less from the position of valve when compared with 1x6x12 plate, it was understood within the scope of this study that it is a very good flow conditioner within overflow distance like $L_2=3D$.

Key Words: Bevel angle, Discharge coefficient, Flow conditioner, Flow meters, Minor loss coefficient, Orifice flow Orifice flowmeter,

ÖNSÖZ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada çalışmanın her safhasında yardımcı olan kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan DÜZ 'e teşekkürlerimi sunarım. Yazım aşamasında yanımda olan aileme sevgilerimi sunuyorum.

Ramazan ÇİFTÇİ

BATMAN-2022



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
TEZ BİLDİRİMİ.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Temel Bilgiler	2
1.2. Akışkanların Sınıflandırılması	3
1.2.1. Viskozlu ve viskozlu olmayan akış	3
1.2.2. İç ve dış akışlar	3
1.2.3. Sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış	4
1.2.4. Doğal ve zorlanmış akış.....	4
1.2.5. Daimi olan ve daimi olmayan akışlar	5
1.2.6. Bir-iki ve üç boyutlu akışlar.....	5
1.2.7. Laminer ve türbülanslı akışlar	5
1.3. Boru Akışında Tam Gelişmiş Akış	8
1.4. Akış Ölçerler	11
1.4.1. Akışkan debi ölçümü	11
1.4.2. Engelli akış ölçerler	13
1.4.3. Orifis plakalı akış ölçerin temelleri.....	15
1.4.3.1. Birincil cihaz (orifis plakası)	15
1.4.3.1.1. Orifis akış ölçer akış debisinin ölçülmesi	17
1.4.3.1.2. Basınç ölçüm muslukları.....	19
1.4.3.1.2.1. Flanş basınç muslukları.....	20
1.4.3.1.2.2. Vena kontrakta basınç muslukları.....	20
1.4.3.1.2.3. Boru basınç muslukları.....	20
1.4.3.1.2.4. Köşe basınç muslukları.....	21
1.4.3.1.2.5. Yarıçap basınç muslukları.....	21
1.4.3.2. İkincil Cihaz.....	21
1.5. Orifis Plakalı Akış Ölçerlerin Avantajları.....	21
1.6. Orifis Plakalı Akış Ölçerin Dezavantajları	22
1.7. Akış Şartlandırıcılar	23
1.7.1. Akış şartlandırıcı çeşitleri.....	24
1.7.1.1. MHI (Mitsubishi Heavy Industries) akış şartlandırıcı	24
1.7.1.2. Laws akış şartlandırıcısı.....	25
1.7.1.3. Spearman (NEL) akış şartlandırıcısı.....	25
1.7.1.4. Etolie akış şartlandırıcısı.....	26
1.7.1.5. Kanatlı plaka akış şartlandırıcı.....	26

1.7.1.6. Tüp demeti akış şartlandırıcısı	27
1.7.1.7. Gözenekli akış şartlandırıcıları.....	27
1.7.1.8. Zanker akış şartlandırıcısı	27
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	29
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Deneysel Testler	35
3.2. Deney Test Borusu ve Manometrik Hortumlar	41
3.3. Orifis Test Plakaları	42
3.3.1. Konsantrik tek delikli orifis test plakaları.....	43
3.4. Akış Şartlandırıcı Test Plakaları	44
3.4.1. Akış şartlandırıcılar	45
3.4.1.1. 1x7 Akış şartlandırıcı test plakaları	45
3.4.1.2. 1x6x12 akış şartlandırıcı plaka (Laws akış şartlandırıcısı)	48
3.5. Pompanın Özellikleri	49
3.6. Değişken-Alanlı Akış Ölçer (Rotametre).....	50
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	51
4.1. Standart Orifis Plaka akışında Anlık Basınç Manometrik Yükseklikleri.....	52
4.2. Akış Şartlandırıcılı ve Akış Şartlandırıcısız Durumda Orifis Plaka Basınç Fark Değerleri	57
4.3. Test Plakası Yerel Kayıp Katsayısı.....	61
4.4. Orifis Plakalarda Debi Kayıp Katsayısı	67
4.4.1. Debi ölçüm hatasının analiz edilmesi.....	71
4.4.1.1 d=18 mm orifis plakası öncesi L ₁ ve L ₂ durumunda debi ölçüm hatası.....	71
4.4.1.2 d=25 mm orifis plakası öncesi L ₁ ve L ₂ durumunda debi ölçüm hatası	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
5.1 Sonuç	80
5.2.Öneriler.....	82
KAYNAKLAR	84
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ.....	136

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Alan
D	: boru çapı
d	: Orifis çapı
f	: Darcy sürtünme faktörü,
h	: Yükseklik, m
h_g	: Orifis plaka öncesi giriş manometrik basınç yüksekliği
h_1	: Orifis plaka öncesi D mesafesinde ölçülen manometrik basınç yüksekliği
h_2	: Orifis plaka sonrası D/2 mesafesinde ölçülen manometrik basınç yüksekliği
$h_ç$	: Orifis plaka sonrası çıkış manometrik basınç yüksekliği
L	: Karakteristik uzunluk
$\dot{m}$	: Kütleli debi, kg/s
V	: Ortalama akış hızı, m/s
$\dot{V}$	: Hacimsel debi, m ³ /s
μ	: Akışkan vizkozitesi, kg/m.s
ρ	: Kullanılan akışkanın yoğunluğu. kg/m ³

Kısaltmalar

C_d	: Debi kayıp katsayısı,
h_k	: Tam gelişmiş akışta toplam sürtünme yük kaybı,
$h_{k,s}$	: Düz boruda akış sürtünme yük kaybı,
$h_{k,y}$	: Düz boru dışında borulama sisteminde kullanılan boru armatürleri nedeniyle oluşan sürtünme yük kaybı,
GO	: Gözeneklilik oranı
Re	: Reynolds sayısı,
ϵ/D	: Boru bağıl pürüzlülüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Viskozlu akış ve viskozlu olmayan akış bölgesi.....	3
Şekil 1.2. Laminer ve türbülanslı akışlar (Çengel ve vd.2008)	6
Şekil 1.3. Laminer akış (Çengel ve vd.2008)	6
Şekil 1.4. Geçişli akış (Çengel ve vd.2008)	6
Şekil 1.5. Türbülanslı akış (Çengel ve vd.2008).....	7
Şekil 1.6. Laminer geçiş ve türbülanslı akışlar (Çengel ve vd. 2008)	7
Şekil 1.7. Boru girişinden itibaren akışın tam gelişmiş akışa dönüşmesi (Çengel ve vd. 2008).....	9
Şekil 1.8. U şeklinde manometre (Çengel ve vd. 2008).....	11
Şekil 1.9. Bahçe hortumundan akan suyun debisinin toplanan miktarın zamana oranıyla bulunabilir (Çengel ve vd. 2008).	12
Şekil 1.10. Engelli akış ölçer (Çengel ve vd. 2008).....	13
Şekil 1.11. Engelli akış ölçerler (Çengel ve vd. 2008).....	15
Şekil 1.12. Delikli plaka (Anonim, 2022)	16
Şekil 1.13. Orifis test plakası standart-boyutsal ölçüleri ve sınır değerleri (ISO 5167 standartları)	16
Şekil 1.14. Orifis plakalı boru akışının akım çizgileri ile gösterilmesi ve orifis akışı boyunca statik basınç değişimi (Anonim, 2022).....	17
Şekil 1.15. Orifis plakalı akış ölçer (Anonim, 2022).....	18
Şekil 1.16. Orifis akış ölçerlerde fark basınç ölçümünde kullanılan basınç ölçüm muslukları (ISO, 1978).....	19
Şekil 1.17. Kare kenarlı eş merkezli orifis plakası (ISO, 5167).....	22
Şekil 1.18. Akış ölçerlerde akış şartlandırıcısının kullanılması ile üst akım borusunun kısaltılması (Don, 2017).....	24
Şekil 1.19. MHI akış şartlandırıcısı (Laws ve Quazzane, 1995)	24
Şekil 1.20. Laws akış şartlandırıcısı (Laws ve Quazzane, 1995)	25
Şekil 1.21. Spearman (NEL) akış şartlandırıcısı (Spearman, Sattary ve Reader-Harris, 1996).....	25
Şekil 1.22. Etoile akış şartlandırıcı (Laws ve Quazzane, 1995)	26
Şekil 1.23. Kanatlı akış şartlandırıcı (Laws ve Quazzane, 1995)	26
Şekil 1.24. Standart tüp akış şartlandırıcısı (Morrison ve Hall, 1997)	27
Şekil 1.25. Sırasıyla, tekdüzenli yarıklı akış düzenleyicisi ve Parabolik oluklu delikli akış düzenleyici (Morrison vd., 1997).....	27
Şekil 1.26. Zanker düzleştirici akış şartlandırıcı (Lawsand Quazzane, 1992).....	28
Şekil 3 1. Orifis plaka öncesi tam gelişmiş akış için deney şeması (standart orifis akışı)	37
Şekil 3. 2. Orifis plaka öncesi tam gelişmiş akış için deney düzeneği (standart orifis akışı)	37
Şekil 3.3. Orifis öncesi akış şartlandırıcılı L_1 boruda bozuk akışta deney şeması	39
Şekil 3.4. Orifis öncesi akış şartlandırıcılı L_1 boruda bozuk akış için deney düzeneği ..	39
Şekil 3.5. Orifis öncesi akış şartlandırıcılı L_2 boruda bozuk akışta deney şeması.....	40
Şekil 3.6. Orifis öncesi akış şartlandırıcılı L_2 boruda bozuk akış için deney düzeneği ..	40
Şekil 3.7. Deney test borusu	42
Şekil 3.8. Orifis akış ölçer olarak kullanılacak orifis test plakaları (a, b)	43
Şekil 3.9. Orifis test plakası ve büyütülmüş pahlı orifis delik kesitinin ölçü detayları ..	43
Şekil 3.10. Orifis test plakası geometrik ölçüleri.....	44
Şekil 3.11. 1×7 akış şartlandırıcısında plakanın tüm deliklerine aynı açıda verilen pahın	

büyütülmüş delik.....	46
Şekil 3.12. 1x7 akış şartlandırıcısını ölçülendirilmesi: a) pahlı (GO=0.1) b) pahsız (GO=0.25).....	46
Şekil 3.13. 1x7 akış şartlandırıcı plakasından ikisi pahsız ve diğer dördü farklı pah açısında olmak üzere altı ayrı test plakası çekilen fotoğrafları (a,b,c,d,e,f).....	48
Şekil 3.14. İmal edilen 1x6x12 akış şartlandırıcı test plakası	48
Şekil 3.15. Keskin kenarlı 1x6x12 akış şartlandırıcı test plakası ölçüleri.....	49
Şekil 3.16. Pompaya bağlı elektrik motoru	49
Şekil 3.17. Rotametre.....	50
Şekil 4.1. d=18 mm orifis plaka öncesi tam gelişmiş standart akışta 1000 (L/h) debide her dört basınç musluğundan ölçülen anlık basıncın manometrik su yüksekliklerinin zamana bağlı değişimleri	54
Şekil 4.2. d=18 mm orifis plaka öncesi tam gelişmiş standart akışta 1500 (L/h) debide her dört basınç musluğundan ölçülen anlık basıncın manometrik su yüksekliklerinin zamana bağlı değişimleri.....	55
Şekil 4.3. d=18 mm orifis plaka öncesi tam gelişmiş standart akışta 2000 (L/h) debide her dört basınç musluğundan ölçülen anlık basıncın manometrik su yüksekliklerinin zamana bağlı değişimleri.....	55
Şekil 4.4. 1x7 akış şartlandırıcıların pah açısına bağlı yerel kayıp katsayıları grafiği ...	67
Şekil 4.5. d=18 mm orifis plaka üstakımı L ₁ boru kullanımında %20 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	72
Şekil 4.6. d=18 mm orifis plaka üstakımı L ₁ boru kullanımında %50 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	74
Şekil 4.7. d=18 mm orifis plaka üstakımı L ₂ boru kullanımında %20 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	75
Şekil 4.8. d=18 mm orifis plaka üstakımı L ₂ boru kullanımında %50 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	76
Şekil 4.9. d=25 mm orifis plaka üstakımı L ₁ boru kullanımında %20 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	77
Şekil 4.10. d=25 mm orifis plaka üstakımı L ₁ boru kullanımında %50 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	78
Şekil 4.11. d=25 mm orifis plaka üstakımı L ₂ boru kullanımında %20 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	79
Şekil 4.12. d=25 mm orifis plaka üstakımı L ₂ boru kullanımında %50 açık vana durumlu akışta oluşan debi ölçüm hatası.....	79

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 3.1. Deneysel testler için kullanılan koniksel girişli orifis plakalarının ölçüleri..	44
Tablo 3 2. Deneysel testler için kullanılan 1x7 konik girişli akış şartlandırıcı plakalarının ölçüleri	47
Tablo 3.3. Deneysel testler için kullanılan çok delikli keskin kenarlı 1x6x12 akış şartlandırıcı plakanın ölçüleri	49
Tablo 3.4. Pompaya bağlı motorun teknik özellikleri	50
Tablo 4 1. Orifis plaka öncesi ve sonrası tam gelişmiş akış için zamana bağlı hidrostatik basınç yükseklik Değerleri.....	53
Tablo 4.2. Orifis plaka öncesi tam gelişmiş standart akışta her iki orifis plakası için basınç musluklarından ölçülen zaman ortalamalı basınç yükseklik değerleri.....	56
Tablo 4.3. Plaka öncesi tam gelişmiş standart akışta her akış şartlandırma plakası için basınç musluklarından ölçülen zaman ortalamalı basınç yükseklik değerleri.....	56
Tablo 4.4. d=18 mm orifis plaka öncesi L ₁ borusu takılı iken D ve D/2 basınç musluklarından ölçülen manometrik zaman ortalamalı basınç yükseklik değerleri	58
Tablo 4.5. d=25 mm orifis plaka öncesi L ₁ borusu takılı iken D ve D/2 basınç musluklarından ölçülen manometrik zaman ortalamalı basınç yükseklik değerleri	59
Tablo 4.6. d=18 mm orifis plaka öncesi L ₂ borusu takılı iken D&D/2 basınç musluklarından ölçülen manometrik zaman ortalamalı basınç yükseklik değerleri	60
Tablo 4.7. d=25mm orifis plaka öncesi L ₂ borusu takılı iken D ve D/2 basınç musluklarından ölçülen manometrik zaman ortalamalı basınç yükseklik değerleri	61
Tablo 4.8. Giriş ve çıkış basınç muslukları arasında tam gelişmiş bir boru akışı için sürtünme yük kaybı	64
Tablo 4.9. Orifis ve akış şartlandırıcı plakaların yerel kayıp katsayı değerleri	65
Tablo 4.10. Orifis öncesi standart uzun boru kullanımında orifis plaka ölçüm verileri ve bu verilerden hesaplanan standart debi kayıp katsayısı.....	69
Tablo 4.11. L ₁ boru kullanımında d=18 mm orifis plakası takılı iken bulunan debi kayıp katsayısı ve debi ölçüm hatası (%20 açık vana)	70
Tablo 4.12. L ₁ boru kullanımında d=18 mm orifis plakası takılı iken bulunan debi kayıp katsayısı ve debi ölçüm hatası (%50 açık vana)	71

1. GİRİŞ

Endüstriyel işlemlerde ve sosyal yaşam alanlarında akışkanlar genellikle boru veya kanal vasıtasıyla taşınmaktadırlar. Taşınan akışkan miktarının doğru olarak ölçülmesi verim, güç tüketimi ve maliyet açısından büyük önem arz etmektedir. Doğalgazın taşınmasında, debi ölçümlerinde küçük gibi görünen debi ölçüm hataları tedarikçi firmaya veya alıcı firmaya milyon dolar bazında zararlara neden olabilmektedir. Ayrıca üretim proseslerinde kullanılmak üzere gerekli akışkan miktarının belirlenmesi verim ve kalite açısından önemli olmaktadır. Akış sistemlerinde akan akışkanın anlık olarak debisinin veya belirli bir zaman diliminde akan toplam miktarının belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Bunun için pek çok akış ölçer geliştirilmiştir. Bu tür ölçümlerde akışkan miktarının yüksek doğrulukta ölçülmesi önemli olduğundan akış ölçerlerin imal edilmesi, kalibre edilmesi ve kurulumları oluşmuş standartlara uyularak gerçekleştirilmektedir.

Akışkan taşıma sistemlerinde akan akışkan debisi, belirli bir akış karakteristiğine göre kalibre edilmiş akış ölçerlerle ölçülmektedir. Uygulamalarda en yaygın görülen akış ölçerler fark basınç ölçerleridir. Bu akış ölçerlerde akış yolu bir engel ile daraltılarak engel öncesi ve sonrası bir basınç farkının oluşması sağlanır ve bu basınç farkı ile akış debisi ölçülmesinde kullanılır. Yapılan pazar araştırmalarına göre endüstride kullanılan akış ölçerlerin yarısından fazlası bu tür akış ölçerlerden oluşmaktadır (Rogers, 2005). İmalatçı firma ürettiği akış ölçerlerin pratik uygulamada doğru ölçümler yapmasını sağlamak için bu akış ölçeri akış ölçer standartlarına uygun olarak deneysel testlerle kalibre eder. Bu deneysel testler sonucunda akış debisi ile basınç farkı arasında bir bağıntı kurulur. Bu bağıntıya uyacak şekilde akış ölçer kalibre (ayarlama) edilir. Yapılan bu kalibrasyonu ile akış ölçer, ölçtüğü akış debisini dijital veya analog şekilde anlık olarak okuyucuya gösterir. Engelli akış ölçerler, ölçülen debi aralığı, çalışma şartları ve kurulum standartları gözetilerek kurulumları gerçekleştirilir. Standart dışı kurulumlar ise akış ölçerlerin hatalı debi değerlerini göstermesine sebep olur.

Engelli akış ölçerler, geometrik tasarıma bağlı olarak venturi, orifis ve lüle olmak üzere üç farklı tipte sınıflandırılmıştır. Her akış ölçer geometrik tasarımı ve özellikleri ile birbirinde farklılık göstermektedir. Bu akış ölçerler akış yolunu daraltıklarından önemli bir basınç kaybına neden olabilmektedirler. Bu basınç kayıpları önemli bir pompalama gücü gerektirdiğinden akış sisteminde kayda değer bir enerji tüketimi meydana gelir. Basınç kaybı açısından her üç akış ölçer karşılaştırıldığında venturi tipi en düşük basınç

kaybına ve orifis akış ölçer ise en yüksek basınç kaybına neden olur. Fosil enerji tüketim nedenli küresel ısınma problemi ve enerji tüketim maliyetleri düşünüldüğünde akış ölçerlerin tasarlanmasında basınç kaybı önemli bir optimizasyon parametresi olmuştur (Shaaban, 2014; Abdulrazaq ve vd., 2017). Ölçüm doğruluğu açısından her üç tip engelli akış ölçer karşılaştırıldığında venturimetre en yüksek doğruluğu (%0.25 hata) ve orifis akış ölçer ise en düşük doğruluğa (%1 hata) sahiptir. Fakat maliyet açısından düşünüldüğünde kompleks yapıları nedeniyle venturimetre çok pahalı cihazlardır. Bunun aksine basit yapısı nedeniyle de orifis akış ölçer en ucuz olanıdır. Engelli akış ölçerlerin seçiminde aranan başlıca özellikler ise şunlardır: Yüksek ölçüm doğruluğu, düşük basınç kaybı, düşük kurulum maliyeti, kompaktlık, kolay montaj, uzun süreli kullanım, az bakım gerektirmesi, geniş debi ölçüm aralığı vb. özelliklerdir.

Yüksek basınç kaybına rağmen düşük maliyeti, basit kurulumu, az bakım gerektirmesi, dayanıklı ve kompakt olması gibi avantajları ile orifis akış ölçerler ticari ve endüstriyel alanda en çok kullanılan engelli akış ölçerler olmuşlardır (Manish ve vd., 2012). Bunlara ek olarak kurulumunu ve çalıştırılmasını doğrulayan standartlarda kaydedilmiş büyük bilgiye ve tecrübeye donatılmış olması ayrıca bir güven oluşturmuştur (örneğin ISO 5167, API 14.3, BS 1042). Orifis akış ölçerler sıvı veya gaz olsun tek fazlı akışlarda, sıvı+gaz gibi çok fazlı akışlarda, newton tipi akışkan olsun veya olmasın pek çok akış türünde akış debisinin ölçülmesinde kullanılabilmektedir.

1.1.Temel Bilgiler

Mekanik: Kuvvetler etkisinde durağan ve hareketli cisimlerle ilgilenen fizik biliminin en eski dalıdır. Mekanik iki alt dala ayrılır: statik ve dinamik.

Statik: Duran veya sabit hızla hareket eden cisimleri kuvvet ve moment dengesi yönünden inceleyen bilim dalıdır.

Dinamik: Hareketli cisimlerde yer değiştirme, hız, ivme ve harekete neden olan kuvvetleri inceler.

Akışkanlar Mekaniği: Akışkanların durgun ve hareketli haldeki davranışlarını, fiziksel özelliklerini ve akışkanların; katılar ile diğer akışkanlar ile oluşturdukları sınır yüzeylerindeki etkileşimler ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Akışkanlar mekaniği birkaç alt dala ayrılır. Bunlar:

-Hidrodinamik: Sıvılar ve düşük hızlardaki gazların hareketleri ile ilgili çalışmaları konu edinir.

-Gaz Dinamiği: Gazların yüksek hızlardaki akışları ile ilgilenir.

-Aerodinamik: Havanın cisimler üzerindeki (uçak, roket, otomobil) akışları ile ilgilenir.

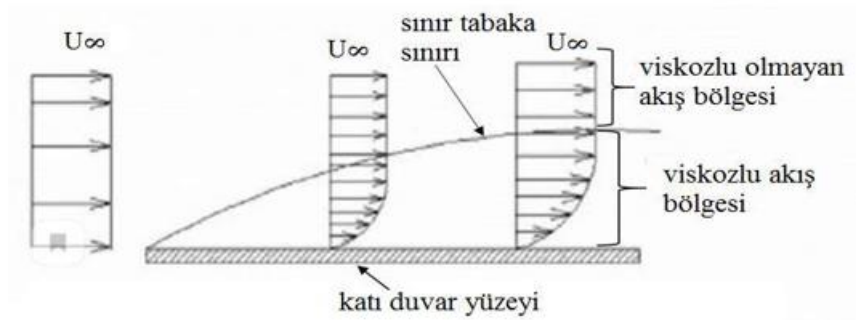
1.2. Akışkanların Sınıflandırılması

Uygulamalarda çok çeşitli akışlar ile karşılaşılır. Bunları grup halinde inceleyebilmek için bazı ortak özellikler ile sınıflandırma yapılması gerekmektedir.

1.2.1. Viskozlu ve viskozlu olmayan akış

Viskoz kuvvetler, sıvılarda moleküller arasındaki çekim kuvvetleri iken gazlarda moleküllerin birbiriyle çarpışmasından meydana gelen kuvvetlerdir. Bu nedenle her sıvı ve gaz akışkan bir viskoziteye sahiptir.

Viskozite: Bir akışkanın akışa karşı gösterdiği iç dirençtir. Örneğin: Hava suya göre daha rahat akarken su yağa göre daha rahat akar. Aynı şekilde suya bırakılan bir bilye, yağ içerisine bırakılan bir bilyeden daha hızlı düşer. Katı bir yüzey üzerinden geçen akışlarda yüzeyin normali yönünde viskoz kuvvetler etkisiyle akış hızında bir değişim olur. Akış hızında değişimin görüldüğü akış bölgesine "**viskozlu akış bölgesi**" denir. Akış hızında değişimin görülmeyen veya ihmal edilebildiği akış bölgesine ise "**viskozlu olmayan akış bölgesi**" denir. Şekil 1.1'de viskozlu akış ve viskozlu olmayan akış bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Viskozlu akış ve viskozlu olmayan akış bölgesi (Çengel ve vd., 2008)

1.2.2. İç ve dış akışlar

Dış Akış: Herhangi bir sınırlama olmaksızın bir cisim üzerinde olan akışlara "dış akış" denir. Örnek: Açık kanal akışı, araba üzerinden hava akışı vb.

İç Akış: Sınırlandırılmış bir yüzey içerisinden akan akışkanlara ise "iç akış" denir.

Örnek: Boru veya kapalı kanal içerisinde olan akışlara iç akış denir.

1.2.3. Sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış

Gaz yoğunluğunun akış boyunca basınç etkisiyle olan değişimi akışı sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz akış olarak ele alınmasına neden olmuştur.

Sıkıştırılamaz akış: Akışkan yoğunluğu akış boyunca değişmiyorsa (basınç veya sıcaklık etkisiyle) veya değişimi ihmal ediliyorsa bu akışa sıkıştırılamaz akış denir. Sıvılar sıkıştırılamaz maddeler olduğundan tüm sıvı akışları sıkıştırılamaz akışlardır. Gazlar ise sıkıştırılabilir maddeler olmasına rağmen bazı gaz akışlarında akış boyunca gazın yoğunluğu ihmal edilecek düzeyde az değiştiğinden sıkıştırılamaz akış olarak ele alınabilmektedirler. Bu gaz akışları genelde düşük hızlı gaz akışlarıdır. Binalarda bulunan doğalgaz tesisatındaki gaz akışı, sıkıştırılamaz gaz akışı olarak ele alınmaktadır.

Sıkıştırılabilir Akış: Akışkan yoğunluğu akış boyunca önemli şekilde değişiyorsa (basınç veya sıcaklık etkisiyle) bu tür akışlara sıkıştırılabilir akış denir. Sıkıştırılamaz akışlar için kullanılan denklemler sıkıştırılabilir akışlar için kullanılamamaktadır. Bu nedenle sıkıştırılabilir gaz akışları ayrı olarak incelenen bir akış türüdür.

Yüksek gaz akışları sıkıştırılabilir akışlardır. Örnek: Uçak üzerinden hava akışı, gaz türbinlerindeki gaz akışları, nozzle ve lülelerdeki yüksek hızlı gaz akışları vb. akışlar sıkıştırılabilir akış olarak incelenirler.

1.2.4. Doğal ve zorlanmış akış

Zorlanmış akış: Bir akışkanın pompa veya fan gibi bir dış kuvvet etkisiyle akmaya zorlanmasına zorlanmış akış denir. Örneğin: Sıvıların borularda pompa ile akmaya zorlanması, klima kanallarında fanla hava akışının sağlanması gibi.

Doğal akış: Yerçekimi etkisiyle akış kendiliğinden gerçekleşiyorsa bu akışa doğal akış denir.

Örnek: Kalorifer peteği üzerinden ısınan havanın yukarı doğru yükselmesi. Bu akış olayında, petek çevresinde ısınan havanın yoğunluğu çevredeki havadan daha düşük olmakta bu nedenle hafif hava yukarı doğru bir doğal akış oluşturur. Yerçekimi etkisiyle suyun derelerde ve nehirlerde aşağı doğru hep akması doğal bir akış örneğidir. Soğuk duvarda soğuyan havanın aşağı doğru akması gibi pek çok örnek verilebilir.

1.2.5. Daimi olan ve daimi olmayan akışlar

Herhangi bir akışta akış içerisinde bir noktada gözlemlenen akış özellikleri (hız, sıcaklık, basınç gibi) zamanla değişmiyorsa bu akışa daimi akış denir. Eğer gözlemlenen akış özellikleri zamanla değişiyorsa bu akışa da daimi olmayan akış denir. Başka bir ifadeyle akış şartlarının zamanla değişmediği akışlara daimi akış, akış şartlarının zamanla değiştiği akışlara ise daimi olmayan akışlardır. Örneğin, debinin zamanla değişmediği sabit debili akışlar daimi akışlardır. Genelde pompa, kompresör, fan ve türbin gibi makinalar çalışırken sağladıkları akış debisi zamanla değişmiyorsa bu tür sistemlerdeki akışlar daimidir. Daimi olmayan akışlara örnek ise: Akış debisinin zamanla değiştiği tüm akışlar, türbülanslı akışlar, damardaki kan akışı vb. pek çok örnek verilebilir.

1.2.6. Bir-iki ve üç boyutlu akışlar

Bir akış alanı en iyi şekilde hız dağılımı ile tanımlanabilir. Eğer akış hızı temel boyutlardan birine, ikisine veya da her üçüne göre değişiyorsa akış, sırasıyla, bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu akış olarak tanımlanır. Akış özelliklerinden (hız, basınç, sıcaklık) biriyle akışın bir, iki ve üç boyutlu olduğuna karar verilir. Örneğin; akış hızı sadece bir yönde değişiyorsa bir boyutlu akış, iki yönde değişimi varsa iki boyutlu akış, üç yönde de değişimi varsa üç boyutlu akış denir. Üç boyutlu bir akışta akış simetriligi varsa akış iki boyuta indirgenerek daha basit bir şekilde çözülebilmektedir.

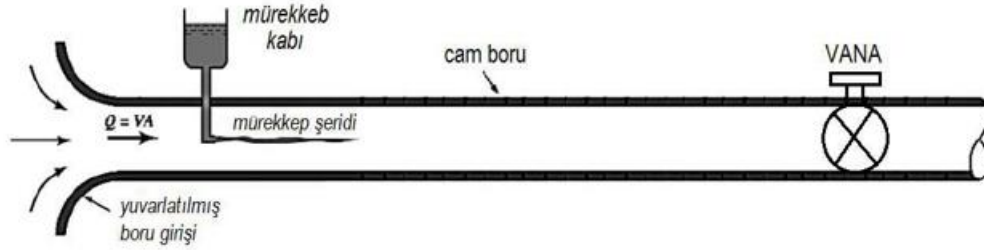
1.2.7. Laminer ve türbülanslı akışlar

Bazı akışlar düzenli ve sakin bir şekilde akarken bazı akışlar ise düzensiz ve iç içe karışarak aktıkları görülür. Bu nedenle,

- Sakin ve düzenli akış hareketine laminer akış,
- Düzensiz, iç içe karışarak akan akış hareketine ise türbülanslı akış denir.

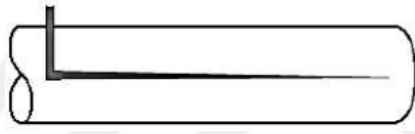
Osborne Reynolds 1800 'lerde bir cam borudaki su akışına mürekkep enjekte ederek bu akış türlerini bulmuştur. Bir vanayla akış hızını artırdığında suya enjekte edilen mürekkebin akış boyunca şeklinin değiştiğini gözlemlemiştir. Mürekkebin akış içerisindeki şeklinin; akışın laminer, geçiş ve türbülanslı bir şekilde akmasının bir

sonucu olduğunu görmüştür. Bu nedenle akışlar laminar, geçiş ve türbülanslı olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 1.2’de laminar ve türbülanslı akışlar gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Laminar ve türbülanslı akışlar (Çengel ve vd., 2008)

1) Düşük hızlı akışta mürekkep akışa hiç karışmadan düz bir ip şeklinde akış boyunca ilerlemiştir. Bu tür özellik gösteren akışlara laminar akış denir. Laminar akış Şekil 1.3’te gösterilmiştir.



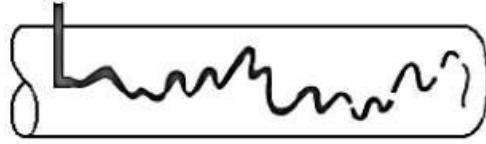
Şekil 1.3. Laminar akış (Çengel ve vd., 2008)

2) Vana açılarak akış hızı biraz arttırıldığında mürekkebin düz ip hali bozulmaya başlamış ve mürekkebin akış içerisinde hafif dalgalı bir şekilde akmasına neden olmuştur. Bu akış haline ise geçiş akışı denir. Geçiş akışı kararsız bir akış olup laminar ve türbülans arası bir akış türüdür. Geçişli akış Şekil 1.4’te gösterilmiştir.



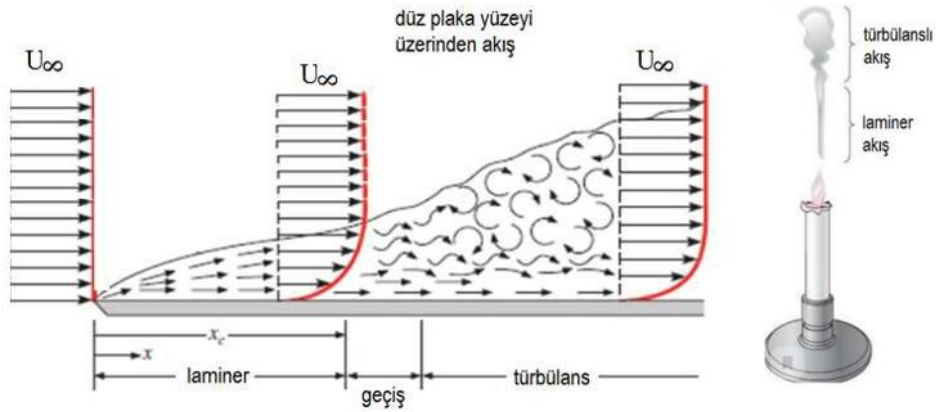
Şekil 1.4. Geçişli akış (Çengel ve vd., 2008)

3) Vana daha da açılarak akış hızı belirli bir hız değerini geçtiğinde mürekkep tüm boru akışına karışarak akmıştır. Bu akış türüne de türbülanslı akış denir. Türbülanslı akışta mürekkebin tüm akış kesitine dağılarak akması akışın iç içe karışarak aktığının bir göstergesidir. Türbülanslı akış Şekil 1.5’te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Türbülanslı akış (Çengel ve vd., 2008)

Sonuç olarak akışın düzensiz ve iç içe karışarak akması türbülans olduğunu, akışın düzenli ve sakin akması ise laminar olduğunu gösterir. Genelde düşük hızlı akışlar laminar akışken bunun dışındaki akışlar ise türbülanslı akışlardır. Aşağıda düz bir plaka yüzeyi üzerinden akışkan akışı ve bir mum alevinden yükselen duman akışı gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi laminar başlayan akış daha sonra bozularak türbülanslı akış olmaktadır. Laminar geçiş ve türbülanslı akışlar Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Laminar geçiş ve türbülanslı akışlar (Çengel ve vd. 2008)

Reynolds Sayısı (Re) : Osborne Reynolds yaptığı deneyler sonucunda akışın laminar veya türbülanslı olduğunu bir boyutsuz sayı ile belirlemiştir. Bu boyutsuz sayıya Reynolds sayısı denir. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranını göstermektedir ve aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \quad (1.1)$$

Burada;

Re : Reynold sayısı

P: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

V : Ortalama akış hızı (m/s)

μ : Akışkanın viskozitesidir (kg/m.s)

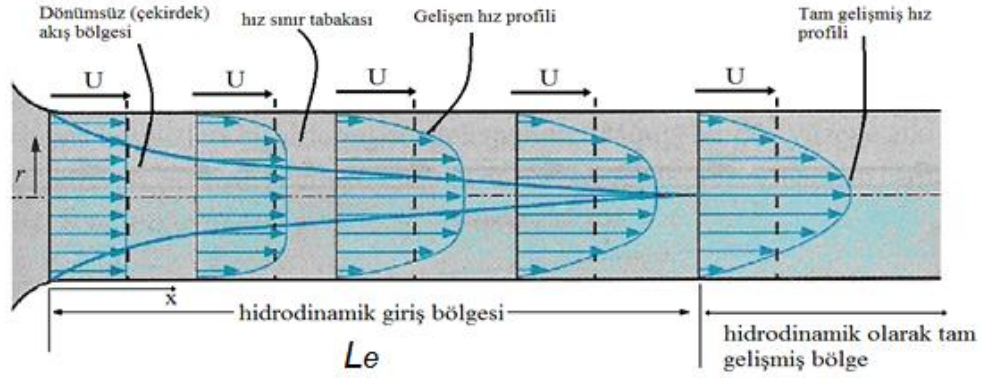
L : Akışa ait karakteristik bir uzunluk (m)

Örneğin boru akışlarında:

- $Re < 2000$ akış laminardır.
- $2300 < Re < 4000$ geçiş akışıdır (laminer veya türbülans arası kararsız akış türüdür).
- $Re > 4000$ türbülanslı akıştır.

1.3. Boru Akışında Tam Gelişmiş Akış

Dirsek, vana, redüksiyon, boru bükümü gibi elemanlardan sonra düz bir boruya geçen akışkan uzun bir mesafede sonra tam gelişmiş bir boru akışına dönüşür. Bu gibi elemanlarda çıkan akış simetrik olmayan çarpık bir hız profiline ve çevrinti içeren bozuk bir akış olmaktadır. Bu bozuk akış düz boruda ilerlerken gelişir ve en sonunda tam gelişmiş akış olur. Tam gelişmiş bir boru akışında hız profili merkez çizgisine göre simetrik olup akış boru boyunca değişmemektedir. Tam gelişmiş boru akışının önemli özellikleri sabit bir hız profili ve sabit bir sürtünme faktörüne sahip boru akışına denir. Aşağıdaki şekilde bir tanktan boruya geçen akışkanın tam gelişmiş boru akışına dönüşüncüye kadar hız profilinin değişimleri gösterilmiştir. Boru girişinden tam gelişmiş akışın başladığı akışa gelişen akış ve sonrasına ise tam gelişmiş akış denir. Gelişen akış uzunluğu L_e , boru akışının laminar veya türbülans olmasına ve üstakım armatür çeşidine göre (dirsek, vana vb.) değişkenlik gösterebilmektedir. Tüm olası durumlar için standartlarda $100D$ boru uzunluğu tam gelişmiş bir boru akışının oluşması için yeterli görülmüştür. Literatür bildirilen çalışmalarda orifis akış ölçerler için bu değer daha da düşük olabilmektedir. Örneğin API 2530 (1985) orifis akış ölçer standartlarına göre ise orifis çap oranı 0.75 olan bir orifis plakanın üst akımında kısma valfi bulunması halinde minimum boru uzunluğu $45D$ ve orifis plaka aşağı akımında ise minimum $5D$ boru uzunluğu bırakılmalıdır. Aynı orifis çap oranında üst akımda tek dirsek bulunması halinde tavsiye edilen minimum boru uzunluğu $17D$ olarak bildirilmiştir. Şekil 1.7’de Boru girişinden itibaren akışın tam gelişmiş akışa dönüşmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Boru girişinden itibaren akışın tam gelişmiş akışa dönüşmesi (Çengel ve vd., 2008)

Akış Debi: Belirli bir kesit alandan geçen akışkanın birim zamanda geçen miktarına debi denir. Miktarı kütleli ve hacimsel olarak iki şekilde ölçülür.

Hacimsel debi: Belirlenen bir süre içerisinde, belirli bir yüzeyden geçen sıvı veya gazın ölçülen hacmidir ve aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\dot{V} = A \cdot V \quad (1.2)$$

Burada;

$\dot{V}$: Hacimsel debi (m^3/s)

A : Yüzey alanı (m^2)

V : Ortalama akış hızı (m/s)

Kütleli debi: Belirlenen bir süre içinde, belirli bir yüzeyden geçen kütle olarak tanımlanır. Ayrıca hacimsel debi ile öz kütlenin çarpılması sonucu elde edilir ve aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$\dot{m} = \rho \cdot V = \rho \cdot \dot{V} \quad (1.3)$$

Burada;

$\dot{m}$: Kütleli debi (kg/s)

ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

V : Ortalama akış hızı (m/s),

A : Akışkanın geçtiği kesit yüzey alanı (m^2)

Yoğunluk: Birim hacmi dolduran kütle miktarıdır. Birimi kg/m^3 tür.

Basınç: Birim alana gelen kuvvete basınç denir. Akışkanlar kendi ağırlıklarından ve üzerlerine etkiyen dış kuvvetlerin etkisiyle bir basınç oluştururlar. Bu nedenle akışkanlarda basınç önemli bir yer tutmaktadır. SI birim sisteminde basınç birimi Pascal olmasına rağmen bar, atm veya eşdeğer civa veya su sütun yüksekliği (mm, Hg, mss) gibi birimlerde kullanılmaktadır.

1 bar: 100 kPa, 1 atm: 101325 Pa

Enerji Denklemi: Akışın daimî olduğu sistemlerde pompa ve fan gibi makineler bir mil işi harcayarak akışa mekanik enerji kazandırırken türbinler ise akıştaki mekanik enerjiyi çekerek mil işine dönüştürürler. Pompa ve fan akışkana mekanik enerji kazandırırken türbin akışkan mekanik enerjisini çekerek akışkan enerjisinin azalmasına neden olur. Ayrıca akışta sürtünmelerde mevcut olduğundan akışkanın bir kısım mekanik enerjisi, akış sürtünmeleri nedeniyle ısı şeklinde kaybolur. Akan bir akışkanın sahip olduğu toplam enerji sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamından oluşur. Akan akışkan hızı nedeniyle kinetik enerjiye sahiptir. Aynı şekilde akan akışkan yerçekimi ve basıncı itibarıyla da toplam bir potansiyel enerjiye sahiptir. Akan akışkanın bu toplam enerjisine mekanik enerjisi denir. Akışkanın bu mekanik enerjisi akış hattı boyunca sürtünmeler nedeniyle azalabilmektedir. Ayrıca akış sistemi üzerinde bulunan pompa ve fan gibi akım makineleri de akış sistemine mekanik enerji kazandırırken türbin gibi makineler akış sisteminden mekanik enerji çekerler. Dolayısıyla bir akış sistemi düşünüldüğünde enerji korunumu yasası gereğince akış sisteminin iki noktası arasında aşağıdaki mekanik enerji eşitliği yazılabilmektedir. Bu denklem akış sistemlerinin çözümlemesinde kullanılan önemli bir denklem olup genel enerji denklemi olarak tanımlanmıştır.

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_{p,f} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_t + h_k \quad (1.4)$$

Burada;

P_1 ve P_2 : 1 ve 2 noktalarında akışkanın mutlak basıncıdır. (Pa)

h_k : Akış sistemlerinde sürtünmelere giden mekanik enerji yük kaybıdır. (m)

h_p : Pompa ile akışkana geçen mekanik enerji yüküdür. (m)

h_t : Akış sisteminden türbine geçen mekanik enerji yüküdür. (m)

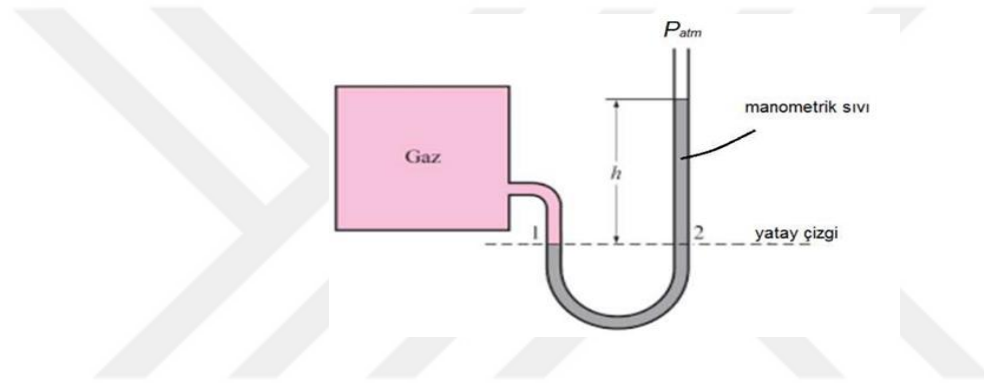
V_1 ve V_2 : 1 ve 2 noktalarında akışkanın ortalama akış hızları (m/s)

$Z_1 = Z_2$ 1 ve 2 noktalarındaki yükseklik. (m)

ρ : Akan akışkanın yoğunluğudur. (kg/m^3)

g : Yerçekimi ivmesidir. ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Manometre: Sıvılarda yatay yönde basınç eşitliğinden yararlanarak akışkanların basınçlarını ölçmek için kullanılan cihazlardır. Plastik veya cam malzemesinden yapılmış U-borusu şeklindeki manometreye U manometresi denir. Basınç ölçmek için civa, su, alkol ve yağ gibi manometrik sıvılar kullanılır. Aşağıdaki şekilde U-manometresi kullanılarak bir gaz tankındaki basınç ölçülmüştür. Şekil 1.8’de U şeklinde manometre gösterilmiştir.



Şekil 1.8. U şeklinde manometre (Çengel ve vd., 2008)

Yatay çizgi üzerinde basınçlar eşit olduğundan

$$P_1 = P_2 \quad P_1 = P_{gaz}$$

$$P_2 = \rho_{sıvı} \cdot g \cdot h \quad (1.5)$$

$$P_{gaz} = \rho_{sıvı} \cdot g \cdot h \quad (1.6)$$

1.4. Akış Ölçerler

1.4.1. Akışkan debi ölçümü

Akışkanlar mekaniğinin ana uygulama alanlarından biri de akışkanların debilerin belirlenmesidir. Akış ölçerler karmaşıklık, büyüklük, fiyat, doğruluk, çok yönlülük, kapasite, basınç düşüşü ve çalışma ilkeleri seviyelerine göre geniş bir aralıkta farklılık gösterir. Borulardan veya kanallardan akan sıvı veya gazların debilerini ölçmek için

yaygın olarak pek çok ölçüm cihazı kullanılır. Yaygın olarak kullanılan akış ölçerler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Çengel ve vd. 2008).

- *Engelli Akış Ölçerler
- *Hacimsel Akış Ölçerler
- *Değişken-Alanlı Akış Ölçerler
- *Ultrasonik Akış Ölçerler
- *Termal Anemometreler
- *Elektromanyetik akış ölçerler

Çoğu akış ölçer, debiyi dolaylı yoldan ölçmektedir. Bunlar basınç düşüşü ve direnç (voltaj farkı) gibi akış debisi ile ilgili bir büyüklüğü ölçüp akış debisi ile arasındaki bağıntısı elde edilir. Akış ölçerin bu bağıntıya göre kalibre edilmesiyle akışkanın hacimsel debisi ölçülmektedir.

Debi ölçüm yöntemleri çok kaba olanlardan çok zarif olanlara kadar çeşitlilik gösterir. Örneğin bir bahçe hortumundan akan suyun debisi, hacmi bilinen bir kovaya doldurup dolan miktarı dolum zamanına bölmek suretiyle basit bir şekilde ölçülebilir. Bahçe hortumundan akan suyun debisinin toplanan miktarın zamana oranıyla bulunabilir (Çengel, 2006). Şekil 1.9’da verilmiştir.

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1.7)$$



Şekil 1.9. Bahçe hortumundan akan suyun debisinin toplanan miktarın zamana oranıyla bulunabilir (Çengel ve vd., 2008)

Akış ölçerler, herhangi bir anda borulardan geçen akışkan miktarını belirlemeye yarayan çok popüler cihazlardır. Akış ölçerler, su, sıvı yakıt, doğal gaz, LPG vb. akışkanların transferlerinde satıcın gerçek akışkan miktarının satıldığından ve elbette alıcının da anlaşılan miktarda akışkan transfer edildiğinden emin olması için büyük öneme sahiptir. Akış ölçer satılan akışkanın gerçek miktarını belirterek ödenen paranın

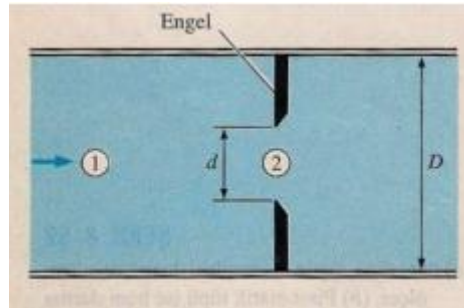
karşılığını sağlamaktadır. Ayrıca birçok endüstriyel kontrol uygulamasında debi ölçümü, kontrol ve belirlenen verim ve kalite hedeflerine ulaşmak için akış ölçerler kritik öneme sahiptir.

Bu nedenle, akış ölçerinizin uygulama alanı ne olursa olsun, akış ölçer için kullanılan terminolojiyi ve cihazın doğruluk seviyesini anlamanız gerekir. Akış ölçer doğruluğu söz konusu olduğunda, akış ölçer imalatçıların ürünlerini tanımlamak için kullandıkları doğruluk metrik türlerini tam olarak anlamamız gerekir. Bu nedenle, akış ölçerin özelliklerini doğru bir şekilde almanız gerekiyorsa akış ölçer doğruluğunun net bir şekilde anlaşılması gereklidir.

Bu tez çalışması orifis akış ölçerlerin iyileştirilmesi ile ilgili bir araştırma konusu olduğundan engelli akış ölçerlerin çeşitleri, özellikleri ve ölçüm tekniği konusunda ayrıntılı bir şekilde aşağıda yer verilmiştir.

1.4.2. Engelli akış ölçerler

Çapı D olan yatay borudaki akışkanın sıkıştırılmaz dami akışını göz önüne alınsın. Şekilde gösterildiği gibi akış, çapı d olan akış alanına kadar daraltılmıştır. Daralmadan önceki yer (1. nokta) ile daralmanın olduğu yer (2. nokta) arasında kütle dengesi ve Bernoulli denklemi eşitliği Şeil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.10. Engelli akış ölçer (Çengel ve vd., 2008)

Kütle dengesi:

$$\dot{V} = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad V_1 = \frac{A_2 \cdot V_2}{A_1} = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cdot V_2 \quad (1.8)$$

$$\text{Bernoulli denklemi } (Z_1 = Z_2): \quad \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (1.9)$$

$$\text{Engelli akış ölçerler: } \dot{V} = A_0 \cdot C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad (1.10)$$

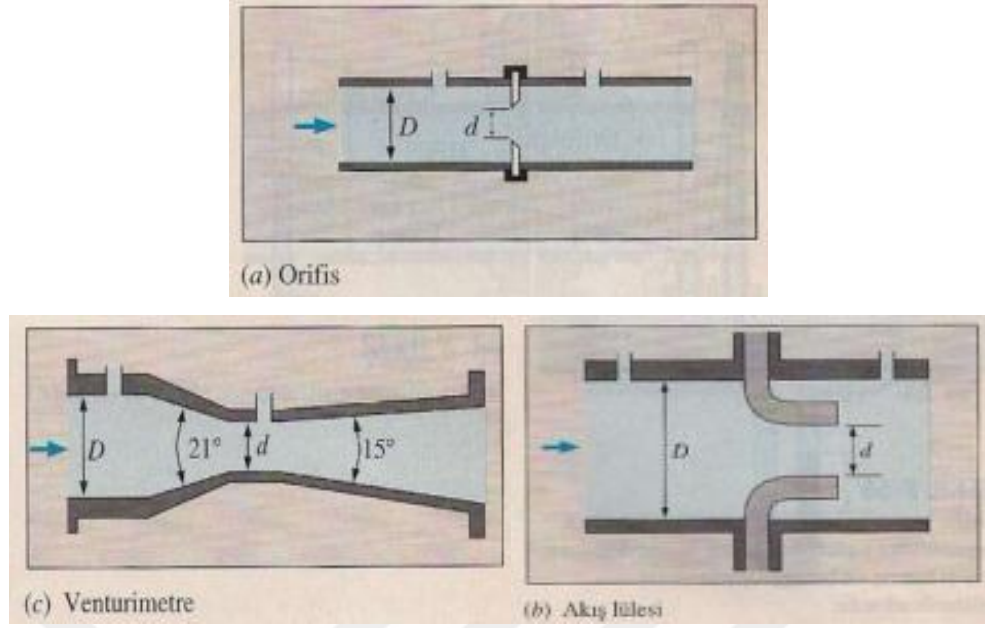
$$A_0 = A_2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

Burada;

C_d : Debi kayıp katsayısıdır.

β : d/D çap oranıdır.

Not: Debi formülü ideal sürtünmesiz bir akış varsayımıyla bulunmuştur. Bilindiği gibi Bernoulli denklemi viskoz olmayan ideal akışlara uygulanabilen teorik bir denklemdir. Debi formülünde ($P_1 - P_2$) Bernoulli denkleminde hız farkından bulunabilen basınç farkı olup aynı şartlarda gerçek akışta ölçülenden farklı olmaktadır. Aynı akış şartları düşünüldüğünde gerçek bir akış ölçerinde ölçülen basınç farkı Bernoulli ile bulunandan daha büyük olmaktadır. Bunun nedeni gerçek akışta 1 ve 2 noktaları arasında sürtünmeler nedeniyle basınç kaybının olmasıdır. Dolayısıyla gerçek akışta 2 noktasındaki basınç değeri teorik olandan daha düşük olacaktır. Ölçüm cihazı ($P_1 - P_2$) gerçek akış değerleri kullanılacaksa debi formülasyonu bir debi kayıp katsayısı C_d düzeltilir. Bu düzeltme faktörü (C_d) göz önüne alınarak iki nokta arasındaki kayıp hesaba katılabilir. Düzeltme faktörünün değeri (1'den küçük) deneysel olarak bulunur. Orifislerde Akış boyunca iki nokta arasındaki basınç düşüşü, fark basınç dönüştürücü veya manometre ile kolayca ölçülebilir. Basit bir debi ölçüm cihazı, akışı engellemek suretiyle yapılabilir. Bu ilkeye dayanan akış ölçerlere engelli akış ölçerler denir. Bu cihazlar gaz ve sıvıların debilerini ölçmede yaygın olarak kullanılır. Pek çok engelli akış ölçer arasında en yaygın olarak kullanılanları Orifisler, Akış lüleleri ve Venturimetrelerdir. Düzeltme faktörü engelli akış ölçerin tipine göre farklılık göstermektedir ve belirli Reynold sayı aralıkları için yaklaşık olarak sabit bir değere sahiptir. Yüksek Reynolds sayılı ($Re > 30000$) akışlar için C_d 'nin değeri, akış lülelerinde 0.96 ve orifislerde 0.62 alınabilir. Yüksek C_d değeri akış ölçerin basınç kaybının az olduğunu düşük değeri ise çok olduğu göstermektedir. $C_d=1$ değer basınç kaybının olmadığı ideal bir akış içindir. Akım çizgili tasarımlarından dolayı Venturimetrelerin debi katsayıları çok yüksektir ve çoğu akış için 0.95 ile 0.99 arasında değişir (yüksek değerler yüksek Reynolds sayıları içindir). Belirli bir veri yoksa Venturimetreler için $C = 0.98$ alınabilir. Şekil 1.11'de engelli akış ölçerler gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Engelli akış ölçerler (Çengel ve vd., 2008)

1.4.3. Orifis plakalı akış ölçerin temelleri

Akış enstrümantasyonunda tartışıldığı gibi ilkeler ve formüller, bir boruda bir akış kısıtlaması olduğunda kısıtlama yoluyla daha sonra hacimsel akış hızı ile ilişkilendirilebilecek bir fark basınç oluşmaktadır. Diferansiyel basınç (fark basınç) yaratan bu akış kısıtlama ilkesi; sıvıların, gazların ve sıvı +gaz karışımların akış debisini ölçmek için orifis akış ölçerle kullanılan bir yöntem olmuştur.

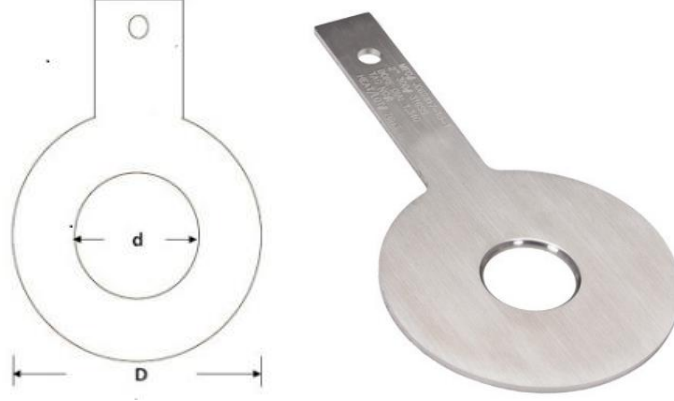
Orifis akış ölçerler temel olarak içerdikleri:

- (a) Birincil cihaz, akış kısıtlaması yaratan orifis plakası
- (b) Orifis plakası tarafından yaratılan fark basıncı ölçen ikincil cihaz.

1.4.3.1. Birincil cihaz (orifis plakası)

Orifis plakası temelde ortasında bir delik bulunan ince bir metal plakadan (1.5 mm – 6 mm arası kalınlıkta) oluşur. Orifis plakasının bir tarafında plakanın teknik özelliklerinin damgalandığı baskılı bir etiket vardır. Orifis plakasının yukarı akıma bakan tarafı genellikle keskin kare bir kenara sahiptir. Aşağıda, Şekil 1.12’de tipik tek delikli konsantrik bir orifis plakasını göstermektedir. Orifis çapının (d) boru iç çapına (D)

oranına Beta oranı (β) denir ($\beta = d/D$). Beta oranı 0.4: Orifis delik ϕ apının boru i ϕ ϕ apının %40 kadarı olduğunu göstermektedir. Şekil 1.12’de delikli plaka gösterilmiştir.



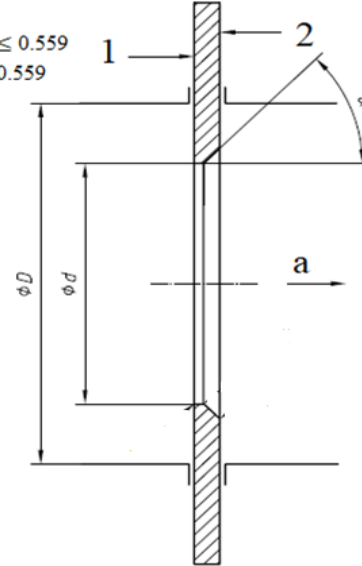
Şekil 1.12. Delikli plaka (Anonim)

Orifis akış ölçerler için oluşan standartlara göre (ISO 5167) kullanılacak orifis plakası için belirlenen standart geometrik ölçüler ve kullanım sınır değerleri aşağıda Şekil 1.13’te verilmiştir.

Kullanım limiti:

- $d \geq 12.5 \text{ mm}$
- $50 \text{ mm} \leq D \leq 1000 \text{ mm}$
- $0.1 \leq \beta \leq 0.75$
- $Re_D \geq 5000$ için $0.1 \leq \beta \leq 0.559$
- $Re_D \geq 16000 \beta^2$ için $\beta > 0.559$

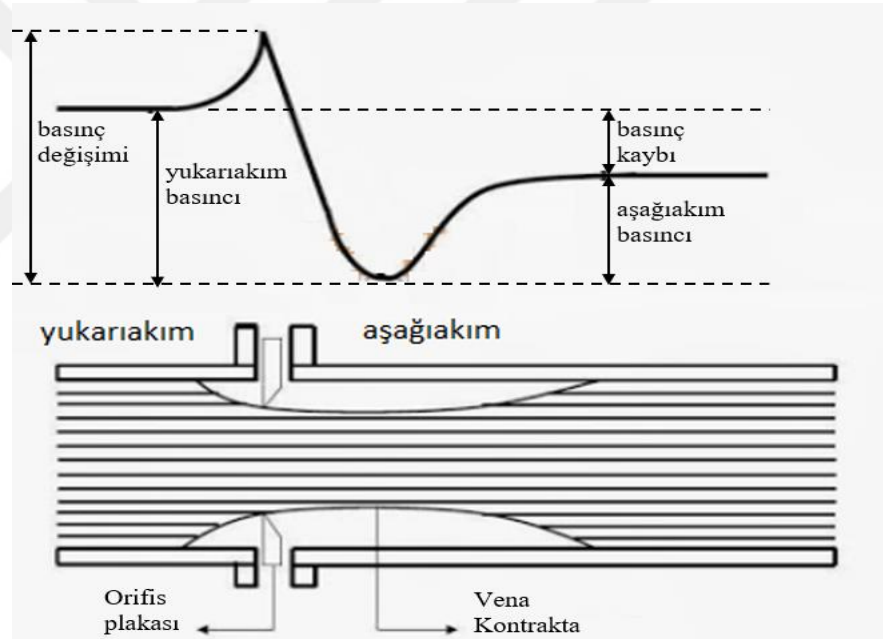
- 1- Yukarı akım
2- Aşağı akım
a- Akış yönü



Şekil 1.13. Orifis test plakası standart-boyutsal ölçüleri ve sınır değerleri (ISO 5167 standartları)

1.4.3.1.1. Orifis akış ölçer akış debisinin ölçülmesi

Akışa karşı yerleştirilmiş bir orifis plakası, kısıtlaması ile dar bir akış alanı yaratır. Orifis dar alanında geçmeye zorlanan akışkanın hızı artar. Bernouli ilkesi ile hız artan akışkanın basıncı da düşer. Burada orifis plakasından önce akışkanın sahip olduğu basınç enerjisinin bir kısmı orifis plakasında artan hız ile kinetik enerjiye dönüşmüştür. Bunun sonucunda orifis plakasından sonra akış düşük bir basınca sahip olur. Bu durum plaka öncesi ve sonrası arasında bir fark basıncın (diferansiyel basınç) oluşmasına neden olur. Orifis plakası ile üretilen fark basınç miktarı, orifis plakasının beta oranı ile ilgilidir. Beta oranı ne kadar küçükse üretilen diferansiyel basınç o kadar yüksek olur. Uygulamada beta oranı seçimi, istenen diferansiyel basınç ile gerekli akış hızı arasında bir uzlaşma ile yapılmaktadır.



Şekil 1.14. Orifis plakalı boru akışının akım çizgileri ile gösterilmesi ve orifis akışı boyunca statik basıncın değişimi (Anonim, 2022)

Şekil 1.14 'te orifis plaka ile daraltılan bir boru akışının şematik resmi ve merkez çizgisi boyunca basıncın değişim grafiği verilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi orifis plaka hemen öncesi yaklaşan akışın statik basıncı biraz arttığı görülür. Orifis ile daraltılan kesit alandan geçen akışkanın hızı arttığından akışkanın statik basıncı da keskin bir şekilde azalmıştır. Orifis plakasında akış hızı maksimum olmayıp hemen sonrasında 'Vena Kontrakta' denilen bir noktada akış hızı maksimum olur. Vena kontrakta da statik basınç

bir minimum değere ulaşmaktadır. Vena Kontraktadan itibaren aşağı akımda ise statik basınç yavaş artarak düzelmeye başlar ama asla yukarı akış değerine ulaşmaz. Yani orifis plaka kurulumu ile her zaman kalıcı bir basınç kaybı oluşur. Basınç kaybına ek olarak, basınç enerjisinin bir kısmı da ses ve ısıya dönüşmüş olur. Ayrıca orifis plakaya karşı ölçülecek fark basıncın miktarı basınç noktasına veya basınç musluğu yerleşim yerine bağlı olduğu basınç değişim grafiğinden de anlaşılabilmektedir. Burada orifis plaka sonrası basınç musluk yerinin önemli olduğu görülmektedir.

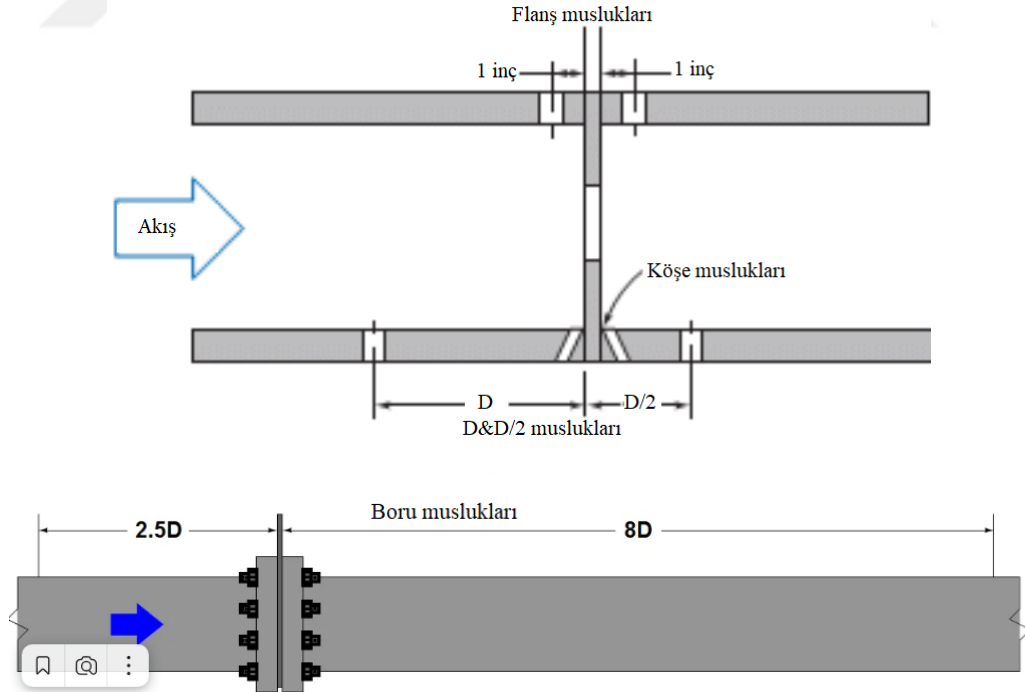
Şekil 1.15'te bir orifis akış ölçerin montaj resmini göstermiştir. Orifis akış ölçerler tam gelişmiş boru akışının olduğu akış kısmında çalıştırılan cihazlardır. Bu nedenle dirsek, vana, redüksiyon gibi boru armatürlerinden sonra uzun düz bir boru tam gelişmiş akışın oluşması için monte edilmelidir. Standartlarda bu değer akışkan türüne, armatür tipine ve Reynolds sayısına bağlı olarak değişebilmektedir. Dolayısıyla her orifis akış ölçer için üst akım düz boru uzunluğu montaj için belirtilmektedir. Akış ölçer Standartlarında bu değerler bildirilmiştir (ISO 5167, BS 1042). Düz boru uzunluğu 30D-100D arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Orifis akış ölçerden sonrada bir kısım düz boru kurulum mesafesi standartlarda belirtildiği gibi bırakılmalıdır. Bu da aşağı akımda dirsek ve vana gibi akış bozan etkenlerin üst akımlarında bulunan akış ölçerin akış yapısına etkilerinin olabilmesidir. Bu da hatalı ölçümlere neden olabilmektedir. Akış ölçerin aşağıakım borusu üstakım borusundan çok daha kısadır.



Şekil 1.15. Orifis plakalı akış ölçer (Anonim, 2022)

1.4.3.1.2. Basınç ölçüm muslukları

Orifis debimetre kurulumunda, fark basıncı ölçmek için açılan orifis plaka öncesi ve sonrasında boru duvarına delikler açılır. Bu deliklerden basıncın doğru bir şekilde ölçülmesi için açılan delik çapı $d = 0.08D$ tercihen 12 mm'den küçük olmalıdır (BS 1042). Burada D boru iç çapıdır. Açılan delikler dairesel olmalı ve delik merkez çizgisi boru merkez çizgisi ile çakışacak şekilde boru duvarı delinmelidir. Açılan deliklerin iç tarafı çapaklardan iyice temizlenmelidir. Deliğin boru iç yüzeyindeki düzleminden itibaren delik çapının 2.5 katı kadar bir yüksekliğe silindirik bir bağlantı ile basınç musluğu oluşturulmalıdır. Basınç ölçümü için manometrik hortum bu basınç musluğuna takılır (BS 1042). Orifis akış ölçerin basınç fark manometrik hortumları orifis plakanın her iki tarafında bulunan basınç musluklarına bağlanarak fark basıncın ölçülmesi sağlanır. Açılan basınç deliklerinin orifis plakasına göre yerleşim yerleri boru çapı, akışkan türü ve akış şartları gibi etkenlerle değişebilmektedir. Şekil 1.16'da Orifis akış ölçerde fark basınç ölçümünde kullanılan basınç ölçüm muslukları verilmiştir. Basınç ölçüm musluklarının yerleşim yerine göre sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.16. Orifis akış ölçerde fark basınç ölçümünde kullanılan basınç ölçüm muslukları (ISO, 1978)

- * Flanş basınç ölçüm muslukları (2 inçten büyük boru çapı)
- * Vena Konrakta basınç ölçüm muslukları (6 inçten büyük boru çapı)
- * Yarıçap basınç ölçüm muslukları (D ve D/2 basınç muslukları)
- * Boru basınç ölçüm muslukları (veya tam akış muslukları)
- * Köşe basınç ölçüm muslukları (2 inçten az)

1.4.3.1.2.1. Flanş basınç muslukları

Flanşlı basınç ölçüm muslukları en yaygın olanlardır ve genellikle 2 inç ve daha büyük çaplı borular için kullanılırlar. İmalat aşamasında flanş tepesinden delinerek bir basınç ölçüm musluğu açılır. Flanşlı musluklar, ana boruda delme ve kılavuz çekme gibi işlemleri montaj aşamasında elimine ettiğinden uygun bir alternatiftir.

1.4.3.1.2.2. Vena kontrakta basınç muslukları

Vena kontrakta basınç musluğu, 6 inçten (152.4 mm) daha büyük boru çaplarına sınırlandırılmıştır. Bu sınırlama esas olarak flanştan musluğun yeterli açıklığını sağlamak için uygulanır. Vena kontrakta, akışkan akışının en küçük kesit alanına sahip olduğu ve aynı zamanda en düşük basınca sahip olduğu yerdir. Vena kontrakta basınç ölçüm muslukları maksimum bir fark basıncına ulaşmak için tasarlanmıştır. Burada amaç fark basınç yükselterek ölçüm doğruluğunun artırılmasıdır. Vena kontrakta akış debisine ve boru çapına bağlıdır. Bu parametrelerden herhangi birinin değişmesi durumunda yeri değişebilir. Bu nedenle, akış hızı veya boru çapı değiştiğinde vena kontrakta muslukları etkilenir.

1.4.3.1.2.3. Boru basınç muslukları

Boru muslukları, orifis plakasının yukarı akımında 2.5D ve aşağı akımında 8D boru çapı alınarak basınç muslukları açılır. Boru muslukları tipik olarak Yarıçap ve Vena Kontrakta muslukların kullanılmadığı tesisatlarda kullanılırlar. Ölçüm, akış hızından veya açılan basınç musluğunun delik boyutundan etkilenmediğinden, büyük ölçüde değişen akış uygulamalarında kullanılırlar. Mevcut maksimum fark basıncı ölçmediklerinden doğrulukları diğer basınç musuklarına göre daha azdır.

1.4.3.1.2.4. Köşe basınç muslukları

Köşe muslukları, orifis plakası ile boru duvarı arasındaki köşedeki basıncı ölçer. Köşe musluklarının kullanımları 2 inçten (50.8mm) küçük boru çaplarına sahip tesisatlarda bulunur.

1.4.3.1.2.5. Yarıçap basınç muslukları

Yarıçap basınç muslukları, aşağıakım basınç musluğunun orifis plakasından yarım boru çapına ($D/2$) yerleştirildiği musluklarda yapılan bir değişikliktir. Bu, orifis plakasından hemen sonra oluşan kararsız bölgeyi önlemek içindir. Basınç musluğunun yerini basitleştirildiğinden, yarıçap musluğu genellikle vena kontrakta yerine tercih edilir.

1.4.3.2. İkincil Cihaz

Daha önce belirtildiği gibi, orifis ölçerin diğer ana bileşeni ikincil cihazdır. İkincil cihaz, akışı ölçmek için kurulduğunda, genellikle akış vericisi olarak adlandırılan bir diferansiyel basınç vericisidir. Akış vericisi, orifis plakası tarafından oluşturulan fark basıncı ölçer. Bu fark basınç orifis plaka aşağı akımına ve yukarı akımına yerleştirilen basınç musluklarına bağlı manometrik bağlantı hattı ile ölçülür. Bu bağlantı hatları vericinin yüksek ve düşük basınç portlarına bağlıdır. Verici bu fark basınç ölçümlerini daha sonradan analog veya dijital bir sinyale dönüştürür. Bu sinyaller işlenerek anlık akış debisinin göstergede gösterilmesi sağlanır.

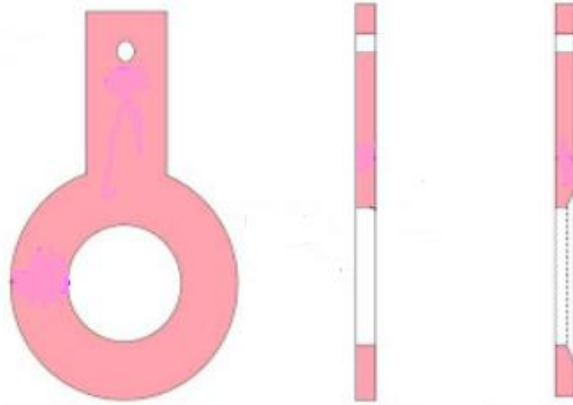
1.5. Orifis Plakalı Akış Ölçerlerin Avantajları

- * Basit bir geometrik yapıya sahiptirler.
- * Ucuzdurlar.
- * Flanşlar arasına kolayca takılırlar.
- * Hareketli parçaları yoktur.
- * Geniş bir boyut aralığına sahiptirler.
- * Çoğu gaz ve sıvı için uygundurlar.
- * İyi anlaşılmış ve kanıtlanmıştır.
- * Fiyat, boyutla önemli ölçüde artmaz.

1.6. Orifis Plakalı Akış Ölçerin Dezavantajları

- * Tipik olarak %1 aralığında bir ölçüm hatasına sahiptir.
- * Doğrulukları yoğunluk, basınç ve viskozite dalgalanmalarından etkilenir.
- * Kısıtlayıcıya olan erozyon ve fiziksel hasar ölçüm doğruluğunu etkiler.
- * Geri dönüşü olmayan bir miktar basınç kaybına neden olur.
- * Akışkan viskozitesi ölçüm aralığını sınırlar.
- * Doğruluğun korunduğundan emin olmak için düz boru bağlantısına ihtiyaç duyar.
- * Özellikle sıvı debisi ölçümünde boru içi sıvı ile dolu olmalıdır.

Şekil 1.17’de gösterildiği gibi, kare kenarlı konsantrik bir orifis plakasının yandan görünümü, orifisteki keskin kenarları (90 derecelik köşeler) göstermektedir. Orifis plakasında orifisin keskin kare kenarı, orifisten geçen hızlı sıvı hareketinin orifis duvarına tutunmasının en aza indirgenmesinde yardımcı olur. Herhangi orifis plakasının sapı üzerine basılmış bir metin etiketi, geleneksel olarak bu plakanın yukarı akış tarafını tanımlar. Kare kenarlı delikli orifis plaka durumunda, plakanın hangi tarafının yukarı yönde olduğu önemli değildir. Bir orifis plakasının hangi yöne takılması gerektiğinin tek kesin göstergesi olduğundan, orifis plakası üzerindeki metin etiketine dikkat etmek gerekir.



Şekil 1.17. Kare kenarlı eş merkezli orifis plakası (ISO, 5167)

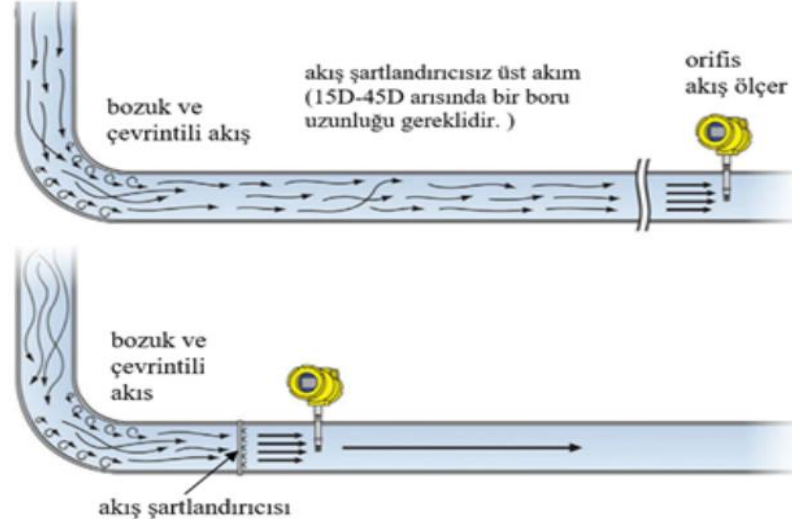
Şekil 1.17’de ayrıca orifisin bir kenarının eğimli olduğu keskin kare kenarlı konsantrik bir orifis plakasının yandan görünüşü gösterilmektedir. Orifis plaka nispeten

kalınsa (1/8 inç veya 1 inç veya daha fazla) plakanın akış aşağı tarafı 45 derece ile pahlanır (ISO 5167, BS 1042). Yapılan bu pah, orfisten geçen sıvının plaka duvarına yapışma olasılığını önlemeye yardımcı olur. Bu pah yapılmadığında sıvının duvara tutunması ve bırakması gibi akış dengesizliği oluşmaktadır. Vena kontrakta bu akış dengesizliğinden etkilendiğinden basınç farkının etkilenmesine ve dolayısıyla hatalı debi ölçümlerine neden olan bir durumdur. Pahlı orifis plakaları açıkça tek yönlüdür ve pah kenar aşağı akıma bakarken orifis keskin kenarı yukarı akıma bakacak şekilde kurulmalıdır.

1.7. Akış Şartlandırıcılar

Orifis akış ölçerlerde debi ölçüm doğruluğunun tam sağlanması için akış ölçerin üst akımında standartlar gereği uzun bir borunun kullanılması (30D-100D) gereklidir. Uzun boru kullanımı alan sınırlaması olan uygulamalar için pratik olmamaktadır. Bu nedenle uzun boru kullanımı yerine standartların kabul ettiği diğer bir seçenek ise orifis plaka üstakımında kısa boru kullanılabilmesi için bir akış şartlandırıcısı kullanılmasıdır. Akış şartlandırıcısı gelen üst akım akış bozukluklarına karşı standart orifis akış ölçerin ölçüm doğruluğunu (%1'den düşük hata) arasında koruduğu müddetçe kullanılabilir.

Akış şartlandırıcı, akış ölçerin yukarı akımında gerekli kanal uzunluğunu azaltırken akışa engel oluşturduğundan, bir miktar kalıcı basınç kaybına da neden olur. Akış ölçer standartlarında önerilen akış şartlandırıcısının kullanılmasına yönelik teknik bilgiler verilmektedir (ISO 5167, API 14.3, BS 1042). Akış şartlandırıcı seçiminde basınç kaybı az, üst akım borusu daha kısa, ucuz, uzun ömürlü ve az bakım gerektiren tipleri aranır. Bu nedenle akış şartlandırıcıların geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ticari ve bilimsel alanda araştırma konusu haline gelmiştir. Literatürde bu akış şartlandırıcılarla ilgili çalışmalar 1990'lerden beri devam etmektedir. Bu çalışmalarda çeşitli akış şartlandırıcılar, özellikle gaz endüstrisi için deneysel ve sayısal olarak test edilmişlerdir (Erdal, 1997; Gordeeva vd., 2014; Gallagher vd., 1996; Guo vd., 2013; Laws ve Ouazzane., 1995; Laribil ve Aichouni., 2003; Morrison vd., 1997). Şekil 1.18. Akış ölçerlerde akış şartlandırıcısının kullanılması ile üst akım borusunun kısaltılması gösterilmiştir. Uygulamalarda kullanılan bazı akış şartlandırıcı tipleri aşağıda açıklanmıştır.

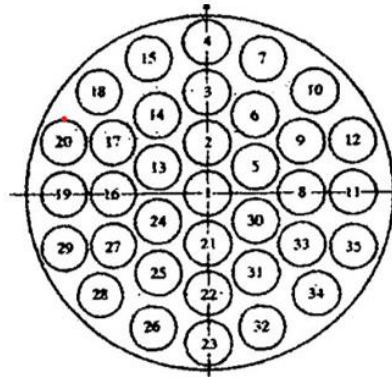


Şekil 1.18. Akış ölçerlerde akış şartlandırıcısının kullanılması ile üst akım borusunun kısaltılması (Don, 2017)

1.7.1. Akış şartlandırıcı çeşitleri

1.7.1.1. MHI (Mitsubishi Heavy Industries) akış şartlandırıcı

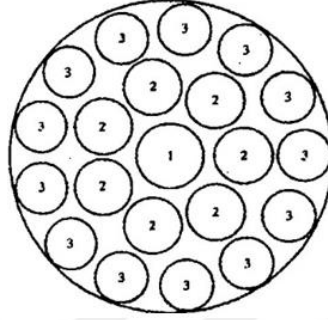
MHI akış şartlandırıcısı, merkezden daha fazla akışa izin vermek için kademeli şekilde konumlandırılmış 35 delikten oluşur. Bu tip tam gelişmiş akış hız profilinin üretilmesine yardımcı olur. Gözeneklilik oranı yaklaşık %59'dur ve yerel kayıp katsayısı $K=1-1.7$ aralığındadır (kayıp katsayısının değeri, pahnın kullanılıp kullanılmadığına bağlıdır). Bu akış şartlandırıcısı şematik olarak Şekil 1.19'da gösterilmiştir (Laws ve Quazzane, 1995).



Şekil 1.19. MHI akış şartlandırıcısı (Laws ve Quazzane, 1995)

1.7.1.2. Laws akış şartlandırıcısı

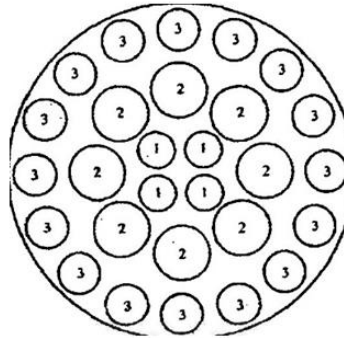
Laws akış şartlandırıcısı son yıllarda popüler hale gelmiştir. Oldukça büyük bir merkezi deliğe ve bunu çevreleyen daha küçük deliklerden oluşan bir iç halkaya ve bunun dışında da daha da küçük deliklerden oluşan bir dış halkaya sahiptir. Laws, iç ve dış halkalarda çeşitli sayıda delik içeren bir dizi şartlandırıcı önerdi. Önerilen tasarım $K=2.7$ değerine dayanıyordu. Bu akış şartlandırıcısı şematik olarak Şekil 1.20'de gösterilmiştir (Laws ve Quazzane, 1995).



Şekil 1.20. Laws akış şartlandırıcısı (Laws ve Quazzane, 1995)

1.7.1.3. Spearman (NEL) akış şartlandırıcısı

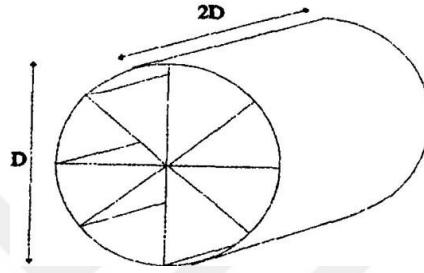
Spearman akış şartlandırıcısı Şekil 1.21'de gösterilmiştir. 16 delikli bir dış halkaya, sekiz delikli bir iç halkaya ve merkezde kare şeklinde düzenlenmiş dört delik içerir. Gözenekliliği %47.5'tir. Akış şartlandırıcısı, 2.7'ye yakın bir K değerine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (Spearman, Sattary ve Reader-Harris, 1996; Erdal, 1997; Laws ve Quazzane, 1995).



Şekil 1.21. Spearman (NEL) akış şartlandırıcısı (Spearman, Sattary ve Reader-Harris, 1996)

1.7.1.4. Etoile akış şartlandırıcısı

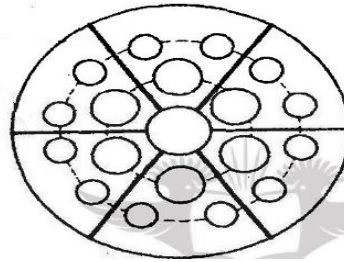
Etoile akış düzgünleştiricisi, önerilen iki boru çapı uzunluğunda kullanılır. Şekil 1.22'de gösterildiği gibi, uzunluğun ünite performansı üzerindeki etkisine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Araştırmalar, bazı durumlarda daha kısa bir ünite uzunluğunun (örneğin uzunluk olarak $1/8D$) tercih edilebileceğini göstermektedir. Bir girdap sönümleyicisi olarak (dönerek ilerleyen akış) Etoile ünitesinin etkinliği de doğrulanmıştır (Laws ve Quazzane, 1995).



Şekil 1.22. Etoile akış şartlandırıcısı (Laws ve Quazzane, 1995)

1.7.1.5. Kanatlı plaka akış şartlandırıcısı

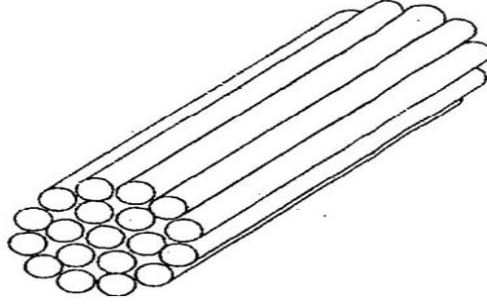
Kanatlı plaka akış şartlandırıcılar, dereceli delikli bir plakanın akış yukarısına bir dizi kanadın yerleştirildiği hibrit bir cihazdan oluşmaktadır. %50 gözenekliliğe sahip Laws plakası 1:6:12 delikli plaka düzenini oluşturacak şekilde imal edilmiştir. İç ve dış halkadaki delikler, altı kanattan oluşan bir set olacak şekilde yuvalanmıştır. Kanatlar plakanın $0.5 D$ yukarı akımında konumlandırılmış olup plakadaki delikleri hiçbirini kesmemektedir. Kanatlar girdaplı akışı düzgünleştirilmesinde delikli plaka ise simetrik olmayan bozuk hız profilinin düzeltilmesinde sorumludur. Bu akış şartlandırıcısı şekil 1.23'te gösterilmiştir (Laws ve Quazzane, 1995).



Şekil 1.23. Kanatlı akış şartlandırıcısı (Laws ve Quazzane, 1995)

1.7.1.6. Tüp demeti akış şartlandırıcısı

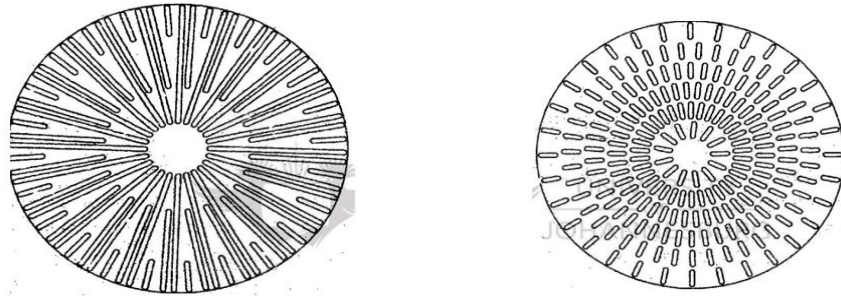
Standart 19 tüp demeti şekil 1.24'te gösterilmektedir. 19 adet uzun düz borudan oluşmaktadır. Tüp demeti daha çok girdaplı akışın giderilmesinden etkin rol oynayan bir bir akış düzgünleştirme elemanıdır (Morrison vd., 1997).



Şekil 1.24. Standart tüp akış şartlandırıcısı (Morrison ve Hall, 1997)

1.7.1.7. Gözenekli akış şartlandırıcıları

Şekil 1.25'te gösterilen gözenekli akış şartlandırıcılar düzgün bir hız profili (Şekil 1.25) ve parabolik bir hız profili ve kısa aşağıyakım mesafelerinde oluşturmak için tasarlanmışlardır (Morrison vd., 1997).

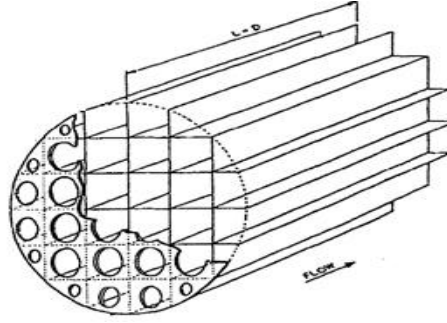


Şekil 1.25. Sırasıyla, tekdüzenli yanklı akış düzenleyicisi ve Parabolik oluklu delikli akış düzenleyici. (Morrison vd., 1997)

1.7.1.8. Zanker akış şartlandırıcısı

Zanker akış şartlandırıcısı, ISO 5167'ye dahil olan akış şartlandırıcı cihazlarından biridir. Dereceli delikli plaka ve ardından bir boru çapı uzunluğunda dikdörtgen petek şeklindeki bir bölümden oluşur. Zanker, plakayı tam gelişmiş akış koşulları üretecek

şekilde tasarladı ve girdapları gidermek için peteği dahil etmiştir. Bu akış şartlandırıcı Şekil 1.26'da gösterilmiştir (Laws ve Quazzane, 1992).



Şekil 1.26. Zanker düzleştirici akış şartlandırıcı (Laws ve Quazzane, 1992)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında orifis plaka öncesi gerekli standart düz boru uzunluğunu kısaltmak için akış şartlandırıcı plakalar deneysel olarak test edilecektir. Akış şartlandırıcı test plakasının geometrik boyutları, şartlandırıcı için gerekli düz boru mesafesi ve Reynolds sayısı analiz parametreleri olarak seçilmiştir. Bu parametreler kullanılarak en iyi akış şartlandırıcı tipi belirlenmeye çalışılacaktır. Akış şartlandırıcısının orifis akış ölçerin debi ölçüm doğruluğu üzerindeki etkileri ve neden olduğu basınç kaybı deneysel veriler elde edilerek araştırılacaktır. Tanımlanan iyi bir akış şartlandırıcısı basınç kayıpları az, eksenel boyutları küçük ve düşük maliyetli bir akış şartlandırıcısı olmalıdır Çarpınlıoğlu&Özahi (2010). Çalışılacak bu tez konusunun önemli, güncel ve araştırmaya yönelik bir konu olduğunu göstermek ve bildirilen çalışmalardan teknik veriler elde etmek için literatürde yayınlanmış çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Laws ve Ouazzane (1995) yaptıkları çalışmada, ISO 5167 standart orifis akış gereksinimlerini 6D gibi bir üstakım boru uzunluğu ile sağlayabilmek için kanatlı ve delikli plaka şartlandırıcılarını bütünleşik kullanılması ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada, orifis plakasının 6D üst akımına yerleştirilen bir küresel vananın farklı açıklık oranları (%50 %60 %70) ile oluşan akış bozukluklarının orifis akış ölçerin doğruluğu üzerindeki etkileri akış şartlandırıcısı varken ve yokken ölçülmeye çalışılmıştır.

Gallagher vd. (1996) yaptıkları çalışmada, orifis akış ölçerler için standartlar dahilinde kabul görülen akış şartlandırıcıları arasından yeni hibrid bir akış şartlandırıcısı önermişlerdir. Gaz akışlarının ölçülmesiyle yapılan deneysel çalışmada önerilen akış şartlandırıcısının standart orifis üstakım mesafesini önemli ölçüde düşürdüğü bildirilmiştir.

Erdal (1997) yaptığı çalışmasında, delikli bir plaka akış şartlandırıcısını oluşturmak için plaka gözeneklik oranı, ıslak delik uzunluğu, delik çapı, delik sayısı ve düzeni gibi parametreleri kullanarak plaka aşağıakım akış karakteristikleri üzerindeki etkiler sayısal yöntemle araştırmışlardır. Sayısal çalışmada akış şartlandırıcısı çevrinti ve asimetriclik hız profili içermeyen tam gelişmiş bir üst akım ile test edilmiştir. Çalışmada hız profili üzerinde etkili olan türbülans kinetik enerji seviyesinin akış şartlandırıcılar için önemli olduğu vurgulanmıştır.

Morrison vd. (1997) yaptıkları çalışmada, standart tüp ve çok delikli üç ayrı plaka akış şartlandırıcılarını, akış şartlandırıcısının aşağı akımı, ortalama hız ve türbülans yoğunluk yönünden lazer doppler anamometre ile araştırılmıştır. Deneysel çalışmaya ek olarak aşağı akım akış karakteristikleri deney paralelinde gerçekleştirilen sayısal bir çalışmayla da araştırılmıştır. Deneysel çalışmayla tam gelişmiş akış sağlamak için standart tüp tipi akış şartlandırıcısının orifisin hangi üst akım mesafesinde yerleştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Ouazzane ve Barigou (1999) yaptıkları çalışmada, orifis girişinde asimetrik hız profillerinin orifis performansına etkisini akış şartlandırıcılı ve akış şartlandırıcısız olarak deneysel yöntemle araştırmışlardır. Çalışmada asimetrik hız profilleri orifis öncesi köresel bir vana ile üretilmiştir. Deneyler sonucunda kullanılan akış şartlandırıcısının iyi bir akış düzenleyicisi ve türbülans sönümleyici olduğu halde verimli bir akış şartlandırıcısı olmadığı tespit etmişlerdir.

Morrov vd. (2000) yaptıkları çalışmada, Amerika'da yeni standart revizyonların gerektirdiği minimum 145D üst akım düz boru mesafesini kısaltmak için farklı akış düzenleyicilerini, orifis çap oranı 0.67 olan bir orifis plaka akışında 12×10^5 ile 35×10^5 Reynolds sayı aralığında deneysel yöntemle test etmişlerdir.

Laribil vd. (2003) yaptıkları çalışmada, düzlemleri birbirine dik iki dirsek tarafından üretilen akış bozukluklarının orifis akış ölçerin debi ölçüm hatasına olan etkilerini geniş bir Reynolds aralığı için deneysel yöntemle araştırmışlardır. Çalışmalarında debi ölçüm hatalarını iyileştirmek için üstakıma bırakılan üç farklı akış şartlandırıcısının (etoile, tüp tipi, delikli plaka) etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda tüp tipi akış şartlandırıcısının girdap gidermede, etoile tipinin türbülansı iyileştirmede ve çok delikli plaka tipinin ise akış profilini düzeltmede iyi olduğu belirlenmiştir.

Manshoor vd. (2011) yaptıkları çalışmada, desenli bir akış şartlandırıcısının standart ve standart olmayan orifisli akış ölçerlerdeki etkisini sayısal ve deneysel yöntemlerle araştırmışlardır. Çalışmalarında beta oranı 0.5 olan bir orifis akış ölçerin 5D üstakım mesafesine monte ettikleri %58.8 gözenekliliğe sahip bir akış şartlandırıcısını orifis debi katsayısına olan etkisini asimetrik ve girdaplı bir akış için incelemişlerdir.

Çarpınlioğlu ve Özahi (2011) yaptıkları çalışmada, kompresör çıkışında bozulan hava akışını kısa akış mesafesinde tam gelişmiş akışa dönüştürmek için üç farklı akış şartlandırıcısını deneysel yöntemle test etmişlerdir. Deneyler $345 < Re < 9000$ aralığında

düşük Reynolds sayılarında yapılmıştır. Akış şartlandırıcıları gözeneklik oranı ($0.49 < B < 0.74$) ve boyutsuz eksenel uzunluk ($0.123 < L_e/d < 2$) parametreleri ile analiz edilmişlerdir. Deneylerde şartlandırıcı aşağı akımında boyutsuz hız profili ve türbülans değerleri ve ayrıca şartlandırıcının basınç kayıpları ölçülmüştür. Sonuç olarak iki akış şartlandırıcısının iyi bir hız profili düzenleyicisi ve diğerinin ise iyi bir türbülans girdap gidericisi olduğu belirlenmiştir.

Gordeeva vd. (2014) yaptıkları çalışmada, uluslararası füzyon malzeme ısıtma tesisi için nozzle çıkışında az türbülanslı ve düzgün hız profiline sahip kararlı bir sıvı lityum akışını sağlamak için nozzle öncesi dirsekli boru akışında bir akış şartlandırıcısını kullanmışlardır. Akış şartlandırıcılı akış sayısal çözümle simule edilmiştir. Akış şartlandırıcısı dirsek nedeniyle bozulan hız profilini düzeltmek ve girdapları gidermek için kullanılmıştır. Sayısal çalışmada üç farklı türbülans modeli kullanılmış ve simülasyon doğrulukları karşılaştırılmıştır.

İdeal olmayan hava giriş şartları VAV iklimlendirme ünitesinde %45'e varan debi ölçüm hatalarına neden olabilmektedir. Bu da önemli enerji kayıplarına ve yetersiz iklimlendirmeye neden olduğundan Ran ve ark., (2014) ölçüm doğruluğunu artırmak için bir VAV akış şartlandırıcısının potansiyeli bu çalışmada araştırmışlardır. Akış şartlandırıcısının tüm giriş akış şartlarında VAV debi okuma hatalarını % 5'e kadar azalttığı rapor edilmiştir.

Aydın (1996) yaptığı çalışmada; debi, hız, sürtünme kayıpları ve bunlara etki eden faktörler deneysel olarak incelenmiştir. Daralan kesitten akış yöntemi ile ölçme tekniklerinden olan; Orifis metre incelenmiş, yapım teknikleri araştırılmıştır. Bu amaca uygun olarak laboratuvar şartlarında kullanılabilecek bir orifis metre imal edilmiştir. Bu cihaz üzerinde debi ve hız ölçümleri yapıldığı gibi borularda meydana gelen basınç kayıpları da Reynolds sayısına bağlı olarak ölçülebilmektedir. Yapılan bu cihaz üzerinde orifis ölçümleri ve borudaki basınç kayıpları, depodaki su seviyesi değiştirilerek alınmış ve sonuçlar manometreden okunmuştur. Cihazdan alınan sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tahtalı (2008) bu çalışmanın amacı, değişik tipteki orifislerin akış, hız ve daralma katsayılarının analizini yapmaktır. Bu çalışma teorik ve deneysel olmak üzere iki grupta toplanabilir. Teorik çalışmada orifis katsayılarının Bernoulli ve Toricelli Teoremlerinden türetilmesinden bahsedilmiştir. Deneysel çalışmada üçgen, dörtgen, beşgen, altıgen,

yedigen ve daire orifis üretimi yapılmıştır. İmalatı yapılan 6 çeşit orifisin hız, daralma ve debi katsayıları deneysel olarak bulunmuştur.

Ekmen (2019) Bu çalışmada, pahlı tek delikli bir orifis plakasının daimi, sıkıştırılmaz ve izotermal boru akışı üzerindeki etkileri sayısal yöntemle araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile orifis plaka basınç kayıplarının azaltılması ve orifis üstakım düz borunun kısaltılması amaçlanmıştır. Burada orifis plakasına verilen pah açısının (0, 15, 30, 45, 60) plaka basınç kaybına ve debi ölçüm hatasına olan etkileri 5000, 15000, 25000, 40000 ve 100000 Reynolds sayılarında araştırılmıştır. Çıkan sayısal sonuçlara göre 33° civarındaki pah açılarında basınç kaybının en düşük ve 45° civarındaki pah açılarında ise debi okuma hatasının en düşük olduğu gözlemlendi. Çalışmada ayrıca orifisli ölçerde basınç fark ölçüm noktalarının debi okuma hatası üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Basınç fark ölçüm noktaları orifisten uzaklaştıkça debi okuma hatasının azaldığı görülmüştür.

Gürsoy (1999) bu çalışmada; orifis, lüle ve venturimetrenin yerleştirildiği bir boruda, laminar ve türbülanslı akış ortamında; akış yönünde cidar statik basınç dağılımının, debi katsayısı ve basınç kaybı deneysel olarak Reynolds sayısına ve debi ölçerlerin geometrisine göre değişimi araştırılmıştır. Mevcut sonuçların, literatürden alınan sonuçlar ile mukayesesi de yapılmıştır.

Yukarıda verilen çalışmalar dışında Swapan, 2019; Erdal ve Anderson, 1997; Guo vd., 2013; Schlüter ve Merzkirch, 1996; Wendt vd., 1996 ve Wei vd., 2003, akış şartlandırıcılarla testler ve analizler yapmışlardır.

Yukarıda verilen literatür çalışmalarında görüldüğü gibi orifis akış ölçerlerde standartlarda belirtildiği gibi tam gelişmiş bir üst akış sağlamak için kullanılan üst akım boru uzunluğu yer kapladığından çoğu uygulamalarda akış kullanılmasına ve tercih edilmesine engeldir. Orifis akış ölçerlerde üst akım borusunu kısaltmak için akış şartlandırıcılarla ilgili çalışmalar 1990'lerden beri sürmektedir. Yapılan çalışmalarda geliştirilen bazı önemli akış şartlandırıcıların üst akım akış bozukluklarını önemli dercede düzelttikleri ve kısa boru mesafesinde orifis akış ölçer standartlarına uyan tam gelişmiş bir akış oluşturabildikleri bildirilmiştir. Akış ölçer standartlarına da dahil edilmiş bu akış şartlandırıcılar pek çok uygulamada kullanılabilmektedirler. Fakat bu akış şartlandırıcılar, deneyle belirlenmiş ve standartlarda yer almış bazı sınırlamalar dahilinde kullanılabilmektedirler. Bu nedenle akış şartlandırıcılardaki bu sınırlamaların azaltılması farklı akış şartlandırıcıların geliştirilmesi gibi akış şartlandırıcılar geniş bir araştırma alanına

sahiptir. Ayrıca akış şartlandırıcılar kompresör çıkışında bozulan akışın düzeltilmesi, nozzle öncesi dirsekli boru akışının düzeltilmesi, fan-coil cihazı öncesi kullanım düzgün laminer akışın sağlanamsı gibi değişik alanlarda da kullanıldıkları görülmektedir (Çarpınlioğlu ve Özahi, 2010; Gordeeva vd., 2014; Ran vd., 2014).

Burada akış şartlandırıcılarda düz boru uzunluğunun kısaltılması, Reynolds sayı aralığının artırılması, akış şartlandırıcı basınç kaybının ve maliyetinin düşürülmesi, basitlik ve kompaktlığın sağlanması ve uzun süreli kullanım gibi iyileştirme sağlayan etkenler düşünülerek akış şartlandırıcılar pek çok sayısal ve deneysel çalışmayla ticari ve bilimsel alanda araştırılmaktadır. Bu nedenle önemli bir araştırma sahası haline gelmiştir.

Bu nedenle bu tez çalışmasında bilinen çok delikli plaka akış şartlandırıcısının geliştirilmesine yönelik plaka geometrik parametreleri ve akış parametreleri kullanılarak deneysel yöntemle test plakalarının orifis akış ölçer üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Burada amaç orifis akış ölçer için kısa bir üst akım borusu sağlamaktır. Çalışmada 1x7 delikli plaka kullanılmıştır. Plakaların neden oldukları basınç kayıpları da önemli olduğundan plaka deliklerine farklı açılarda pah verilmiş olup farklı pah açılarında dört ayrı plaka oluşturulmuştur. Burada plakaların testi için akış debisi (1000, 1500, 2000 L/h) ve akış bozukluk derecesi (iki farklı küresel vana açıklık oranı) araştırılan akış parametreleri olurken orifis akış ölçer düz akım boru uzunluğu (L_1 ve L_2 uzunluklu borular ile), delik pah açısı (pahsız, 15°, 30°, 45° ve 55° pahlı 1x7 plakaları) ve plaka gözeneklik oranı (pahsız iki ayrı 1x7 plakası ile) ve araştırılan geometrik parametreler olmuştur. Karşılaştırma amacıyla bir adet 1x6x12 çok delikli Laws akış şartlandırıcısı da test edilmiştir. Deneyler beta oranı farklı iki farklı orifis plakası için ($\beta=0.35$ ve $\beta=0.48$) tekrarlanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler test plakalarının birbiriyle karşılaştırılması ile analiz edilmiş ve tartışılmıştır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında orifis akış ölçerlerin üst akım boru uzunluğunu kısaltmak için plakalı akış şartlandırıcılar deneysel yöntemle araştırıldı. Kullanılan akış şartlandıcı plakaların orifis akış ölçerinin debi ölçüm doğruluğuna olan etkilerini ölçmek için bir deney düzeneği hazırlandı. Test akışkanı olarak su kullanıldı. Oluşturulan deney düzeneğinde orifis öncesi uzun düz bir boru kullanılarak ilk önce standart orifis akışları (Deney 1) gerçekleştirildi. Burada uzun düz boru kullanımı standartların gerektirdiği şekilde orifis akış ölçeri tam gelişmiş bir boru akışında test etmek için kullanılmıştır. Deney 1’de ($\beta=0.35$ ve $\beta=0.48$) standart orifis akışları ölçmek için iki orifis plakası kullanıldı. Burada orifis plakasına karşı oluşan basınç farkını ölçmek için orifis öncesi ve sonrası basınçlar manometrik yükseklik kullanıldı. Deney 1’de akış şartlandırıcıların performanslarını ortaya çıkarmak için kullanılacak orifis akış ölçer standart debi kayıp katsayı (Cd) değerlerini elde etmek için ilk önce iki ayrı orifis plakası flanşlar arasına yerleştirilerek fark basınçları (P1-P2) üç farklı akış debisi için ölçüldü. Bu testlerde bulunan orifis plaka basınç fark değerleri akış şartlandırıcı plakaları debi ölçüm hatalarını belirlemek için kıyaslama amacıyla kullanılan kalibrasyon değerleri olmaktadır. Ayrıca her iki orifis plakasının neden olduğu basınç kaybı da orifis plaka uzak üst akımına ve uzak aşağı akımına yerleştirilmiş basınç musluklarından elde edilen basınçlar (Pg-Pç) ile ölçüldü. Daha sonra her akış şartlandırıcı plakanın neden olduğu basınç kaybını hesaplamak için her bir plaka flanşlar arasına yerleştirilerek uzak akım basınçları belirlenen her üç akış debisi için ölçüldü. Orifis plaka öncesi uzun boru mesafesini kısaltmak için $L1=10.5$ cm ve $L2=16.5$ cm olan iki üstakım borusu kullanılarak sırasıyla Deney 1 ve Deney 2 isimlendirmesiyle deneysel ölçümler yapıldı. Deney 1 ve Deney 2’de orifis plakası orifis akış ölçer noktasında ve akış şartlandırıcı plakası ise orifis akış ölçer üst akımında flanşlar arasına monte edilerek deneyler gerçekleştirildi. Akış şartlandırıcı plakasını bozuk bir akışa karşı test etmek için şartlandırma plakası üst akımında bir küresel vana yerleştirildi. Küresel vana ve akış şartlandırıcı arası (4 cm) mesafe tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Her akış şartlandırma plakası, küresel vananın %20 açıklık oranı ile üç ayrı akış debisinde (1000, 1500, 2000 L/h) ve %50 açıklık oranı ile yine üç ayrı akış debisinde (1000, 1500, 2000 L/h) test edildi. Akış bozukluklarının orifis akış ölçer doğruluğu üzerindeki etkileri, akış şartlandırıcısı yokken ve akış şartlandırıcı plaka yerleşik iken deneysel akışlar gerçekleştirildi. Yapılan tüm deneyler orifis akış ölçer fark basınçları D ve D/2 tipi basınç

prizleri ile ölçüldü. Deneyler sonucunda elde edilen basınç farklarından orifis debi kayıp katsayısı (C_d) ve plaka basınç kayıp katsayıları (C_p) hesaplandı. Basınç ölçümünde kullanılan manometrik su yükseklikleri zamana bağlı çok değiştiğinden her manometrik su yüksekliği cep telefonu kamerası kullanılarak 25 saniyelik bir zaman dilimi için kaydedilmiştir. Daha sonra kamera kayıtlarından 5s-20s arasında her saniyede bir görüntü çıkarıldı. Her kamera kaydından alınan 15 tane görüntüden manometrik su yüksekliği değeri okunarak kaydedildi. Alınan bu değerlerin zaman ortalaması alınarak manometrik su yüksekliği hesaplandı. Her deneysel test için istenen basınç farkları bu ortalama değerlerden hesaplandı.

3.1. Deneysel Testler

Deney 1: Standart Orifis Plaka akışı

Bu deneyde amaç, standart orifis plakalı akışta orifis plakasının neden olduğu basınç farkını ölçmek ve bu basınç farkı ile orifis plaka debi kayıp katsayısını hesaplamaktır. Orifis plakaların yapısı çok basit olmasına rağmen orifisteki akış davranışı çok karmaşık, anlaşılması güç olabilmektedir. Bu nedenle orifis akış karakteristikleri üstakım akış bozukluklarına karşı çok hassastırlar. Bu nedenle akış debisi ölçümlerinde kabul edilebilir bir doğruluğu sağlamak için standart bir orifis akışında orifis plaka öncesi yaklaşan akışın girdap içermeyen ve simetrik bir hız profiline sahip tam gelişmiş bir akış olması gerekmektedir. Tam gelişmiş akış şartların sağlandığı bir orifis akış ölçerinde bile debi ölçüm doğruluğu %0.5 ve %1 arasında değişebilmektedir (Çengel ve vd. 2006). Orifis öncesi tam gelişmiş bir akış ise ancak uzun bir boru akışı sonunda oluşabilmektedir. Çünkü orifis üst akımında bulunan vana, dirsek, kompresör, pompa vb. akış bozan ve karıştıran elemanlar asimetric bir hız profiline ve girdap içeren bir akış oluşmasına neden olur. Kısa üst akım borusu uygulamalarında standart hız profili çoğu durumda tam gelişmiş hız profilinden çok uzak olur. Bu durum akış ölçerinde akış debi ölçüm hatasına neden olur. Uygulamalarda bu problemi gidermek için ya tam gelişmiş akışı sağlamak için orifis öncesi yeteri uzunlukta düz bir boru kullanılmalı ya da orifis öncesi akış şartlandırıcı kullanmak gerekmektedir.

Deney 1’de standart orifis akışı yaratmak için Şekil 3.1’de gösterildiği gibi orifis plaka öncesi uzun düz bir boru kullanılmıştır. Deneylerde iç çapı 52 mm olan çelikten