



**BASINÇLI KONDUİTLERDE ENKESİT VE KAPAK
GEOMETRİSİNİN HAVA GİRİŞ VERİMİNE ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Alp Buğra AYDIN

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Danışman: Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK

KASIM-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASINÇLI KONDUİTLERDE ENKESİT VE KAPAK GEOMETRİSİNİN HAVA
GİRİŞ VERİMİNE ETKİSİ

Doktora Tezi

Alp Buğra AYDIN

131115201

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Danışman: Prof.Dr.Mualla ÖZTÜRK

Prof.Dr.Ayhan ÜNLÜ

Prof.Dr.Fahri ÖZKAN

Prof.Dr.Mehmet ÜNSAL

Yrd.Doç.Dr.Recep ÇELİK

KASIM-2017

ÖNSÖZ

Yoğun ve yorucu bir maratonun sonucunda ortaya çıkan bu tezime, başından sonuna kadar çok büyük bir destek gördüğümü itiraf etmeliyim. Bu desteği sağlayan kurum ve kişiler sayesinde, önemli ve kapsamlı bir tezi ortaya koymaya çalıştım.

Danışman hocam Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK'e tezime yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim. Ayrıca tezimin her aşamasında bilgi ve yönlendirmeleri ile bana yardımcı olan Prof. Dr. Fahri ÖZKAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Cihat TUNA'ya teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan Faruk DEMİRBAŞ ve Muhammet KARTAL'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının deneylerinin yapılabilmesi için gerekli teçhizatın ve işçiliklerin karşılanması TÜBİTAK 215M046 numaralı proje ile desteklenmiştir. Aynı zamanda, doktora eğitimimin başlamasından itibaren TÜBİTAK-BİDEB'in 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programından yararlanmış bulunmaktayım. 2211-A Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında sağladığı destekten ötürü TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı birimine teşekkür ederim.

Anne ve babama, varlığıyla, ilgisiyle ve sonsuz sabrıyla sınırsız güç bulduğum eşime, en derin saygı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	10
2. SULARIN HAVALANDIRILMASI	12
2.1. Havalandırma Sistemleri	12
2.2. Hidrolik Yapılarla Suların Havalandırılması	17
3. KAPAKLI KONDUİTLER İLE SULARIN HAVALANDIRILMASI	21
4. GAZ TRANSFER SÜRECİ	26
4.1. Gaz Transfer Teorileri.....	27
4.1.1 Çift Film Teorisi – LEWIS and WHITMAN (1924)	27
4.1.2. Penetrasyon Teorisi –HIGBIE (1935).....	30
4.1.3. Yüzey Yenilenme Teorisi-Danckwerts (1951)	32
4.1.4. Film/Yüzey Yenilenme Teorisi- Dobbins (1962)	33
4.2. Oksijen Transfer Verimi	34
4.3 Oksijen İletim Katsayısı.....	35
4.3.1 Standart Oksijen Transfer Oranı-SOTR.....	38
4.3.2 Standart Havalandırma Verimi- SAE.....	38
4.3.3 Standart Oksijen Transfer Verimi-SOTE.....	39
5. MATERYAL METOT	40
5.1. Deney Düzenegi	40
5.2. Deneyin Yapılışı.....	47
6. DENEY SONUÇLARI	50
6.1. 60x100 Kesitli Konduite Ait Deney Sonuçları	51

6.1.1. Radyal Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları.....	51
6.1.2. İnce Kenarlı Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları	55
6.1.3 Kapak Geometrisinin Etkisi	57
6.2. 100x60 Kesitli Konduite Ait Deney Sonuçları	62
6.2.1 Radyal Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları.....	62
6.2.2. İnce Kenarlı Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları	65
6.2.3 Kapak Geometrisinin Etkisi	67
6.3. Dairesel Kesitli Konduite Ait Deney Sonuçları	72
6.3.1 Radyal Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları.....	72
6.3.2. İnce Kesitli Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları.....	75
6.3.3. Kapak Geometrisinin Etkisi	77
6.4. Konduit Geometrisinin Etkisi	81
6.4.1. Radyal Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları.....	81
6.4.2. İnce Kenarlı Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları	86
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ.....	100

ÖZET

Ekolojik dengeyi oluşturan ve canlıların yaşam işlevleri açısından vazgeçilmez olan su, insanoğlu tarafından içme suyu temini, sulama ve çeşitli sınai amaçlarla kullanılmaktadır. Tarihsel süreçte, nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmenin su tüketimini artırması, atık suların doğaya karışımı nedeniyle yaratılan çevre kirliliği, altyapı yetersizliği ve tarımda aşırı sulama gibi yanlış kullanımların da etkisiyle, su kaynaklarının kullanımı ve paylaşımı sorunu olarak özetleyebileceğimiz "küresel su krizi" olgusu karşımıza çıkmaktadır. Dünyanın büyük bir su sorunu yaşamakta olduğu düşünülecek olursa böyle bir dönemde kullanılabilirliğini yitirmiş suların tekrardan kullanılabilir hale getirilmesi insanlık için büyük bir fayda sağlayacaktır. Su kalitesini belirleyen birçok parametre bulunmaktadır. Fakat bunlar içerisinde en önemlisi çözülmüş oksijen konsantrasyonudur. Çözülmüş oksijen konsantrasyonunun optimum değere ulaştırılabilmesi için atmosferdeki oksijenin suyun içerisine kazandırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda son yıllarda sudaki çözülmüş oksijen değerini artırmak için basınçlı ve serbest yüzeyli farklı akım sistemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, su mühendisliğinde havalandırma işlemi konusunda mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olabilecek basınçlı konduitlerin farklı enkesit tipleri, kapak açıklık oranları, konduit uzunlukları ve kapak şekilleri dikkate alınarak havalandırma verimleri incelenmiştir. Tek bir deney düzeneği üzerinde 144 farklı deney serisi oluşturularak 1000'den fazla hava giriş oranı ölçülmüştür. Deney sonuçları basınçlı konduitlerin suların havalandırılmaları açısından verimli olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca tez çalışması amacına ulaşarak hava giriş oranları büyük ölçüde arttırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havalandırma, basınçlı konduitler, çözülmüş oksijen konsantrasyonu, su kalitesi

ABSTRACT

The Effect of Cross-Section and Gated Geometry on the Air Demand Efficiency in the Head Conduits

The water is indispensable to balance the ecology and functionality of creatures. Hence, water has been used for drinking water supply, irrigation, and various industrial purposes. In the historical process, we are confronted with the "global water crisis" due to the population increase, urbanization, increasing water consumption with industrialization, environmental pollution caused by mixing of waste water to the nature, inadequacy of infrastructure and excessive irrigation in agriculture. The effectively use of freshwater bodies has crucial importance due the limited amount of freshwater sources. Thus, it is vital to improve the properties of polluted freshwater to reuse. The dissolved oxygen concentration is a crucial indicator for continuation of live on the water. In order for the dissolved oxygen concentration to reach the optimum value, the oxygen in the atmosphere must be brought into the water. In this direction, different flow systems with pressure and free surface for aeration have been widely used in recent years. In this study, the aeration efficiency of the high head gated conduits which can be an alternative to the existing aeration systems for aeration in water engineering was examined considering different cross-sectional types, gate opening ratios, conduit lengths and gate shapes. More than 1000 air demand ratio were measured by creating 144 different test series on one experimental setup. Experimental results have shown that high head gated conduits can be used efficiently for the aeration of water. In addition, the air demand ratio have been greatly increased by reaching the purpose of the thesis study.

Keywords: Aeration, head conduits, dissolved oxygen concentration, water quality

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Morning-glory dolusavağı modeli	4
Şekil 1.2 Su yüzeyi üzerindeki hava akımı	6
Şekil 2.1 Sprey Havalandırıcılar	13
Şekil 2.2. Balçova Barajı Havalandırma Kaskatları	14
Şekil 2.3 Tepsi tipi Havalandırıcı	14
Şekil 2.4 Dolgulu Kule	15
Şekil 2.5 Yüzeysel mekanik havalandırıcı.....	16
Şekil 2.6 Difüzörlü Havalandırıcılar.....	16
Şekil 2.7. Arıtma tesisindeki enerji tüketimi oranları	17
Şekil 2.8 Serbest yüzeyli akım.....	18
Şekil 2.9 Basınçlı akım	18
Şekil 3.1. Glen Kanyon Barajında meydana gelen kavitasyon hasarı	21
Şekil 3.2. Kapaklı konduitlerde iki fazlı akım	22
Şekil 3.3 Kapaklı konduitlerde oluşabilecek akım tiplerinin sınıflandırılması:	22
Şekil 3.4. Hidrolik sıçramada hava-su akış bölgesi	23
Şekil 4.1. Moleküler ve Eddy Diffüzyonunun oluşma şekli.....	27
Şekil 4.2. Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) grafiksel gösterimi	28
Şekil 4.3. Sıvı filmi boyunca meydana gelen kararlı ve kararsız hal difüzyonu	31
Şekil 4.4. Suyun karıştığını varsayan standart model.....	36
Şekil 4.5. Deoksijenasyon ve reoksijenasyon süreçleri	37
Şekil 4.6. $K_L a$ 'nın grafik yolla tayini	37
Şekil 5.1 Deney düzeneği	40
Şekil 5.2 Tank, Emiş hortumu ve pompa.....	41
Şekil 5.3 Akım kontrol vanası ve Elektromanyetik debimetre	41
Şekil 5.4 Deney aparatları.....	42
Şekil 5.5 Konduit kesitleri	42
Şekil 5.6 60x100 Dikdörtgen kesit kapak açıklık oranları.....	43
Şekil 5.7 100x60 Dikdörtgen kesit kapak açıklık oranları.....	43
Şekil 5.8 100x60 Dairesel kesit kapak açıklık oranları.....	43
Şekil 5.9 İnce kenarlı kapak.....	44

Şekil 5.10 Radyal kapak	45
Şekil 5.11 Hava bacaları	46
Şekil 5.12 Dikdörtgen konduitler.....	46
Şekil 5.13. Dairesel konduitler.....	47
Şekil 5.14. Redüksiyon	47
Şekil 5.15 Anemometre	48
Şekil 5.16. Hava hızının ölçülmesi	48
Şekil 6.1. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	53
Şekil 6.2 Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	54
Şekil 6.3. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	56
Şekil 6.4. Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	57
Şekil 6.5. Kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi	62
Şekil 6.6. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	63
Şekil 6.7. Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	64
Şekil 6.8. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	66
Şekil 6.9. Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	67
Şekil 6.10. Kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi	72
Şekil 6.11. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	73
Şekil 6.12. Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	74
Şekil 6.13. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	76

Şekil 6.14. Belirli kondüit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi	77
Şekil 6.15. Kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi	81
Şekil 6.16 Konduit geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi	86
Şekil 6.17 Konduit geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi	90



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Hidrolik Yapılarda Oksijen Transfer Verimini Tahmin Eden Eşitlikler..	19
Tablo 5.1 Kapak açıklık ölçüleri	44
Tablo 5.2 Radyal kapak ölçüleri.....	45
Tablo 6.1. Deney serilerinin ana hatları	50



SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Hava-su arayüz alanı (m^3),
A	: Kütle transfer alanı (m^2),
A_v	: Konduit kesit alanı (m^2),
B_u	: Kanal genişliği (m),
C	: Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L),
C_{max}	: Sudaki çözünebilen maksimum oksijen konsantrasyonu (mg/L),
C_s	: Sudaki çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L),
C_u	: Mamba çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L),
C_d	: Mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L),
C_L	: Akışkanın ana gövdesindeki gaz konsantrasyonu (mg/L),
d_{ab}	: Hava kabarcığının boyutu,
$\frac{dm}{dt}$: Kütle transfer hızı (mg/s),
D_o	: Hava bacası çapı,
D_T	: Toplam difüzyonu (m^2/s),
D_M	: Moleküler difüzyonu (m^2/s),
D_E	: Eddy Difüzyonu (m^2/s),
E	: Oksijen transfer verimi,
E_{15}	: $15^{\circ}C$ 'de ki oksijen transfer verimini,
E_{20}	: $20^{\circ}C$ 'de ki oksijen transfer verimini,
Fr	: Froude sayısı,
f	: Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı,
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2),
H	: Hava bacasının hidrolik yarıçapı,
H_E	: Enerji yüksekliği,
H_u	: Kanal yüksekliği,
h_1	: Kapak açıklık ölçüsü (m),
h_2	: Konduit içindeki kapak yüksekliği (m),
J	: Enerji çizgisinin eğimi,
K_s	: Konduit içindeki kayıp katsayısı,
K_g	: Kütle transfer katsayısı,

K_{La}	: Kütle transfer katsayısı,
L	: Konduit uzunluğu (m),
L_u	: Kanal uzunluğu (m),
L_a	: Havalanma uzunluğu (m),
Q_a	: Hava bacasından ölçülen havanın debisi (m^3/s),
Q_w	: Konduitden geçen su debisi (m^3/s),
r	: Oksijen eksiklik oranını,
R	: Hidrolik yarıçap (m),
$SOTR$: Standart oksijen transfer oranı,
SAE	: Standart havalandırma verimi,
$SOTE$: Standart oksijen transfer verimi,
t	: Kütle transferinin meydana gelme süresi (s),
t_u	: Kontrol hacminin membadan geçtiği süre (s),
t_d	: Kontrol hacminin mansaptan geçtiği süre (s),
T	: Su sıcaklığını (0C),
u	: Lokal hava hızı (m/s),
V	: Ortalama su hızı (m/s),
V_o	: Maksimum su yüzeyi hızı (m/s),
V	: Transfer olunan gaz hacmi (m^3),
W_{O_2}	: Oksijen kütle akışı (kg/sa),
y_e	: Kapak altındaki su derinliği (m),
y_a	: Su yüzeyinden mesafesi (m),
β	: Hava giriş oranı
ρ_a	: Hava yoğunluğu (kg/m^3),
ρ_w	: Su yoğunluğu (kg/m^3),
γ	: Suyun özgül ağırlığı (t/m^3),
δ	: Sınır tabakası kalınlığı (m),
ϕ	: Kapak açıklık oranı,

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Ekolojik dengeyi oluşturan ve canlıların yaşam işlevleri açısından vazgeçilmez olan su, insanoğlu tarafından içme suyu temini, sulama ve çeşitli sınıai amaçlarla kullanılmaktadır. Tarihsel süreçte, nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmenin su tüketimini artırması, atık suların doğaya karışımı nedeniyle yaratılan çevre kirliliği, altyapı yetersizliği ve tarımda aşırı sulama gibi yanlış kullanımların da etkisiyle, su kaynaklarının kullanımı ve paylaşımı sorunu olarak özetleyebileceğimiz "küresel su krizi" olgusu karşımıza çıkmaktadır (Unesco-Wwap, 2003;URL-1, www.dünya.com Kullanılabilir Su Kaynakları. 2 Nisan 2011).

Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km³'tür. Bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da %90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye ise üç bir tarafı sularla kaplı olmasına rağmen su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m³ civarındadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir (URL-2, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> Türkiye'de suyun durumu, 2014).

Dünyanın ve özellikle ülkemizin büyük bir su sorunu yaşamakta olduğu düşünülecek olursa böyle bir dönemde kullanılabilirliğini yitirmiş suların tekrar kullanılabilmesi için özelliklerinin iyileştirilmesi insanlık için büyük bir fayda sağlayacaktır. Bu sebeple, bu tez çalışmasında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında kullanılmış suların özelliklerinin iyileştirilmesi için bir dizi deneysel ölçüm yapılmıştır.

1.2. Literatür Taraması

Son yıllarda kapaklı konduitlerde hava giriş oranının tahmin edilebilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Literatürdeki bu çalışmaların öncelikli nedenleri;

- 1- Sisteme giren hava, akış hacminin artmasına sebep olmaktadır. Dolusavak ve dipsavak yapılarının tasarımında önemli olan akış hacminin belirlenmesine yardımcı olmak (Falvey, 1980)
- 2- Sınır tabakası içinde havanın varlığı yüzeysel sürüklenme kuvvetini azaltır ve bu durum momentumun artmasına neden olur. Bu nedenle dipsavak mansabındaki enerji kırıcı havuzların tasarımında gerekli ön bilgiyi sağlamak (Chanson, 1996).
- 3- Yüksek hızdaki akımdan kaynaklanan kavitasyon zararlarını azaltmak ve ortadan kaldırmak (Toombes ve Chanson 2005) şeklinde sıralanabilir.

Kapaklı konduitler ayrıca, suların havalandırılması amacıyla birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Konduitlerde hava girişi ile ilgili çalışmalardan ilki dairesel konduitlerde hidrolik sıçramayı hava girişi ile ilişkilendiren ve hava girişinin hidrolik sıçramanın menbasındaki Froude sayısının bir fonksiyonu olduğunu belirleyen Kalinske ve Robertson (1943) tarafından yürütülmüştür. Fiziksel modellerinde hava talebini Froude sayısına göre tarif eden amprik ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = 0.0066(Fr - 1)^{1.4} \quad (1.1)$$

Burada,

β : Hava giriş oranı

Q_a : Hava bacasından ölçülen havanın debisi (m^3/s)

Q_w : Konduitden geçen su debisi (m^3/s)

Fr: Froude sayısıdır.

Froude sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_e}} \quad (1.2)$$

Burada,

V: Ortalama su hızı (m/s)

g; Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

y_e : Kapak altındaki su derinliğidir (m).

Kalinske ve Roberstsonun sonuçları analiz edilmiş ve böyle uygulamalarda hava giriş oranının tahmini için temel sağlamak amacıyla birkaç araştırmacı tarafından modifiye edilmiştir (USACE, 1964; Campbell and Guyton, 1953; Wisner, 1965; Sharma, 1976; Levin, 1965; Speerli, 2000).

Dettermers (1953) Lumiei barajındaki araştırmalarında hava girişinin basınçtan bağımsız olarak kapak yapısının geometrisiyle ilişkili olduğunu, Q_a/Q_w oranının esas olarak kapak yapısının geometrisiyle etkilendiğini belirtmiştir (Sharma, 1976).

Campbell ve Guyton (1953) serbest yüzeyli dikdörtgen konduitlerde yapmış oldukları çalışmada serbest yüzeyli sulara su yüzeyi üzerindeki hava kütlelerinin sürüklenme kuvveti oluşturduğunu ve bu kuvvetten dolayı hava hızının su yüzeyi üzerinde logaritmik bir profile sahip olduğunu belirlemişlerdir. Geliştirdikleri formül aşağıdaki gibidir.

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = 0.04(Fr - 1)^{0.85} \quad (1.3)$$

Winser (1965), hava giriş oranının, konduit kesit alanının hava bacası kesit alanı oranına bağlı olduğunu belirlemiştir. Hava bacası alanının konduitin kesit alanına oranı 1/40'dan daha büyük ise eşitlik 1.4'te görüldüğü gibi hava giriş oranının sadece Fr sayısının bir fonksiyonu olduğunu belirlemiştir. Geliştirilen denklem aşağıdaki gibidir (Sharma 1976).

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = 0.024(Fr - 1)^{1.4} \quad (1.4)$$

Birçok araştırmacı Campbell ve Guyton'un su yüzeyi üzerindeki hava profilini belirttiği teoriyi geliştirmeye çalışmışlardır. Bu araştırmalardan biri, hava ve su geçişlerini bütünüyle modelleyen Sikora (1965) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sikora (1965), Morning-glory dolusavağının yatay konduitinde yapmış olduğu deneyde su yüzeyi üzerindeki hava hızının ortalama su hızını aşmadığını ve su üzerindeki hava kütlelerinin ortalama su yüzeyi hızında dolaştığını varsayımlardır Geliştirdikleri yöntem prototip verileri ile kıyaslandığında hava giriş oranını fazla tahmin ettiği ortaya çıkmış olsa da hava talebi için üst sınır olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Geliştirdikleri formül aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = \frac{A_v}{A} \left\{ \frac{\rho_w / \rho_a}{\sum K_s + fL/4H} \left[\frac{(p_{am}/\gamma) - (p_1/\gamma)}{V^2/2g} \right] \right\}^{1/2} \quad (1.5)$$

Burada

A_v : Konduit kesit alanı (m^2)

f : Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı

H : Hava bacasının hidrolik yarıçapı (m)

K_s : Konduit içindeki kayıp katsayısı

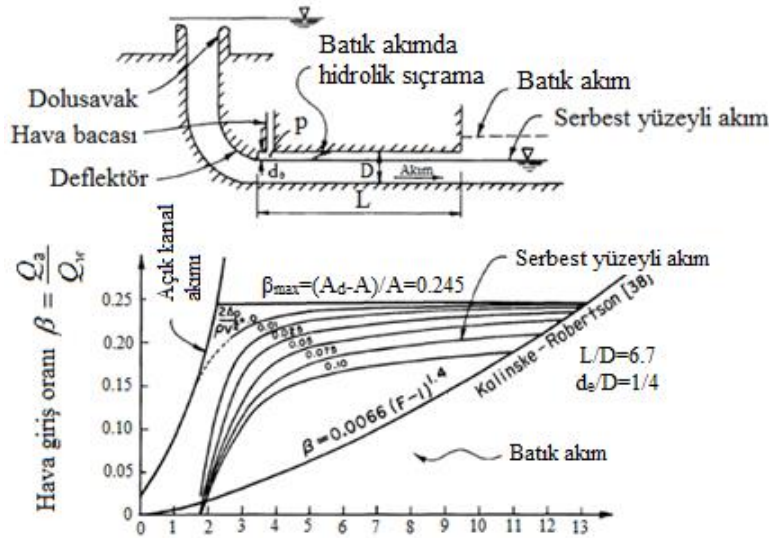
L : Konduit uzunluğu (m)

ρ_a : Hava yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_w : Su yoğunluğu (kg/m^3)

γ : Suyun özgül ağırlığı (t/m^3)

Köşeli parantez içindeki birincil oran tekil kayıplar, akım geometrisi ve akışkan özelliklerinin bir fonksiyonudur. İkinci oran ise Euler sayısı ya da basınç faktörünün bir şeklidir. Eşitlik (1.3)'e göre belirli bir havalandırma deliğinin boyutsuz hava akımı için eğriler Şekil 1.1'deki gibi çizilebilir (Falvey 1980).



Şekil 1.1. Morning-glory dolusavağı modeli (Sikora, 1965)

Sharma (1976), Campbell ve Guyton tarafından belirlenen logaritmik hız profilinin prototip verilerinin azlığından dolayı doğru olmadığını belirledi. Sharma (1976) su

damlalarının yüksek hızlı film teorisi fotoğraflarını kullanarak su yüzeyi üzerindeki hava hızı profili üzerine çalıştı ve su damlalarının hızının havanın hızına eşit olduğunu varsaydı, fakat hiçbir hız profili belirlemedi (Oveson, 2008). Yapmış olduğu çalışmada konduit içerisindeki akımı sınıflandırdı ve aşağıdaki eşitlikleri belirledi (Safavi vd.2007):

$$\beta = 0.09(Fr) \quad \text{serbest yüzeyli akım için} \quad (1.6)$$

$$\beta = 0.2(Fr) \quad \text{sprey akım için} \quad (1.7)$$

Falvey (1980), Campbell ve Guyton'un çalışmalarını öne sürerek hava hızının sıfır olduğu üst sınır tabakasının yüksekliğinin kapağa olan uzaklığa bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Sınır tabakası içerisindeki hız dağılımının bir kuvvet yasasına dayandığını ileri sürerek aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$u = V_0 \left(\frac{y_a}{\delta} \right)^{1/n_v} \quad (1.8)$$

Burada;

u : Lokal hava hızı (m/s)

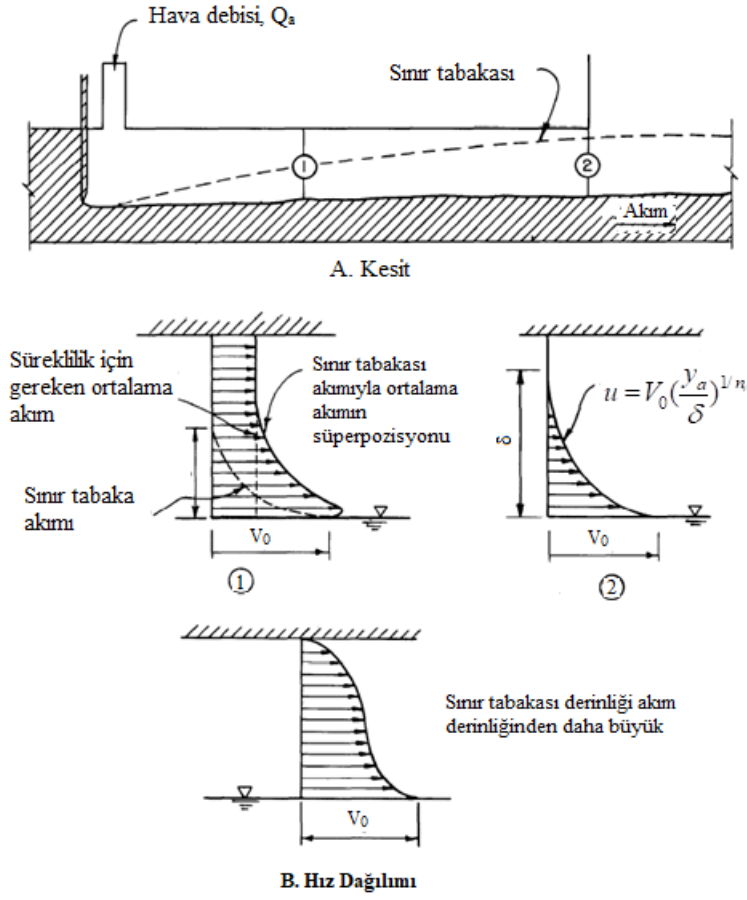
V_0 : Maksimum su yüzeyi hızı (m/s)

y_a : Su yüzeyinden mesafesi (m)

δ : Sınır tabakası kalınlığı (m)

n_v : 5,4 ve 10 arasında değişen su yüzeyi pürüzlülüğü ile ilişkili katsayı

Bu yaklaşım Campbell ve Guyton'un çalışmasıyla benzerdir fakat sınır tabakasının konduitin üst kısmı ile kesiştiği varsayılır. Falvey (1980) su yüzeyi üzerindeki hava akımı miktarını kapağın uç kısmından konduit ucundaki maksimum değere kadar artan bir sınır tabakası göz önüne alarak görselleştirmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Su yüzeyi üzerindeki hava akımı (Falvey, 1980)

Haindl ve Sotornik (1957), dikdörtgen konduit içinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirdiler. Akış bölümü, Kalinske ve Robertson (1943) tarafından kullanılanla yaklaşık olarak üç katından daha büyüktü. Yapmış oldukları çalışma sonucunda aşağıdaki denklemi önerdiler:

$$\beta = 0.012(Fr - 1)^{1.4} \quad (1.9)$$

Rajaratnam (1962), farklı Froude sayılarındaki hidrolik sıçramalarda iki fazlı akış ölçümleri (boşluk fraksiyonu profilleri dahil) ayrıntılı olarak yaptı ve aşağıdaki denklemi önerdi:

$$\beta = 0.018(Fr - 1)^{1.245} \quad (1.10)$$

USACE (1964), birkaç barajın dipsavak yapılarının prototip verilerini inceleyerek Froude sayısı ve serbest yüzeyli hava girişi arasında bir ilişki geliştirdi. Geliştirmiş olduğu eşitlik aşağıda belirtilmiştir.

$$\beta = 0.03(Fr - 1)^{1.06} \quad (1.11)$$

Fuentes ve Garcia (1984), dikdörtgen bir kanal üzerinde gerçekleştirdiği hava giriş oranı ölçümlerinde, kanal uzunluğunun kanal yüksekliğine oranının 40'dan fazla olduğu durumlarda hava girişinin sadece hava bacasından gerçekleştiğini, kanal uzunluğunun bağımsız olduğunu belirlemiştir.

Gongchun ve Chupei (1987), birkaç barajdan almış oldukları verileri analiz etmiş ve kanal uzunluğunun kanal yüksekliğine oranının 27.5'ten küçük olması durumunda, kanal mansabından önemli miktarda hava girişinin olduğunu, kanal uzunluğunun kanal yüksekliğine oranının 36.5'ten büyük olması durumunda, havanın genellikle hava bacasında sağlandığını ve oranın 27.5 ile 36.5 arasında olması halinde, hem hava bacasından hem de kanal mansabından hava girişinin olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, kanal uzunluğunun kısa olduğu küçük kapak açıklıklarında hava bacası çapının azaltılmasının, kapak mansabındaki subatmosfer basıncını önemli ölçüde değiştirmedini belirlemişlerdir. Bununla birlikte, büyük kapak açıklıklarında ise, hava bacası çapının azaltılmasının kapak mansabındaki subatmosfer basıncını önemli ölçüde arttırdığını ifade etmişlerdir.

Hager ve Bremen (1989) ve Hager vd. (1990) dikdörtgen kanal üzerinde hidrolik sıçramanın karakteristiklerini inceledikleri çalışmada, sıçramanın meydana geldiği türbülans bölgesinde çok sayıda hava kabarcığının sıçrama içerisinden çıkmadan sıçramayla birlikte sürüklendiğini belirlemişlerdir. Ayrıca havalandırma uzunluğunun sıçramanın başladığı nokta ile başladığını ve tüm hava kabarcıklarının yüzeye yükseldiği noktaya kadar devam ettiğini ifade etmişlerdir.

Speerli ve Volkart (1997), çeşitli saha ölçümleri aracılığıyla dipsavakların kuyruksuyu kanallarından almış oldukları verilere göre, hava bacasından gelen hava ile kanal çıkışından gelen havanın bir etkileşim içerisinde olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmaya göre basınç farkından dolayı sisteme giren hava akışının ya hava bacasından ya da kanal mansabından gerçekleştiğini ileri sürmüşlerdir.

Ervine (1998), hidrolik yapılarda yaygın olarak görülen hava giriş tiplerini araştırdığı çalışmada, hidrolik yapılarda havalandırma işlemi önceden belirlenemeyen bir dizi parametreye oldukça duyarlı olduğu için genelleştirilmiş bir denklem geliştirmenin zor olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kapalı bir kanal içerisinde hava kabarcıklarının taşınmasının kanal uzunluğunun kanal çapına oranına bağlı olduğunu belirlemiştir.

Speerli (1999), 45 cm yüksekliğinde 30 cm genişliğinde ve 21 m uzunluğundaki kanal üzerinde gerçekleştirdiği deney çalışmasında hava girişinin hem hava bacasından hem de kanal mansabından gerçekleştiğini belirlemiştir. Hava bacasından veya kanal mansabından sisteme giren havanın birbiriyle ilişkisinin olduğunu belirtmiştir. Hava girişi oranının tünel geometrisi, hava bacasının kayıp karakteristiği, kapak açıklık oranı tarafından etkilendiğini ileri sürmüştür. Hava bacasından giren havanın debisinin belirlenebilmesi için geliştirmiş olduğu denklem aşağıdaki gibidir.

$$Q_a = 0.022 H_E \left(\frac{L_u}{H_u} \right)^{1/6} S^{0.5} (g B_u^3)^{0.5} \zeta_o^{-0.43} \quad (1.12)$$

Burada;

Q_a : Hava bacasından giren havanın debisi (m^3/s)

H_E : Enerji yüksekliği (m)

L_u : Kanal uzunluğu (m)

H_u : Kanal yüksekliği (m)

S : Kapak açıklık oranı

B_u : Kanal genişliği (m)

ζ_o : Hava bacası çapını ifade etmektedir.

Aydın (2002), Birecik barajı ve hidroelektrik santralinin hidrolik modeli üzerinde yapmış olduğu çalışmada kapağın acil kapatılması sırasında zaman bağımlı hava tahliyesini değerlendirmek için matematiksel model geliştirmiştir. Geliştirdiği matematiksel modelin doğrudan prototip değerlerini tahmin etmek için kullanılabileceğini ancak yük kayıp katsayılarının bilinmesi gerektiğini belirtmiştir.

Mossa vd. (2003), yaptıkları çalışmada ani bir düşüşle kritik üstü akımdan kritik altı akıma geçişi deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Uzun vadeli deney sonuçları, akış yapılandırılmalarının düzenli olmayan davranış eğilimi gösterdiğini belirlemiştir.

Ünsal vd. (2005), dikdörtgen kesite sahip kapaklı konduitler üzerinde yapmış oldukları çalışmada küçük kapak açıklık oranlarında konduit uzunluğu ile hava giriş oranları arasında doğru orantının olduğunu belirlemiştir. Konduit uzunluğunun kısa

olduğu durumlarda ise en yüksek hava giriş oranının büyük kapak açıklık oranlarında meydana geldiğini belirlemişleridir.

Shamsai vd. (2006) dipsavak yapılarında meydana gelen yüksek hıza sahip iki fazlı hava-su akımları üzerinde yapmış oldukları çalışmada sonlu hacim ve iki fazlı akım modellerini kullanmışlardır. Sayısal sonuçlar bir araya getirilerek aşağıdaki formül geliştirilmiştir. Elde edilen sayısal veriler deneysel verilerle kıyaslanmış ve %3 farklılık göstermiştir.

$$\beta = 0.0555(Fr - 1)^{0.7869} \quad (1.13)$$

Ayrıca 1.13 numaralı deklemdede elde edilen veriler Campbell ve Guyton'un (1953) verileri ile ve US army (1988) verileri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucunda Campbell ve Guyton'un verileri ile %9, US army'nin verileri ile %18 farklılık göstermiştir.

Safavi vd. (2007) kapak açıklığının, relative derinliğin ve hava bacasındaki yk kayıplarının hava giriş oranı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneplerinde 17,5 cm çapında %1 eğime sahip sert plastik boru kullanmışlardır. Kapaktan sonra ortaya çıkan yüksek hızlı akımın meydana getirebileceği kavitezyon zararlarını önlemek için 2 cm'lik bir basamak yapılmıştır. Kapak arkasına yerleştirilen ve hava bacasında meydana gelen yük kayıpları kadar konduit içerisindeki hava geçişi boyunca yük kayıplarının da önemli olduğunu ortaya koymuştur.

zkan vd. (2009), havalandırma performansı açısından yüksek basınçlı kapaklı konduitler ile venturileri kıyasladıkları çalışmada, venturilerin küçük Reynolds sayılarında hava giriş oranlarının uygun görüldüğü, yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde ise büyük Reynolds sayılarında havalandırma performanslarının daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir.

nsal vd. (2012), dairesel kesitli konduitlerin hava giriş oranı üzerindeki etkisini araştırma için gerçekleştirdikleri çalışmada en iyi hava giriş oranının %20 daralma oranında meydana geldiğini, konduit uzunluğunun hava giriş oranı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirlemiştir.

Gökgöz vd. (2014) dairesel konduitlerde havalandırma performansı için hava bacası yerinin etkisini inceledikleri çalışmada hava bacası yerinin havalandırma performansı açısından önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Tuna vd. (2014) dairesel konduitler ile havalandırma verimini arttırmayı amaçladıkları deneysel çalışma sonucunda Froude sayısı ve su kesitsel akış alanının konduitin kesit alanına oranının havalandırma verimi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirlemişlerdir.

Yılmaz vd. (2016), havalandırma performansı açısından dairesel yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin hava delik çapını yapay sinir ağları ile modelledikleri çalışmalarında, deney sonuçları ile model sonuçlarının benzeşim sağladığı ve hava delik çapının havalandırma performansı üzerindeki etkinin araştırılmasında yapay sinir ağlarının etkin bir şekilde kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Aydın vd. (2016) yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde hidrolik yarıçapın etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmada iki farklı dikdörtgen konduit kullanmış ve %10 kapak açıklık oranında hidrolik yarıçapın artması ile hava giriş oranının azaldığını, %20 ve %40 kapak açıklık oranlarında ise hidrolik yarıçapın önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Su kalitesini belirleyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden en önemlisi su içerisinde çözülmüş olarak bulunan oksijen miktarıdır (Jones, 2011). Oksijen gazı su ile atmosfer arasında meydana gelen difüzyonla, suyun dalgalar halinde kayalara çarpması sonucu çalkalanmasıyla, bitkilerin fotosentezi gibi birçok yöntemle su içerisinde çözünür. Buna karşılık, doğal yollarla meydana gelen birçok kimyasal ve biyolojik olay sonucunda da su içerisindeki çözülmüş oksijen miktarı azalır. Suda yaşayan canlıların yaşam faaliyetlerinin devamı açısından çözülmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonunun yaklaşık olarak 5-7 mg/litre olması gerektiği düşünülecek olursa atmosferde bulunan oksijenin fiziksel olarak suyun bünyesine kazandırılması gerekmektedir (Gulliver vd., 1998). Bu olay havalandırma olarak adlandırılır. Suyun havalandırılması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Kullanılacak havalandırma yöntemi, sudan hangi malzemelerin kaldıracağına bağlıdır. Bu yöntemlerin esas mantığı ya suyu havadan geçirerek ya da havayı sudan geçirerek oksijen transferini gerçekleştirmektir (URL-3, http://water.me.vccs.edu/courses/enu115/Lesson5_print.htm, August 22, 2015; Erasmus, 2014).

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek basınçlı borular içerisine değişik metotlarla atmosferden hava alınmak suretiyle iki fazlı akım sistemleri elde edildiği ve bu sistemler içerisine transfer edilen hava kabarcıklarının boyutları ne kadar küçük olursa oksijen transferi için gerekli olan yüzey alanının da o kadar arttığı belirlenmiştir. Yüzey alanının artmasından dolayı oksijen transferinin de arttığı, ayrıca boru içerisindeki yüksek basınç etkisi ile oksijen transferinin de kolaylaştığı belirlenmiştir (Neto vd. 2008; Bin, 1993; Cummings ve Chanson, 1997; Özkan vd., 2006; Aydın vd., 2016).

Yine son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda, basınçlı akım sistemleri içerisinde en verimli sistemin yüksek basınçlı kapaklı kondüitler olduğu belirlenmiştir (Baylar vd. 2007). Bunun sebebi ise yüksek basınçlı kapaklı kondüitlerin çalışma prensibi gereği, kompresör veya ekstra bir enerji kullanmadan çok büyük debilerdeki havayı küçük kabarcıklar halinde suya kazandırması ve buna bağlı olarak yüksek oranlarda oksijen transfer verimi sağlamasıdır. Literatür kapsamlı bir şekilde incelendiğinde basınçlı kondüitler üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda enkesit ve kapak geometrilerinin hava giriş verimleri üzerindeki etkilerinin araştırılmadığı görülecektir. Buradan yola çıkarak bu tez çalışmasında su mühendisliğinde havalandırma işlemi konusunda mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olabilecek basınçlı kondüitlerin enkesit ve kapak geometrileri, boru daralmaları ve konduit uzunlukları gibi fiziksel parametrelerin havalandırma performansı üzerindeki etkilerini inceleyerek bu sistemin daha verimli hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma yukarıda belirtilen amaç ile aşağıda belirtilen adımları kapsayacaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde suların havalandırılmasında kullanılan havalandırma yöntemlerinden bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde tez çalışmasına konu olan kapaklı kondüitlerin çalışma mekanizmalarından ve havalandırma işleminin gerçekleşmesine yardımcı olan hidrolik sıçrama kavramından bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde gaz transfer sürecinden ve geliştirilen teorilerden kısaca açıklanmıştır. Beşinci bölümde laboratuvardaki deney sistemi, ölçüm aletleri ve kullanılan metot hakkında detaylı bilgi sunulmuştur. Altıncı bölümde, elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması, son bölümde ise elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmış ve gelecekteki çalışmalar için fikir verilmeye çalışılmıştır.

2. SULARIN HAVALANDIRILMASI

Akarsu, göl ve rezervuarların bünyesinde bulundurduğu çözülmüş oksijen konsantrasyonu canlıların solunumu, organik maddelerin ayrışması gibi birçok fiziksel ve biyolojik nedenlerden dolayı azalır. Azalan oksijenin hava ve bitkilerin asimilasyonu sonucunda meydana gelen oksijenle yerine getirilememesi ile su içerisindeki canlı türleri büyük zarar görmektedir. Ekolojik hayatı tehdit eden bu durumun azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılabilmesi için suların havalandırılması gerekmektedir.

Havalandırma, damlaları veya su tabakalarını havaya maruz bırakarak veya küçük hava kabarcıklarını su içerisinde yükselterek hava ve suyun yakın temas halinde bulunmasını sağlama işlemidir. Bir su arıtma uygulaması olan havalandırma;

- Su içerisinde istenmeyen tat ve kokuya neden olan organik madde konsantrasyonunu azaltmak ve bir dereceye kadar organik maddeleri okside etmek için,
- Arıtma maliyetini etkileyecek maddeleri ortadan kaldırmak için,
- Oksidasyon ve/veya dezenfeksiyon için suya, ozon veya klor gazı eklemek için,
- Suyu oksijen eklemek için,
- Kuyu sularında bulunan demir ve manganizi ortaya çıkararak daha sonra arıtılmasını sağlamak için,
- Sudan amonyağı kaldırmak için kullanılabilir. (Dyksen, 2005; Erasmus, 2014).

2.1. Havalandırma Sistemleri

Suların havalandırılmasında kullanılan birçok sistem mevcuttur. Bu sistemlerde ya su havadan geçirilerek ya da hava sudan geçirilerek oksijen transferi gerçekleştirilmektedir. Kullanılacak olan havalandırma sisteminin seçiminde sudan giderilmesi ya da suya kazandırılması amaçlanan maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, hava ile su arasındaki temas süresi, su ve hava sıcaklıkları, mevcut ara yüzey alanı gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Kısa, 2016). Havalandırma sistemleri 4 temel grupta ele alınabilirler.

Bunlar;

- a) Cazibeli havalandırma sistemleri,

- b) Basınçlı havalandırma sistemleri,
- c) Mekanik havalandırma sistemleri,
- d) Difüzörlü havalandırma sistemleri

a) Cazibeli Havalandırma Sistemleri

Bu tür sistemlerde su belirli bir yükseklikten düşürülerek küçük kabarcıklar halinde dağılması sağlanır. Böylelikle etkin yüzey alanı artırılarak gaz transferinin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi sağlanır. Sprey havalandırıcılar, koni havalandırıcılar, tepsi tipi havalandırıcılar, dolgulu kuleler ve kaskat havalandırıcılar sıklıkla kullanılan sistemlerdir.

a1. Sprey Havalandırıcılar

Fıskiyeli havalandırıcılar olarak da adlandırılan bu sistem bir tank içerisinde farklı tiplerde ağızlıklara sahip olabilen nozullar veya boru şebekesi ile suyun püskürtülerek damlacıklar halinde dökülmesi sırasında havalandırma işleminin gerçekleştiği sistemlerdir. Su düşey veya eğimli bir açı ile püskürtülür. Bu sırada su küçük damlacıklar halinde yayılır. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi hava ile temas yüzeyi artırılarak gaz transferi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilir. Bu tür sistemler ayrıca su bünyesindeki karbon dioksitin uzaklaştırılmasında da yüksek verimle kullanılabilirler. Ancak geniş alan ihtiyacından dolayı kullanımı kısıtlanmaktadır (Eroğlu, 1991- Kısa, 2016).



Şekil 2.1 Sprey Havalandırıcılar (<http://www.snm.com.tr>)

a2. Kaskat ve Koni Havalandırıcılar

Kaskat havalandırıcılar su tasfiyesinde en çok kullanılan havalandırıcı çeşididir (Şekil 2.2). Basamak sayısı ve yüksekliği duruma göre ayarlanabilen bu sistemlerde suyun

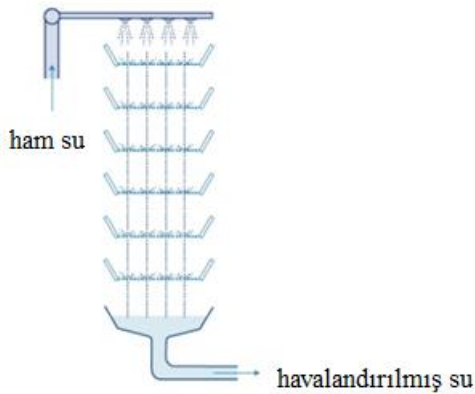
basamaklar üzerinden cazibesiyle akması sağlanır. Su yüzeyinde oluşan ince su filmi sayesinde gaz transfer işlemi gerçekleşir. Bu tür sistemlerde en çok karşılaşılan problem ise korozyon ve alg birikimidir (Eroğlu, 1991- Kısa, 2016).



Şekil 2.2. Balçova Barajı Havalandırma Kaskatları (www.izsu.gov.tr)

a3. Tepsi-tipi Havalandırıcılar

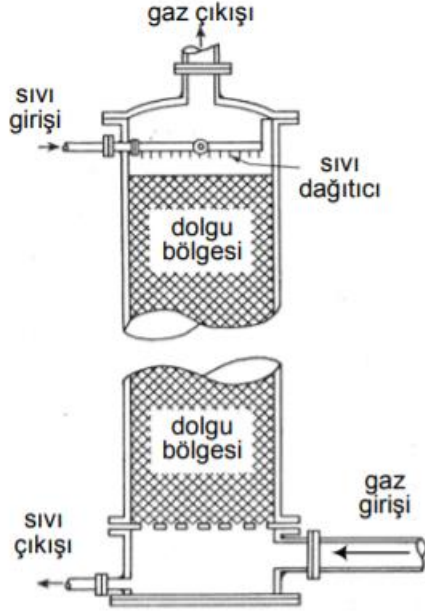
Bu sistem yeraltı sularından karbon dioksitin giderilmesi ve oksijen kazandırılması amacıyla sıklıkla kullanılır. Bu sistemlerde suyun, kapalı bir reaktörün üstünden beslenerek, yukarıdan aşağıya doğru belirli aralıklarla dizilmiş perfore tepsiyelerden dökülmesi sağlanarak havalandırma işlemi gerçekleştirilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Tepsi tipi Havalandırıcı

a4. Dolgulu Kuleler

Dolgulu kuleler genellikle uçucu organik bileşiklerin sudan ayrılması amacıyla kullanılırlar. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi sistem altta gaz girişi, üstte bir sıvı girişi, altta ve üstte sıvı ve gaz çıkışları ve inert katı şekillerle yapılan beslemenin kütlesinin yer aldığı silindirik bir kolon ya da kuleden meydana gelmektedir.



Şekil 2.4 Dolgulu Kule (URL-5, www.bayar.edu.tr)

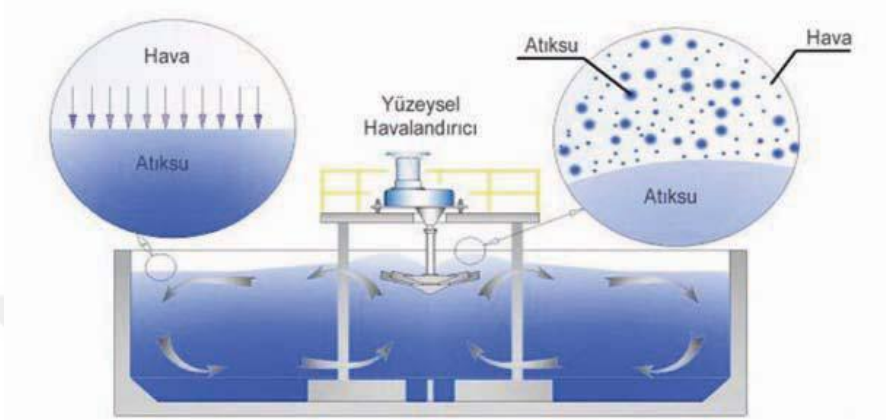
b. Basıncı Havalandırma Sistemleri

Bu sistemlerde hava suya basınçlı olarak temas ettirildiğinden dolayı gaz transfer verimi oldukça yüksektir. Basıncı havalandırma sistemlerini iki gruba ayırmak mümkündür. Birinci grupta içerisinde basınçlı hava bulunan tanka su spreylendikten sonra havalandırılan su tank tabanından tahliye edilir. İkinci grupta ise basınçlı bir su borusunun içerisine hava emdirilerek hava kabarcıkları oluşması sağlanır. Basıncı havalandırma sistemleri, demir ve manganın giderilmesinden önce ön arıtım sistemi olarak kullanılırlar (Kısa, 2016)).

c.) Mekanik Havalandırma Sistemleri

Mekanik havalandırma sistemlerinde su hava enjeksiyonuyla ve ya pedallar yardımıyla karıştırılır. Yüzeysel ve batık havalandırıcılar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Yüzeysel havalandırıcılar atıksu arıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu

sistemler içme suyu arıtımında da tat ve koku giderimi amacı ile kullanılmaktadır (Şekil 2.5) Batık havalandırıcılar ise suyu yüzeyden çekerken aynı zamanda su içerisine hava emişi de sağlar. Bu özelliğinden dolayı çalışma prensibi olarak yüzeysel havalandırıcıların tam tersidir.



Şekil 2.5 Yüzeysel mekanik havalandırıcı

d. Difüzörlü Havalandırma Sistemleri

Difüzörlü havalandırma sistemlerinde gaz transferi su içerisine hava kabarcıklarının emilimi ile mümkün olmaktadır (Şekil 2.6). Kabarcıklı havalandırma sistemleri olarak da adlandırılırlar. Blower tipi havalandırıcılar, ince kabarcıklı havalandırıcılar, mikro kabarcık plaka difüzörleri, membran difüzörleri bu gruba ait havalandırıcılardır.



Şekil 2.6 Difüzörlü Havalandırıcılar



Şekil 2.8 Serbest yüzeyli akım

Su taşıyan bir hidrolik yapının içindeki akımın, tamamen dolu olarak, atmosferle teması olmadan akmasına ise basınçlı akım denir (Şekil 2.9). Bu tür akımlar; boru, tünel, galeri, kuyu ve benzeri yapılarda meydana gelebilir. Basınçlı akımların meydana geldiği hidrolik yapılar, herhangi bir yerinden delindiğinde, içerisindeki su basınçlı olarak dışarı çıkar. Su jetleri, venturiler ve konduitler suların havalandırılmasında kullanılacak basınçlı akım sistemlerine örnek olarak verilebilir (Baylar 2007b).



Şekil 2.9 Basınçlı akım

Birçok araştırmacı suların havalandırılmasında hidrolik yapıların etkisini araştırmak için çalışmalar gerçekleştirdi. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen eşitliklerden bazıları Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Hidrolik Yapılarda Oksijen Transfer Verimini Tahmin Eden Eşitlikler (Gulliver vd. 1998)

Araştırmacılar	Geliştirilen Denklemler	Çalışma Hakkında Kısa Bilgi
Avery ve Novak (1978)	$E_{20} = 1 - \left[\frac{1}{1 + 0.24 * 10^{-4} F^{1.78} R^{0.53}} \right]^{1.115}$	Savaklar için geliştirilmiştir.
Thene (1988)	$E_{20} = 1 - \left[\frac{1}{1 + 0.32 * 10^{-5} F^{2.08} R^{0.63} \left(1 - 0.6 \exp \left(-3.7 \frac{H}{h} \right) \right)} \right]^{1.115}$	Avery ve Novak'ın (1978) denklemine kuyruk suyu derinliği eklenmiştir.
Holler (1970)	$E_{20} = 1 - \left[\frac{1}{1 + 0.213h} \right]$	Savak olarak geliştirilen radyal kapaklar için geliştirilmiştir.
Markofsky and Kobus (1978)	$E_{20} = 1 - \left[\frac{1}{1 + 0.1F^{1.2}} \right]^{1.115}$	Reynolds sayısı $5*10^5$ 'den daha büyük olan akımlardaki savaklar için geliştirilmiştir.
Nakasone (1987)	$E_{20} = 1 - \exp \left[-2.61(h + H_c)^{1.31} q^{0.428} H^{0.310} \right]$ <p>($h+1.5H_c \leq 1.2$ m ve $q \leq 0.65$ m²/s)</p> $E_{20} = 1 - \exp \left[-2.86(h + H_c)^{0.816} q^{0.428} H^{0.310} \right]$ <p>($h+1.5H_c > 1.2$ m ve $q \leq 0.65$ m²/s)</p> $E_{20} = 1 - \exp \left[-0.28(h + H_c)^{0.31} q^{-0.363} H^{0.310} \right]$ <p>($h+1.5H_c \leq 1.2$ m ve $q > 0.65$ m²/s)</p> $E_{20} = 1 - \exp \left[-0.30(h + H_c)^{0.816} q^{-0.363} H^{0.310} \right]$ <p>($h+1.5H_c > 1.2$ m ve $q > 0.65$ m²/s)</p>	Savaklar için geliştirildi. Farklı akım rejimlerini tanımlamak için dört denklem kullandı.
Preul and Huller (1969)	$E_{20} = 1 - \frac{1}{1 + 666F^{-3.33}}$	Kapaklar için geliştirildi.
Rindels and Gulliver (1991)	$E_{20} = 1 - \exp \left[\frac{0.26h}{1 + 0.22q} - 0.20H \right]$	Ogee kreti için geliştirildi.
Thene (1988)	$E_{20} = 1 - \exp \left[-0.16F^{2.69} \frac{t^2}{q} \left(1 - \frac{v_0}{\sqrt{2gh}} \right)^{-1} \right]$	Ervine ve Elsawy'nin (1975) ve Esawy ve McKeogh'nin (1977) çalışmalarının hava girişi ilişkilerinin uzantısıdır. Savaklar için geliştirildi.
Tsivoglou and Wallace (1972)	$E_{20} = 1 - \exp[-0.18h]$	Nehirler için geliştirilmiştir ancak hidrolik yapılara kolaylıkla uyarlanabilir.
Foree (1976)	$E_{20} = 1 - \exp[-0.48h]$	Küçük yapılarda hava girişini hesaplamak için Tsivoglou ve Wallace'nin geliştirdiği eşitliği değiştirdi.
Wilhems and Smith (1981)	$E_{20} = 1 - \exp[-0.14h]$	Kapaklı kondüitler için Tsivoglou ve Wallace'nin geliştirdiği eşitliği düzenledi.
Wilhems (1988)	$E_{20} = 1 - \exp[-0.0086(hq/s) - 0.19]$	Kapaklı yapılar için geliştirildi.

McKeogh ve Ervine, (1981) su jetlerinin hava sürüklenme oranları üzerine yapmış oldukları çalışmada pürüzlü ve düz jet olmak üzere iki farklı jet kullanmıştır. Deney sonuçlarına göre iki jetinde farklı sürüklenme modelleri oluşturduklarını belirtmişlerdir.

Baylar, (2002) tez çalışmasında farklı tiplerde savaklar kullanarak bu savakların oksijen transfer verimini incelemiştir. Hem geri devirli hem de geri devirsiz sistemlerde gerçekleştirdiği deneysel çalışmada geri devirsiz sistemlerde oksijen transfer verimi açısından üçgen kesitli savağın daha iyi olduğunu, geri devirli sistemlerde ise dikdörtgen, trapez ve dairesel savağın yakın değerler aldığını ifade etmiştir.

İlçin, (2005) basamaklı dolusavaklara trapez ve dikdörtgen eşikler kullanarak oksijen transfer verimini araştırdığı deneysel çalışmada küçük su debilerinde oksijen transfer veriminin arttığını ve bu artışın belirli bir su debisine kadar olduğunu ve daha sonra azaldığını belirlemiştir. Ayrıca basamaklara yerleştirdiği eşiklerin oksijen verimini daha etkin hale getirdiğini ifade etmiştir.

Baylar vd. (2007a) suların havalandırma veriminin artırılmasında basınçlı akım sistemlerinin etkilerini inceledikleri çalışmada, diğer sistemlere kıyasla yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin havalandırma performansını daha fazla arttırdığını belirlemişlerdir. Buradan yola çıkarak bu tez çalışmasında suların havalandırılmasında diğer sistemlere göre daha iyi performans gösteren basınçlı konduitler üzerinde bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilerek bazı fiziksel parametrelerin etkisi araştırılacak ve hava giriş oranının maksimum olduğu parametreler belirlenecektir.

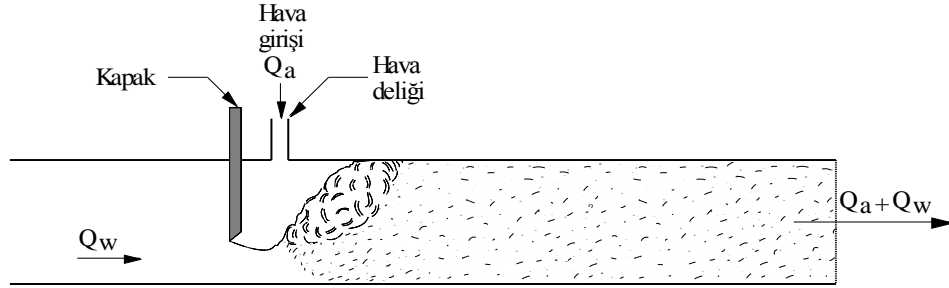
3. KAPAKLI KONDUİTLER İLE SULARIN HAVALANDIRILMASI

Kapaklı konduitler, baraj rezervuarının acil durumlarda boşaltılması, rezervuardaki su seviyesinin düzenlenmesi, baraj tabanında sediment birikiminin önlenmesi gibi çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır (Najavi vd. 2008). Kapaklı konduitlerde kapak altından geçen akımın hızı, kesitte meydana gelen daralma nedeniyle artar. Yüksek hızdaki akım, bünyesinde barındırdığı mikro kabarcıkların etkisiyle kavitasyon gibi çeşitli yapısal zararlara sebep olabilir (Tullis, 1989). Kavitasyon, konduit içerisindeki basıncın buhar basınç değerine düştüğü anda oluşmaya başlar. Gittikçe büyüyen kavitasyon kabarcıkları akımla birlikte hareket ederken basıncın tekrar artması halinde bir anda patlar ve Şekil 3.1’de görüldüğü gibi çok kısa zamanda büyük bir hasar oluşturur (Jahani, 2011).



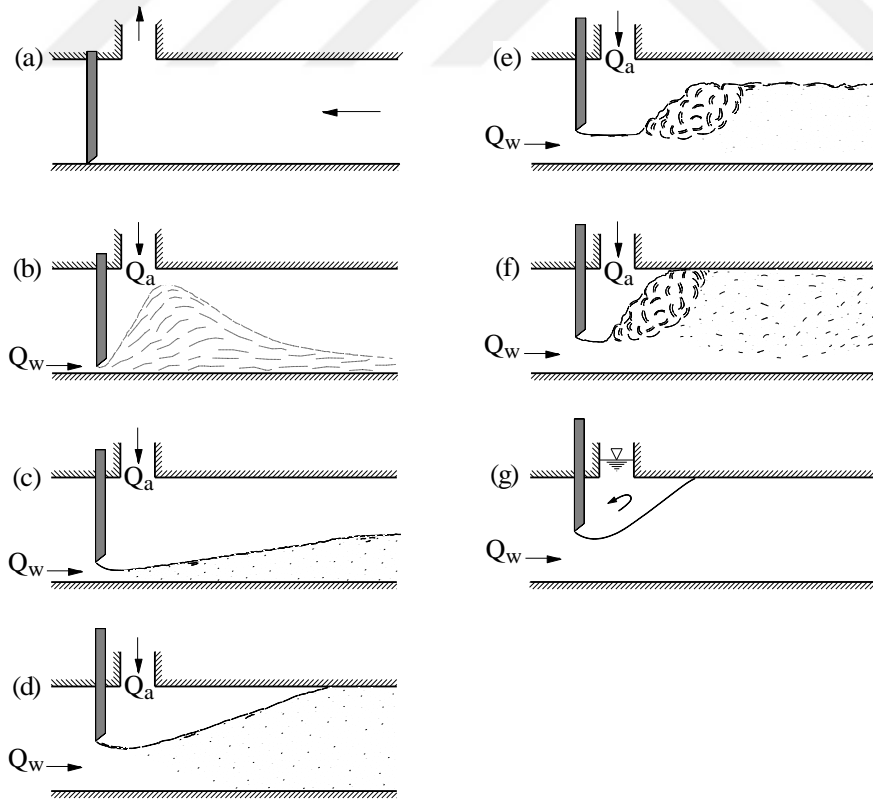
Şekil 3.1. Glen Kanyon Barajında meydana gelen kavitasyon hasarı (1983)

Bu zararı azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla akım hızının yüksek olduğu kapak mansabına hava bacası yerleştirilir. Hava bacası sayesinde ortamda bulunan hava boru içerisine çekilir ve kapak mansap basıncı daha güvenli seviyelerde tutulur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kapaklı konduitlerde iki fazlı akım

Su debisi ve konduit eğimine bağlı olarak çekilen hava debisi konduit içerisindeki akışın şeklini değiştirmektedir (Falvey 1980). Yapılan araştırmalar sonucunda kapaklı konduitlerde oluşabilecek akım tipleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir.

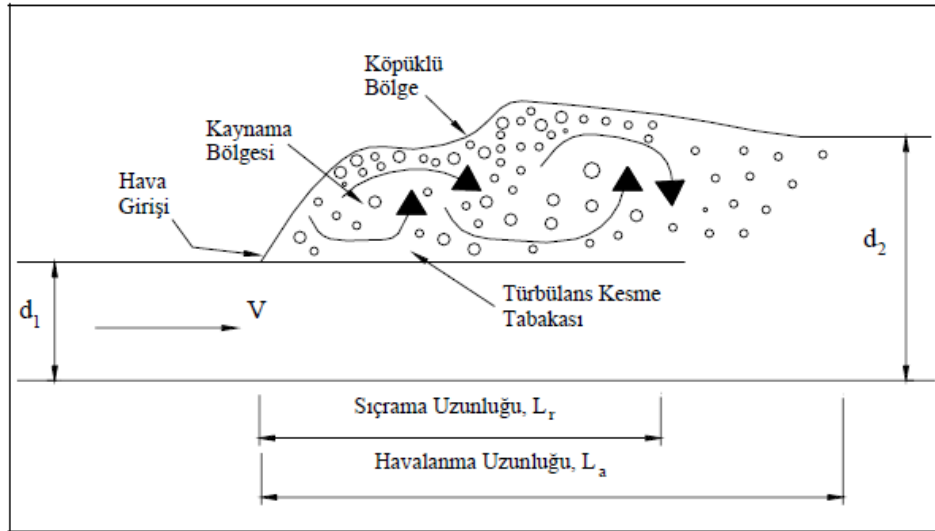


Şekil 3.3 Kapaklı konduitlerde oluşabilecek akım tiplerinin sınıflandırılması:

- a) sadece hava akımı;
- b) sprey akım (püskürme şeklinde);
- c) serbest yüzeyli akım;
- d) köpüklü akım;
- e) hidrolik sıçrama-1;
- f) hidrolik sıçrama-2;
- g) sadece su akımı [Sharma, 1976]

Ortamda bulunan ve açılan hava bacası yardımıyla konduit içerisine çekilen hava, hidrolik sıçramayla birlikte su ile karışarak iki fazlı akım meydana getirir. Hidrolik sıçrama, kritik olmayan akıştan süper kritik akışa geçişte yüksek türbülans dolayısıyla havayı akışa sürükleyen doğal bir havalandırma sürecidir. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi hidrolik sıçramada hava-su akışı üç bölgede oluşur:

1. Ufak hacimli hava kabarcıkları ile oluşan bir türbülans kesme tabakası
2. Kabarcıkların birleşmesi ve büyük ölçekli girdapların gelişmesiyle meydana gelen bir kaynama akış bölgesi,
3. Serbest yüzey üzerinde çok yüklü hava tabakasından oluşan köpüklü tabaka



Şekil 3.4. Hidrolik sıçramada hava-su akış bölgesi (Aras, 2009)

Hidrolik sıçrama sırasında gaz transferinin büyük kısmı, hava-su arayüzü alanının artırılmasına sebep olan ve küçük boyutlu hava kabarcıklarından meydana gelen türbülans kesme tabakasında meydana gelmektedir (Chanson, 1995a). Bu türbülans kesme bölgesi;

büyük hava hacimleri, küçük hava kabarcıkları ve bunlardan dolayı oluşan ara birim tarafından belirlenir. Bu arayüz alanı şu şekilde belirtilebilir:

$$a = 6 * \frac{C}{d_{ab}} \quad (3.1)$$

Burada;

a : hava-su arayüz alanı (m²),

C : sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L),

d_{ab} : hava kabarcığının boyutunu ifade etmektedir.

Chanson'ın (1995a) yapmış olduğu çalışmada türbülans kesme bölgesindeki maksimum ve ortalama hava kabarcığı boyutlarını analiz etmiş ve akış hızının artması ile maksimum kabarcık boyutunun azaldığını belirlemiştir ve türbülanslı kesme bölgesinde maksimum ve ortalama hava kabarcık boyutlarını şu şekilde ilişkilendirmiştir:

$$(d_{ab})_{\max} = 0.230 * V_1^{-3.93} \quad (1.5 < V_1 < 5 \text{ m/s}) \quad (3.2)$$

$$(d_{ab})_{\text{ort}} = 0.051 * V_1^{-3.08} \quad (1.5 < V_1 < 5 \text{ m/s}) \quad (3.3)$$

Türbülanslı kesme bölgesinde hava-su arayüz alanının büyüklüğe göre ifadesi;

$$a \approx 6 * \frac{(C_{\max})}{(d_{ab})_{\max}} \quad (3.4)$$

Sıçrama sonucunda türbülans kesme bölgesinde meydana gelen maksimum hava hacmi C_{max} Resch ve Leutheusser'in (1972) yapmış olduğu çalışmada aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$C_{\max} = 0.143 * (V_1 - 0.21) \quad (3.5)$$

Havalandırma süresi t ise aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$t \approx 2 \frac{L_a}{V_1} \quad (3.6)$$

Burada L_a ; havalanma uzunluğu (m) olarak ifade edilebilir.

Bu denklem, hava kabarcıklarının havalanmasının ortalama bir hızla, havalanma bölgesinin üzerindeki $V_1/2$ 'ye denk olan bir hızla havalanmakta olduğunu gösterir. Bu tahmin ile hidrolik sıçramadaki toplam transfer şöyle ifade edilebilir:

$$r \approx \exp \left[12 \cdot K_L \frac{C_{\max}}{(d_{ab})_{\max}} \frac{L_a}{V_1} \right] \quad (3.7)$$

Burada r ; oksijen eksiklik oranını ifade etmektedir.



4. GAZ TRANSFER SÜRECİ

Sularda gaz transferi; suya klor ve oksijen vermek veya su içerisinde istenmeyen CO₂ gibi gazların uzaklaştırılması için yapılır. Bu tez çalışmasındaki amaç su içerisinde bulunan çözünmüş oksijen miktarının artırılmasıdır.

Suyun oksijenasyonu, oksijen molekülünün bir hava-su arayüzüne girmesini ve ardından bu oksijenin sıvının hacmine dağılımını içeren tamamen fiziksel bir işlemdir. Hava-su arayüzeyi iki farklı şekilde oluşabilmektedir (Şekil 4.1). Bunlardan ilki moleküler difüzyon olarak ifade edilen açıkta kalan suyun yüzey kısmında meydana gelmektedir. İkincisi ise Eddy difüzyonu olarak ifade edilir ve bu durum fiziksel karıştırma sonucu havanın suyun bünyesine girmesi ile meydana gelmektedir. Bir ortamdan diğerine gaz difüzyonunu olabilmesi için iki ortamdaki gazın aktif basınçları arasında fark olması gerekmektedir. Hava ile sıvı arasında aktif basınç gradyanı sıfır ise sıvının doymuş olduğu söylenebilir. Moleküler difüzyon ile Eddy difüzyonu aynı anda meydana gelebileceği için genel bir difüzyon katsayısı (Avery, 1976):

$$D_T = D_M + D_E \quad (4.1)$$

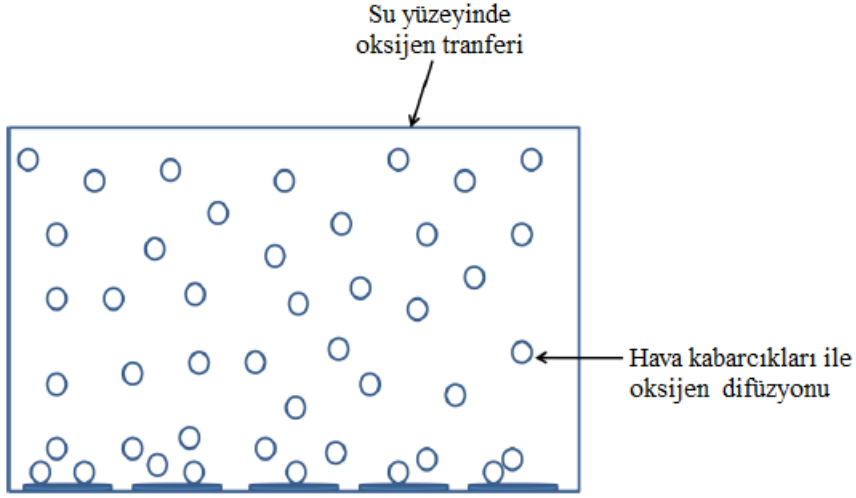
şeklinde ifade edilebilir.

Burada;

D_T : Toplam difüzyonu (m²/s),

D_M : Moleküler difüzyonu (m²/s),

D_E : Eddy Difüzyonunu (m²/s) ifade etmektedir.



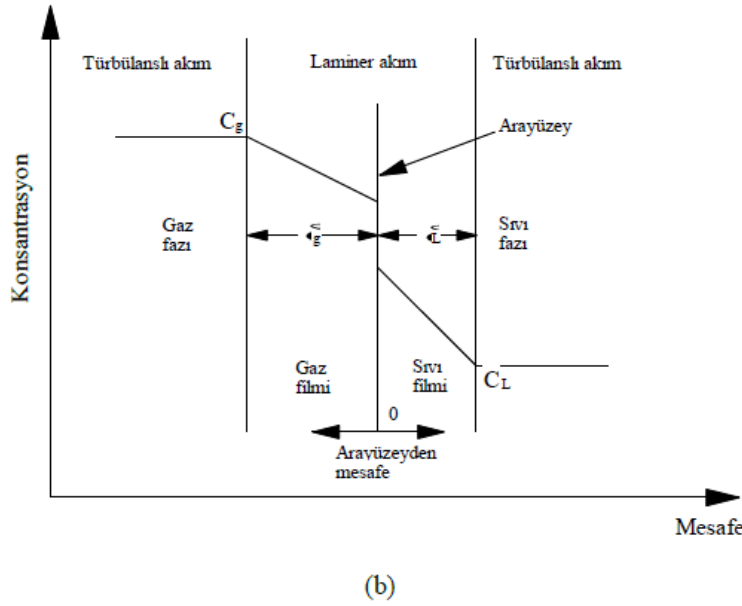
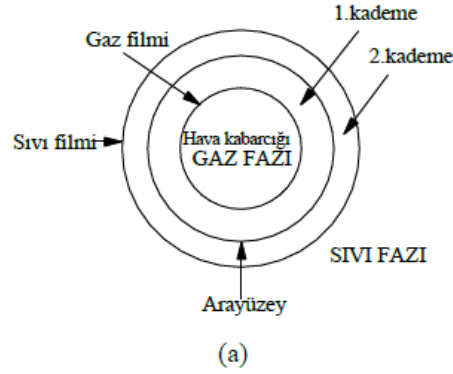
Şekil 4.1. Moleküler ve Eddy Diffüzyonunun oluşma şekli

Sıvılar ile gazlar arasında meydana gelen bu kütle transfer işlemini daha iyi kavrayabilmek için bazı teoriler geliştirilmiştir. Aşağıdaki bölümde bu teoriler hakkında bilgiler verilmektedir.

4.1. Gaz Transfer Teorileri

4.1.1 Çift Film Teorisi – LEWIS and WHITMAN (1924)

Lewis ve Whitman (1924) gaz-sıvı ara yüzeyinin her iki yanında durgunlaşmış gaz ve sıvı tabakalarından oluşmuş iki tabakanın mevcut olduğunu belirlemiş ve sıvı ile gaz arasındaki temas modelini görselleştirmişlerdir (Şekil 4.2). Gaz transferi bu tabakalar boyunca nispeten yavaş bir şekilde difüzyon işlemi ile gerçekleşmektedir (Avery, 1976).



Şekil 4.2. Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) grafiksel gösterimi (Baylar, 2002)

Suların havalandırılmasında karşılaşılan sistemlerde genel olarak suda az çözünen gazlar söz konusu olup gaz transfer hızı, gazın denge halindeki konsantrasyonu ve mevcut konsantrasyonu arasındaki farkla orantılıdır. Bu tür sistemler için gaz transfer hızı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_s - C) \quad (4.2)$$

Burada;

$\frac{dm}{dt}$: kütle transfer hızı (g/s), t: kütle transferinin meydana gelme süresi (s), K_g :

kütle transfer katsayısı, A: kütle transfer alanı (m^2), C_s : sudaki çözülmüş oksijenin

doygunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C: sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

Kütle transfer hızı, konsantrasyon değişim hızı cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} \quad (4.3)$$

Burada; V : transfer olunan gaz hacmidir (m³). Bu ifade (4.2) nolu denklemde yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dC}{dt} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (4.4)$$

elde edilir. Suların havalandırılması işlemlerinde gaz transferine esas direnç sıvı tarafı filmi içerisindedir. Bu nedenle $\frac{A}{V}$ yerine özgül ara kesit yüzeyini gösteren "a" ve K_g yerine ise sıvı film katsayısını gösteren "K_L" kütle transfer katsayısı kullanılır. Böylece (4.4) nolu denklem,

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (4.5)$$

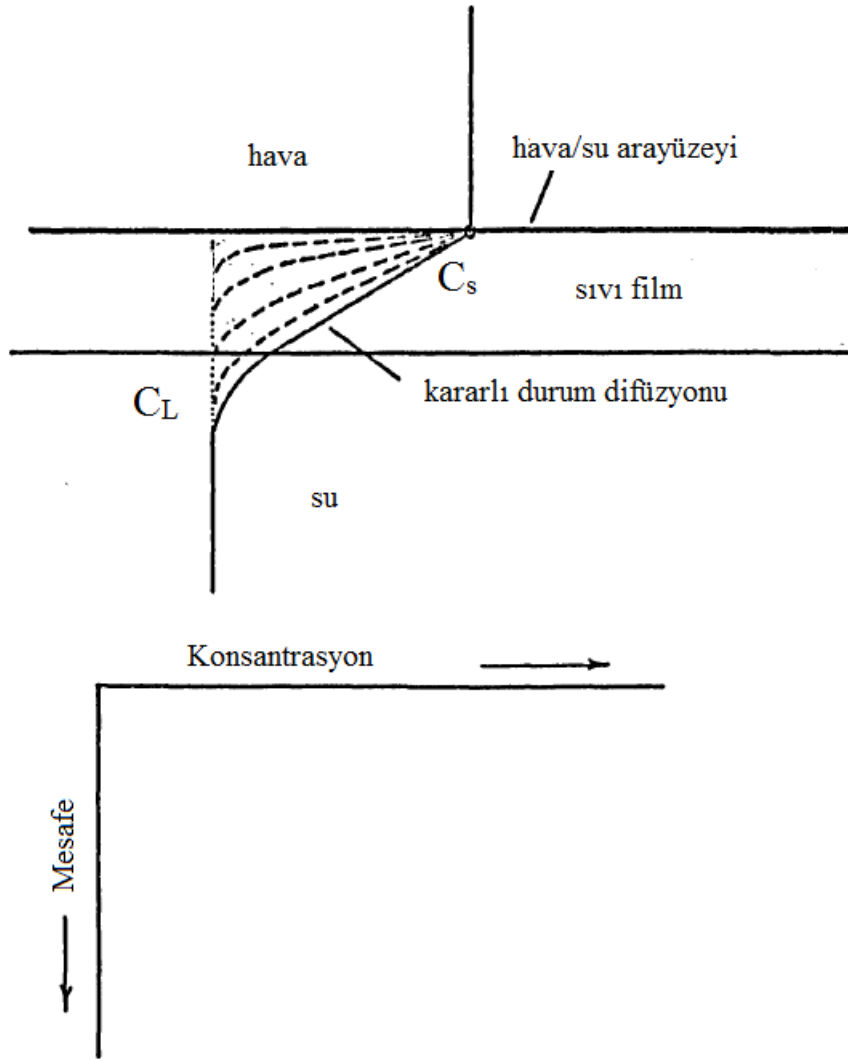
şeklinde yazılır. Burada; $\frac{dC}{dt}$: konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s), K_La: kütle transfer katsayısı, C_s: sudaki çözülmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C: sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. K_La zaman fonksiyonu olup (4.5) nolu denklemin hidrolik yapının membaındaki bir noktadan mansaba doğru integre edilmesinden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a dt \right] \quad (4.6)$$

Burada; C_u ve C_d: sırasıyla memba ve mansaptaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), r : oksijen eksiklik oranı ve t_u ile t_d : sırasıyla kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği sürelerdir (s). C_u ile C_d deneysel olarak ölçülür ve C_s ise literatürdeki denklemler veya tablolar yardımıyla bulunur.

4.1.2. Penetrasyon Teorisi –HIGBIE (1935)

Higbie'nin teorisi esas itibariyle sıvı film katsayısı ile ilgilidir ve bu nedenle gaz çözünlüklerinin düşük olduğu yerlerde uygulanabilir. Higbie geliştirdiği teoride Lewis ve Whitman'ın teorisinin gazın sıvı filme penetrasyonu için yani film boyunca kararlı hal aktarımının sağlanması için gereken sürenin sağlandıktan sonra uygulanabileceğini belirtti. Çoğu durumda kararlı hal koşullarının oluşmadığını ve bu sebeple sıvı film direncinin penetrasyon süresi boyunca olanlara bağlı olduğunu belirlemiştir. HIGBIE'nin modeli, arayüzde gaza kısaca maruz bırakılan sıvıları görselleştirmektedir. Bu kısa süreli maruz kalma sonucunda gaz sıvı içerisine dağılır, ancak film teorisinin aksine, bu gaz "penetrasyonu" kararsız difüzyondan biridir ve maruz kalma süresi kararlı durumun sağlanmasına izin verecek uzunlukta olmadıkça sabit kalmanın sağlanmasına izin verecek kadar büyük olmadığı sürece bu şekilde kalacağını belirtmiştir. Şekil 4.3. Higbie'nin gaz nüfuz etme modelini tasvir etmektedir. Sıvının başlangıçtaki gaz konsantrasyonu akışkanın ana gövdesindeki değer yani $C_0=C_L$ dir. Gaz filminin oluşmadığı kabul edildiği için sıvı arayüzü böylece ani olarak gaz ile doyurulur. Çözünmüş gaz ile sıvı filmin nüfuz etme süreci Şekil 4.3'te kesik çizgilerle gösterilmiştir. Eğer penetrasyon kesintiye uğramazsa, tam çizginin gösterdiği durum elde edilir. Bu çizgi, LEWIS ve WHITMAN teorisinin dayandığı kararlı durum dağılımı durumunu temsil eder (Avery, 1976).



Şekil 4.3. Sıvı filmi boyunca meydana gelen kararlı ve kararsız hal difüzyonu

Konsantrasyon gradyanı;

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{C_s - C_L}{\sqrt{\pi D_m t}} \quad (4.7)$$

Fick yasası uygulanırsa;

$$\frac{1}{A} \frac{dM}{dt} = \sqrt{\frac{D_m}{\pi t}} (C_s - C_L) \quad (4.8)$$

Bu ifade maruz kalma süresi boyunca kararsız gaz aktarım hızı verir.

Penetrasyon teorisi tüm akışkan elemanlar için sabit bir maruz kalma süresi varsayar yani $t=t_c$. Böylece t_c zamanında akışkana aktarılan gaz miktarı;

$$M = \int_0^{t_c} \sqrt{\frac{D_m}{\pi t}} A(C_S - C_L) dt \quad (4.9)$$

$$= 2A(C_S - C_L) \sqrt{\frac{D_m t_c}{\pi}} \quad (4.10)$$

t_c boyunca meydana gelen ortalama transfer oranı;

$$M_o = \frac{M}{t_c} = 2 \sqrt{\frac{D_m}{\pi t_c}} A(C_S - C_L) \quad (4.11)$$

Penetrasyon teorisi;

$$K_L = 2 \sqrt{\frac{D_m}{\pi t_c}} \quad (4.12)$$

Burada t_c yerine sabit olduğu varsayılan yüzey yenileme oranı yani r_c yazılacak olursa;

$$K_L = 2 \sqrt{\frac{D_m r_c}{\pi}} \quad (4.13)$$

4.1.3. Yüzey Yenilenme Teorisi-Danckwerts (1951)

Higbie'nin penetrasyon teorisine benzer olarak, Danckwerts türbülanslı bir sıvıda yukarıda bahsedildiği gibi bir filmin varlığının imkânsız olduğunu belirtti. Bununla birlikte çift film teorisinde belirlenen eşitlik 4.2'nin verilen akım koşullarında kullanımının uygun olduğunu belirlemiştir. Danckwerts, sıvı yüzeyinin sürekli taze sıvıyla değiştirildiğini varsaymaktadır ve eşitlik 4.8 de verilen gaz absorpsiyon oranını kullanmaktadır. Bu, gazın sıvı içerisine karasız difüzyonu olarak ifade edilir. Danckwerts'in teorisinde suyun maruz

kalma süresi sıfırdan sonsuza kadar değişmektedir. Bu sebeple Higbie'nin maruz kalma süresinin sabit olduğu varsayımından farklıdır. Böylece gaz absorpsiyon oranı (Avery 1976);

$$\frac{dM}{dt} = Ase^{-st} \sqrt{\frac{D_m}{\pi c}} (C_s - C_L) dt \quad (4.14)$$

Böylece ortalama absorpsiyon hızı

$$M_0 = \int_0^{\infty} Ase^{-st} \sqrt{\frac{D_m}{\pi c}} (C_s - C_L) dt \quad (4.15)$$

$$M_0 = (C_s - C_L) \sqrt{D_m s} \quad (4.16)$$

Buradan tahmini yüzey yenilenme teorisi;

$$K_L = \sqrt{D_m s} \quad (4.17)$$

4.1.4. Film/Yüzey Yenilenme Teorisi- Dobbins (1962)

Bu teori film teorisi ile yüzey yenilenme teorisinin tek bir formülle birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Dobbins, çok yavaş akan nehirlerde düşük türbülanslı akım koşulları için, sıvı yüzeyinin maruz kalma süresi kararlı durum difüzyonuna erişinceye kadar uzun süreli olabildiğini varsaymıştır. Ayrıca, bu koşullar altında kararsız difüzyon sırasında penetrasyon derinliği, yüzeyin ve akışkanın ana gövdesinin ötesinde moleküler ve eddy difüzyon bölgesi içine erişebileceğini, yani film teorisinin uygulanabileceğini belirtmiştir. Bu teoride yüzey yenilenme teorisinin kabulleri uygulanır ve gaz transfer katsayısı ortalama yüzey yenilenme hızının ve gaz transfer katsayısının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir (Avery, 1976).

$$K_L = \sqrt{D_m s} \text{Coth} \sqrt{\frac{s d_L^2}{D_m}} \quad (4.18)$$

Gaz transferini açıklayan birçok matematiksel model olmasına rağmen 1924 yılında Lewis ve Whitman tarafından gerçekleştirilen ve çift film teorisi olarak bilinen modelin gaz transferini en iyi tanımlayan model olduğu kabul edilir. Bu sebeple bu çalışmada da çift film teorisinin kabulleri kullanılmaktadır.

4.2. Oksijen Transfer Verimi

Gameson (1957) savak ve dolusavaklar ile suların havalandırılması üzerine yapmış olduğu çalışmada yapının oksijen kazandırma yani havalandırma yeteneğini tanımlamak için eşitlik 4.5'te belirtilen kütle transfer hızını integre ederek aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} \quad (4.19)$$

Burada r; oksijen eksiklik oranı, Oksijen kazandırma yeteneğini belirlenmesinde kullanılan bir diğer ifade ise oksijen transfer verimi olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi belirlenir.

$$E = \frac{C_u - C_s}{C_d - C_s} = 1 - \frac{1}{r} \quad (4.20)$$

Burada E; oksijen transfer verimini ifade etmektedir. E= 0 olursa oksijen transferinin olmadığı, E=1 olursa oksijen transferi sonucunda su doygunluğa ulaşır (Chanson, 1995b).

Gameson vd. (1958) savak modeli üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada su sıcaklığının oksijen transferi üzerindeki etkisini belirledi ve aşağıdaki eşitliği geliştirdi.

$$\ln(1 - E_{15}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.018(T - 15)} \quad (4.21)$$

Burada E₁₅; 15 °C'de ki oksijen transfer verimini, E; T °C'de ki oksijen transfer verimini ve T; su sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Holler (1971), ideal gaz karışımlarında meydana gelen reaksiyonların denge sabitlerinin sıcaklıkla ilişkilerini tanımlamak için türetilen denklemi oksijen transferinin sıcaklıkla ilişkisini tanımlamak için revize etti ve aşağıdaki eşitliği geliştirdi.

$$\ln(1 - E) = \ln(1 - E_{20})\theta^{T-20} \quad (4.22)$$

Burada sabit bir sayı olan $\theta=1.0241$ 'dir. Bu sabit sayı Elmore ve West (1961)'in karıştırılmış bir kaptaki gerçekleştirildiği bir dizi deneyden tayin edilmiş ve Holler tarafından hidrolik yapılarda oksijen transferinde kullanılabileceği belirlenmiştir (Gulliver vd. 1993).

Gulliver vd. (1990a), oksijen transferinin sıcaklıkla değişimini aşağıdaki eşitlikle ifade etmişlerdir.

$$E_{20} = 1 - (1 - E)^{1/f} \quad (4.23)$$

Burada f değeri aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

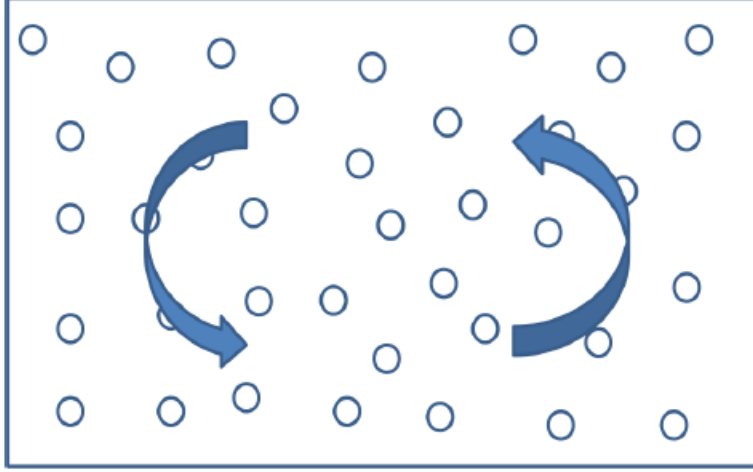
$$f = 1.0 + 0.02103(t - 20) + 8.261 * 10^5 (T - 20)^2 \quad (4.24)$$

4.3 Oksijen İletim Katsayısı

Oksijen iletim katsayısı $K_L a$ sıvı ve ya gaz faza ait sınır tabakalarının birinin veya her ikisinin gösterdiği dirençlerin etkisi altında olup akışkan birim hacmine isabet eden sıvı-gaz ara kesit yüzeyinin bir fonksiyonudur. Ayrıca oksijen iletim katsayısı türbülans ve sıcaklığın da etkisi altındadır (Baylar, 2002). Oksijen iletim katsayısının belirlenebilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak, havalandırma performansının değerlendirmek istenildiğinde genellikle standart metot kullanılmaktadır (ASCE, 2007). Bu metot her türlü havalandırma sistemi için uygulanabildiğinden dolayı tercih edilmektedir (McWhirter & Hutter, 1989).

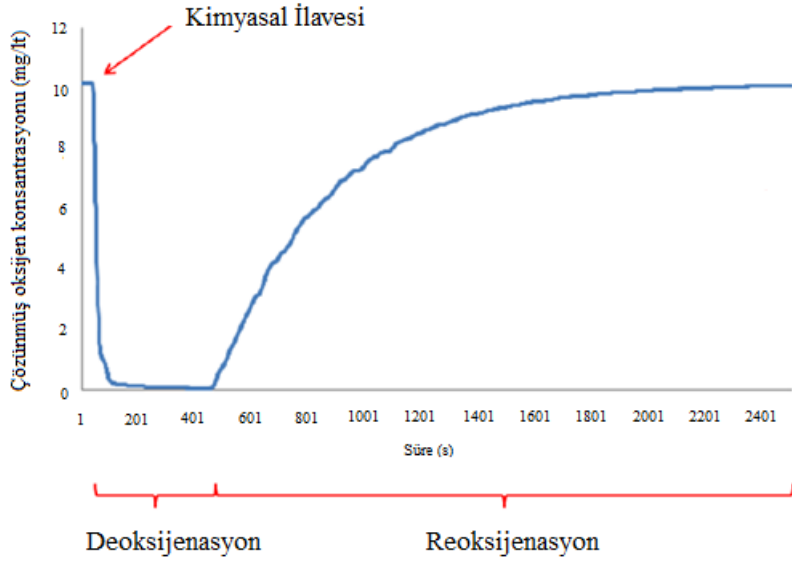
Standart metotta ister moleküler difüzyon isterse eddy difüzyonu olsun tanktaki su hacminin tamamen karıştığı ve oksijen dışında havada bulunan diğer gazların kütle transferini etkilemediği varsayılmaktadır ve elde edilen $K_L a$ değeri tüm oksijen transferini tanımlamaktadır (Şekil 4.4). Ayrıca bu metotla iletim katsayısının belirlenebilmesi için

bazı standart şartların oluşturulması gerekmektedir. “Bu şartlar; su sıcaklığının 20 °C ve 1 atm basınç altında olması, temiz çeşme suyu kullanılması ve çözülmüş oksijen konsantrasyonununun sıfır olması şeklinde sıralanabilir (Fandris, 2011).



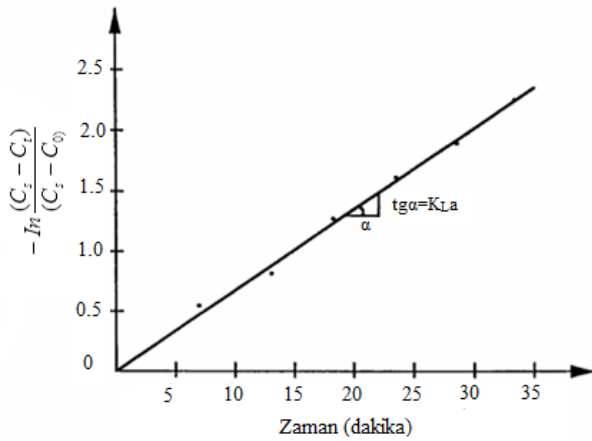
Şekil 4.4. Suyun karıştığını varsayan standart model

Oksijen iletim katsayısı $K_{L,a}$ 'nın belirlenebilmesi için sistem temiz musluk suyu ile doldurulur. Daha sonra çözülmüş oksijen konsantrasyonunu hemen hemen sıfıra düşene kadar su içerisine sodyum sülfite (Na_2SO_3) ve kobalt klorür ($CoCl_2$) ilave edilir. Bu işleme deoksijenasyon adı verilmektedir. Su havalandırmaya başlandıktan kısa bir süre sonra konsantrasyon çözülmüş oksijen satürasyon konsantrasyonuna yükselecektir (C_s). Bu değer su içerisinde ne kadar oksijenin çözünebileceği oksijen miktarını vermektedir. Bu işleme ise reoksijenasyon adı verilmektedir. Şekil 4.5'te deoksijenasyon ve reoksijenasyon süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Deoksijenasyon ve reoksijenasyon süreçleri

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu sıfıra yakın bir değer aldıktan sonra havalandırma işlemine başlanır ve belirli zaman aralıklarında oksijenmetre yardımıyla oksijen konsantrasyonu ölçülür. Elde edilen değerler yatay eksende geçen süre (dakika), dikey ekseninde $-\ln \frac{(C_s - C_t)}{(C_s - C_0)}$ olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasında geçen doğrunun eğimi oksijen iletim katsayısı olan $K_L a$ değerini verecektir (Şekil 4.6) (Baylar, 2002).



Şekil 4.6. $K_L a$ 'nın grafik yolla tayini

Standart şartlara göre belirlenmiş oksijen iletim katsayısının işletme şartlarına çevrilebilmesi için (Al-Alhamdy, 2006);

$$(K_L a)_T = (K_L a)_{20} (1,024)^{T-20} \quad (4.25)$$

ifadesi kullanılır.

Havalandırma performansının değerlendirilmesi için kullanılan üç farklı parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; standart oksijen transfer oranı SOTR, standart havalandırma verimi SAE, ve standart oksijen iletim verimi SOTE'dir. Tüm parametreler 20 °C'lik su sıcaklığı ve 1 atm'lik hava basıncı için tanımlanan standart parametreler ile ifade edilmiştir (ASCE, 2007).

4.3.1 Standart Oksijen Transfer Oranı-SOTR

Standart oksijen transfer oranı (SOTR), sıfır zamanındaki oksijen transfer oranını tanımlar. Standart koşullar için, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun sıfır zamanında sıfır olduğu kabul edilir. Birim süreye düşen kütle olarak ifade edilir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanır (ASCE, 2007).

$$SOTR = \frac{V}{n} \sum_{i=1}^n K_L a_i C_s^* \quad (4.26)$$

Burada V; su hacmi (m³), n: çözülmüş oksijen prob sayısı, K_La; Kütle transfer katsayısı, C_s; standart şartlarda çözülmüş oksijen konsantrasyonu ifade etmektedir.

4.3.2 Standart Havalandırma Verimi- SAE

Standart havalandırma verimi (SAE), ünite güç girişi başına düşen oksijen aktarımı olarak ifade edilir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$SAE = \frac{SOTR}{W} \cdot 100 \quad (4.27)$$

Burada, SOTR; standart oksijen transfer oranı (kg/sa), W; havalandırma gücünü ifade etmektedir.

4.3.3 Standart Oksijen Transfer Verimi-SOTE

Standart oksijen transfer verimliliği (SOTE), enjekte edilen oksijenin suda ne kadar çözüdüğünü yüzde olarak ifade etmektedir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$SOTE = \frac{SOTR}{W_{O_2}} \cdot 100 \quad (4.28)$$

Burada, W_{O_2} ; oksijen kütle akışı (kg/sa) ifade eder.

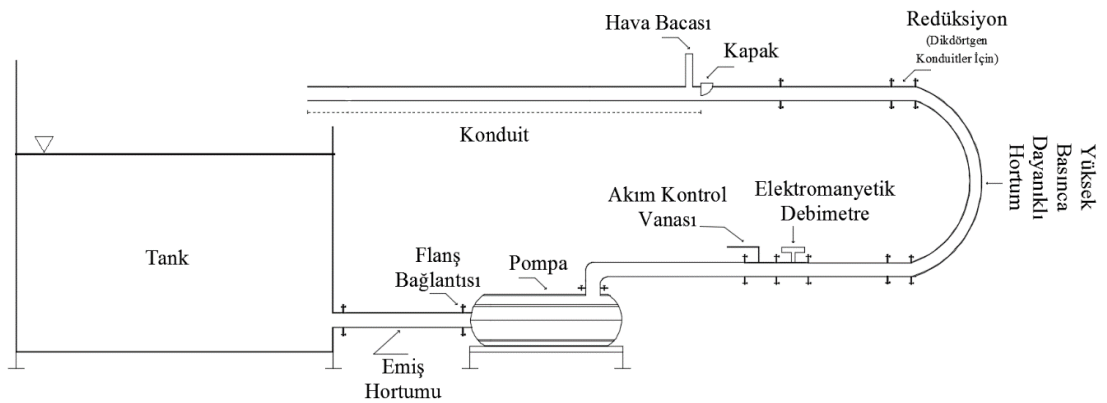


5. MATERYAL METOT

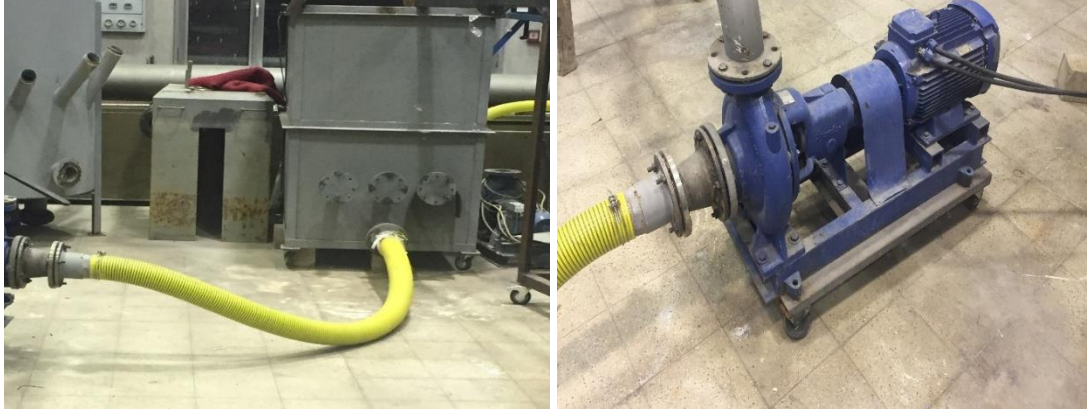
Bu çalışma ile tek bir deney düzeneği üzerinde basınçlı konduitlerin farklı enkesit tipleri, konduit uzunlukları, kapak şekilleri ve su debileri gibi fiziksel parametrelerin hava giriş verimi üzerindeki etkisi araştırılmış ve hava giriş oranının artırılması amaçlanmıştır. Tüm deneyler Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında kurulan deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, deneylerin yapılması için şebeke suyu kullanılmıştır. Şebeke suyu kullanılması nedeniyle oksijen transferini etkileyebilecek olan yüzen maddeler, organik maddeler, süspansiyon maddeler ve tuzun etkisi görülmemiştir.

5.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneğinde kullanılan tüm bileşenler Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Deneylerde hacmi belli olan su, sürekli devir ettirilmiştir. Sistem geri devirli olarak çalıştırılmıştır. 1,5x1,5x2 m ölçülerindeki tankta biriktirilen su, emiş hortumu yardımıyla pompaya çekilmiştir. (Şekil 5.2). Pompa yardımıyla terfisi yükseltilerek sisteme basınçlı olarak iletilmiştir. Sisteme iletilen su debisi akım kontrol vanası ve Kohne marka elektromanyetik debimetre yardımı ile ayarlanmıştır (Şekil 5.3). Suyu konduitlere ileten boru hattının çapı, yersel yük kayıplarını ortadan kaldırmak amacıyla pompa çıkış çapıyla aynı boyutta 3 inç çapında seçilmiştir.



Şekil 5.1 Deney düzeneği



Şekil 5.2 Tank, Emiş hortumu ve pompa



Şekil 5.3 Akım kontrol vanası ve Elektromanyetik debimetre

Deneyleerde kullanılan aparatlar Şekil 5.4’de gösterilmektedir. Kesit şeklinin havalandırma performansı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla üç farklı kesit kullanılmıştır (Şekil 5.5). Dairesel konduit yersel yük kayıplarını ortadan kaldırmak amacıyla boru hattıyla aynı çapta yani 3 inç olarak seçilmiştir. Dikdörtgen konduitler ise dairesele konduitlerle yapılacak olan kıyaslamalarda herhangi bir sapma oluşturmaması amacıyla aynı kesit alanına sahip olan 100*60*3 mm boyutlarında seçilmiş ve iki farklı konumda kullanılmıştır.

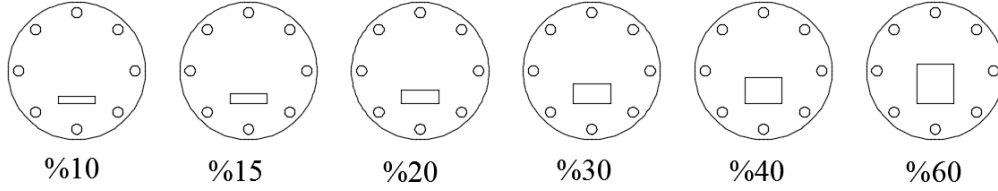


Şekil 5.4 Dency aparatları

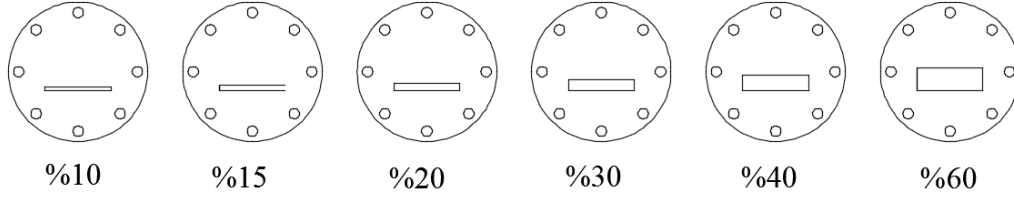


Şekil 5.5 Konduit kesitleri

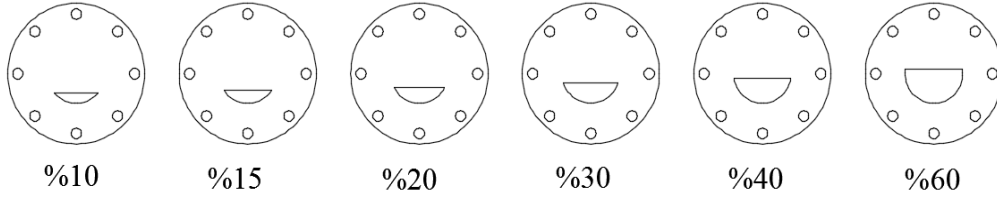
Tüm enkesitler için kapak açıklık oranları %10, 15, 20, 30, 40 ve 60 olarak seçildi (Şekil 5.6-5.8). Her kesit için yapılan daraltmalarının ölçüleri Tablo 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.6 60x100 dikdörtgen kesit kapak açıklık oranları

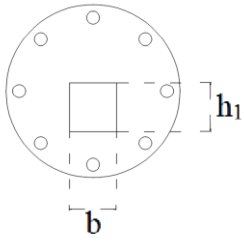
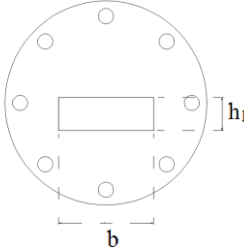
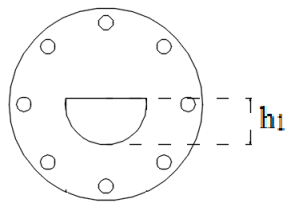


Şekil 5.7 100x60 dikdörtgen kesit kapak açıklık oranları



Şekil 5.8 100x60 Dairesel kesit kapak açıklık oranları

Tablo 5.1 Kapak açıklık ölçüleri

	60x100	100x60	Dairesel
Kapak Açıklık Oranı (φ)			
	h_1	h_1	h_1
%10	9.4 mm	5.4 mm	12.7 mm
%15	14.1 mm	8.1 mm	16.8 mm
%20	18.8 mm	10.8 mm	20.6 mm
%30	28.2 mm	16.2 mm	27.5 mm
%40	37.6 mm	21.6 mm	34.1 mm
%60	56.4 mm	35.4 mm	46.8 mm

Literatür incelendiğinde, daha önce yapılan çalışmalarda kapak şekli hep ince kenarlı olarak seçilmiştir (Şekil 5.9). Bu tez çalışmasında kapak şeklinin havalandırma performansına etkisinin araştırılması amacıyla ince kenarlı kapak şekline ek olarak yersel yük kayıplarını azaltmak amacıyla radyal kapakta kullanılmış ve tüm enkesit tiplerine uygulanmıştır. (Şekil 5.10).



Şekil 5.9 İnce kenarlı kapak



Şekil 5.10 Radyal kapak

Radyal kapağın yarıçapı en küçük kapak açıklık oranında gerekli olan kapak yüksekliği dikkate alınarak seçildi. Kapak yarıçapı Tablo 5.2’de belirtilen kapak yüksekliği (h_2) ölçüsünün en büyük değeri olan 87,6 mm olarak belirlendi. Tüm kapak açıklık oranları için aynı eğrilik kullanıldı.

Tablo 5.2 Radyal kapak ölçüleri

Kapak Açıklık Oranı (φ)			
	60x100	100x60	Dairesel
	h_2	h_2	h_2
%10	87.6 mm	51.6 mm	74.9 mm
%15	82.9 mm	48.9 mm	70.8 mm
%20	78.2 mm	46.2 mm	67.1 mm
%30	68.8 mm	40.8 mm	60.1 mm
%40	59.4 mm	35.4 mm	53.5 mm
%60	40.6 mm	24.6 mm	40.76 mm

Kapağın hemen mansabına atmosferdeki havayı suya kazandırmak amacıyla hava bacası açıldı. Deneyleerde üç farklı hava bacası kullanıldı. Hava bacaları 45 mm,30 mm ve 15 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde borulardan oluşmaktadır (Şekil 5.11). Anemometre yardımıyla sisteme giren havanın hızı ölçülürken öncelikli olarak 45 mm çapındaki havalandırma bacası kullanıldı. Küçük su debilerinde çekilen hava miktarı az olduğundan dolayı. anemometrenin havanın hızını ölçemediği küçük su debilerinde 30 mm ve 15 mm çapındaki hava bacaları sırasıyla kullanılarak hava hızı ölçülmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.11 Hava bacaları

Konduit uzunluğunun havalandırma performansı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla 1 m, 2 m, 4 m ve 6 m uzunluğunda konduitler kullanıldı (Şekil 5.12,5.13).



Şekil 5.12 Dikdörtgen konduitler



Şekil 5.13. Dairesel konduitler

Dairesel kesitli boru hattından gelen su dikdörtgen kesitli konduite iletilirken yersel yük kayıplarını en aza indirilmesi amaçlanmış ve Şekil 5.14 te gösterilen redüksiyon kullanılmıştır.



Şekil 5.14. Redüksiyon

5.2. Deneyin Yapılışı

Hava giriş performansının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylere radyal kapaklı dikdörtgen konduitler ile başlanmıştır. Kapak açıklığı %10 ve kapak sonrasındaki konduit uzunluğu 1 m olarak belirlenen sistemde su debisi elektromanyetik debimetre yardımıyla ölçüldü. Bu debilerden ilki sabitlendikten sonra kapak mansabına açılan hava bacasından Testo marka hız probu kullanılarak emilen havanın hızı ölçüldü (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Anemometre

Bu işlem 7 farklı debi için tekrarlandı. Daha sonra aynı kapak açıklığı için 2 m, 4 m ve 6 m lik konduit uzunluklarında aynı işlemler ayrı ayrı tekrarlandı. Hava bacasından anemometre ile yapılan ölçümlerde hız probu bacanın tam merkezine yerleştirilerek ölçülmüştür (Şekil5.16).



Şekil 5.16. Hava hızının ölçülmesi

Her bir hava hızı ölçümü 60 saniye veya daha uzun süre boyunca ölçülmüş ve belirtilen sürede ölçülen hava hızlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir. Hava bacasından ölçülen ortalama hava hızı, bacanın delik alanı ile çarpılarak hava debisi hesaplanmıştır. Bu işlemler dikdörtgen kesitli konduitlerin her iki konumu ve dairesel konduit için tekrarlanmıştır. Yukarıda radyal kapaklı konduitler için yapılan deneylerin hepsi ince kenarlı kapaklı konduitler için de tekrarlanmıştır.

Deneyler yapılırken farklı debi değerleri kullanılmıştır. Bu debilere bağlı olarak farklı su hızları tespit edilmiş ve kapak altındaki Froude sayısı bulunmuştur. Froude sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy_e}} \quad (5.1)$$

Burada V ; kapak altındaki su hızını, y_e ; kapak altındaki su yüksekliğini ve g ; yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Eşitlik 5.1 yardımıyla belirlenen Froude sayısı, atalet ve yerçekimi kuvvetlerini dikkate alan ve viskoz veya yüzey gerilimi kuvvetlerini hesaba katmayan boyutsuz bir sayıdır. Literatürde Froude sayısı daralma bölgesi ile ilişkilendirilir (Sharma, 1976). Yüksek hızlı hava-su akımı içeren yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde daralma bölgesinde akım derinliklerinin ve hızlarının belirlenme sorunundan kaçınmak için bu çalışmada Froude sayısı konduitteki efektif derinlik ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca hava giriş oranında Froude sayısının önemi; hesaplamasında modele ait olan hız, uzunluk ve yerçekimi gibi parametrelerin kullanılmasıdır (Finnemore ve Franzini, 2002).

6. DENEY SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında ele alınan parametreler ve deney serileri Tablo 6.1’de gösterilmektedir. Deney sonuçları daha iyi anlaşılabilmesi için kesit şekillerine göre gruplandırılmıştır. Her bir grup kendi içerisinde kapak şekillerine göre alt gruplara ayrılmıştır. En son bölümde ise tezin esas konusu olan kesit şeklinin havalandırma performansı üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için her bir grupta elde edilen veriler kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları grafikler halinde sunulmuştur. Bu bölümde ayrıca bulgulardan bahsedilmektedir.

Tablo 6.1. Deney serilerinin ana hatları

Konduit Kesit Şekli	Kapak Açıklık Oranı	Kapak Şekli	Konduit uzunluğu	
60x100	%10	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%15	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%20	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%30	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%40	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%60	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	100x60	%10	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m
			İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m
%15		Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
%20		Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
%30		Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
%40		Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
%60		Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
Dairesel		%10	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m
			İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m
	%15	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%20	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%30	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%40	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
	%60	Radyal	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	
		İnce Kenarlı	L=1 m, 2 m, 4 m, 6 m	

6.1. 60x100 Kesitli Konduite Ait Deneş Sonuları

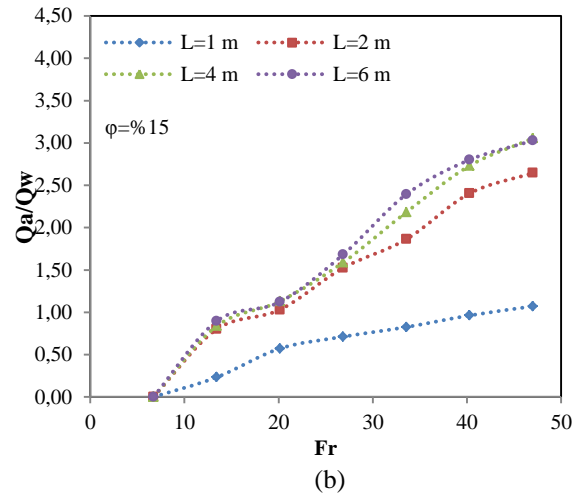
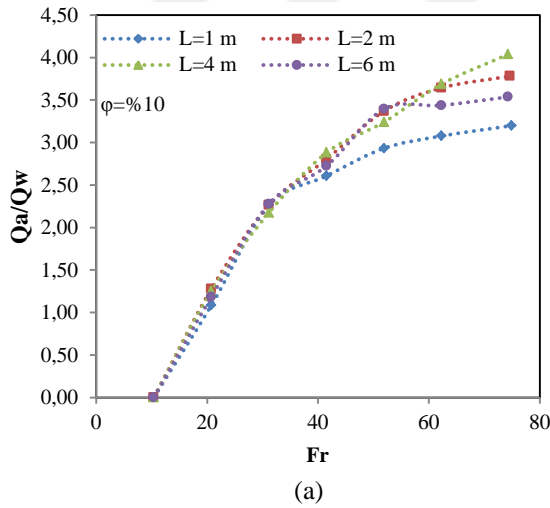
6.1.1. Radyal Kapaklı Konduitelere Ait Deneş Sonuçları

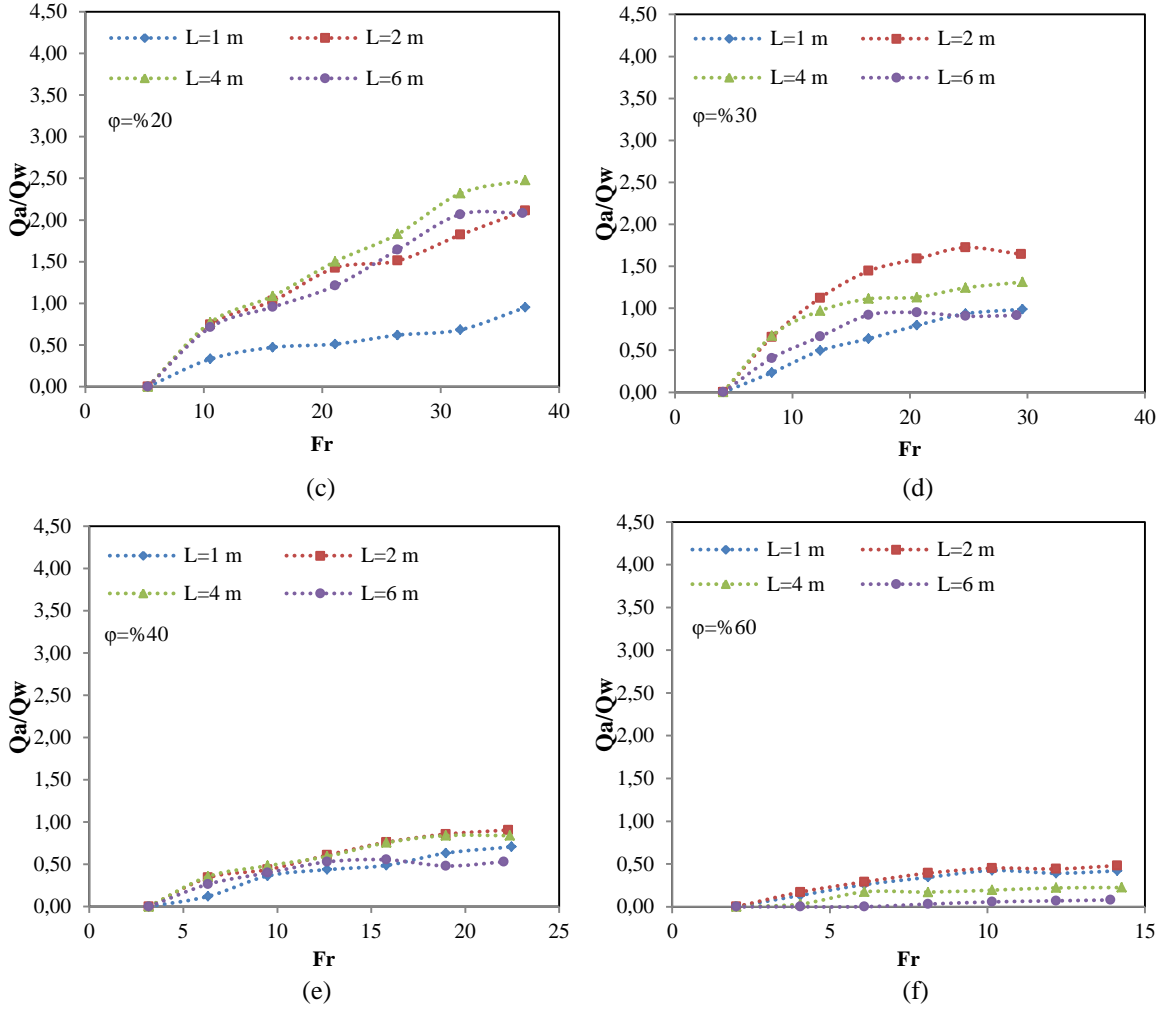
Şekil 6.1 de her bir kapak açıklık oranının konduit uzunluğuna göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Tüm kapak açıklık oranlarında ve konduit uzunluklarında Froude sayısının artması ile Q_a/Q_w oranının arttığı görülmektedir. Buradan Froude sayısı ile hava giriş oranı arasında doğru orantının olduğu anlaşılmaktadır. Akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerinden olan Bernoulli Denklemine göre akışkan bir noktadan hareket ederken sahip olduğu hız, basınç ve potansiyel enerjisini yine bunlardan birine dönüştürerek ikinci bir noktaya hareket eder. Deneş setimizde akım aynı boru ekseninde hareket ettiği için yersel yüksekliği (z) sabit kalmakta, kesit daraldığı için hız artmakta ve buna bağlı olarak basınç aşırı şekilde düşmektedir. Hatta çoğu zaman kapak mansabında negatif basınç oluşmaktadır. Bu negatif basının veya oluşan basınç farkının dengelenmesi için sisteme giren hava miktarı artmaktadır. Bu durum ayrıca hava giriş oranlarının tahmini için geliştirilen denklemlerde de görülmektedir (Kalinske ve Robertson 1943; Campbell ve Guyton, 1953; USACE, 1964). Deneş serileri incelendiğinde genel olarak konduit boyunun artması ile hava giriş oranının belirli bir değere kadar artıp daha sonra azaldığı görülmüştür. Yapılan araştırmalar hidrolik sıçramanın hava giriş oranı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Bu alışmalar sonucunda hidrolik sıçramanın hava salınımının olduğu bölgede gerçekleştiği belirlenmiştir (Morthensen, 2011; Morthensen, 2012). Ayrıca Şekil 3.4'te gösterildiği gibi hava girişinin hidrolik sıçrama ile başladığı ve havalandırma uzunluğunun sıçrama bitse bile belirli bir mesafe devam ettiği belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında hidrolik sıçramanın hava giriş oranının yüksek olduğu konduit uzunlukları boyunca gerçekleştiği ve sıçrama bitiminden sonra konduit uzunluğunun artmasıyla birlikte enerji kayıplarına bağlı olarak hava giriş oranlarının düştüğü düşünölmektedir.

%30'a kadar olan kapak açıklık oranlarında en düşük hava emme performansı $L=1$ m'lik konduit uzunluğunda gerçekleştiği ve daha büyük kapak açıklık oranlarında minimum hava girişinin $L=6$ m'lik konduit uzunluğunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Diğer konduit uzunluklarında ise hava giriş oranının birbirine yakın değerler aldığı görölmektedir. Bunun sebebinin de yukarıda bahsedildiği gibi hidrolik sıçrama olduğu düşünölmektedir. Bilindiği üzere hidrolik sıçrama akımın sel rejiminden nehir rejimine geçtiği sırada meydana gelmektedir. Sel rejiminde akım hızı kritik hızın üstünde, nehir rejiminde ise akım hızı kritik hızın altındadır. %30 kapak açıklık oranından daha küçük

kapak açıklık oranlarında kapak altından geçen akım hızı kritik hızın çok üstündedir ve kritik hızın altına düşmesi için akımın katettiği mesafe uzun olmaktadır. Bu sebeple bu kapak açıklık oranlarında hidrolik sıçramanın daha büyük konduit uzunluklarında meydana geldiği ve bu duruma bağlı olarak hava giriş oranının büyük konduit uzunluklarında daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Buradan küçük kapak açıklık oranlarında kısa konduit uzunluklarının hava emme performansı açısından verimsiz olduğunu ifade edebiliriz. Kapak açıklık oranı %30'a kadar olan deney serilerinde maksimum hava giriş oranı L=4 m'lik konduit uzunluğunda gerçekleşmiştir. %30 ve daha büyük kapak açıklık oranına sahip olan deney serilerinde maksimum hava giriş oranları L=2 m' de meydana gelmektedir.

Tüm kapak açıklık oranlarında ve konduit uzunluklarında çekilebilen maksimum hava debisinin %60'ı Froude sayısının 30'a eşit olduğu değerlerde çekilmektedir. Bu Froude değerinden sonra hava emme performansı aynı yükseliş eğilimi gösterememiştir. Buda Froude sayısının belirli bir değerinden sonra hava emme performansı üzerinde etkisinin azaldığını göstermektedir. Bu deney gruplarına ait en yüksek Q_a/Q_w değeri %10 kapak açıklık oranı ve 4 m'lik konduit boyunda 4.03 olarak ölçülmüştür.





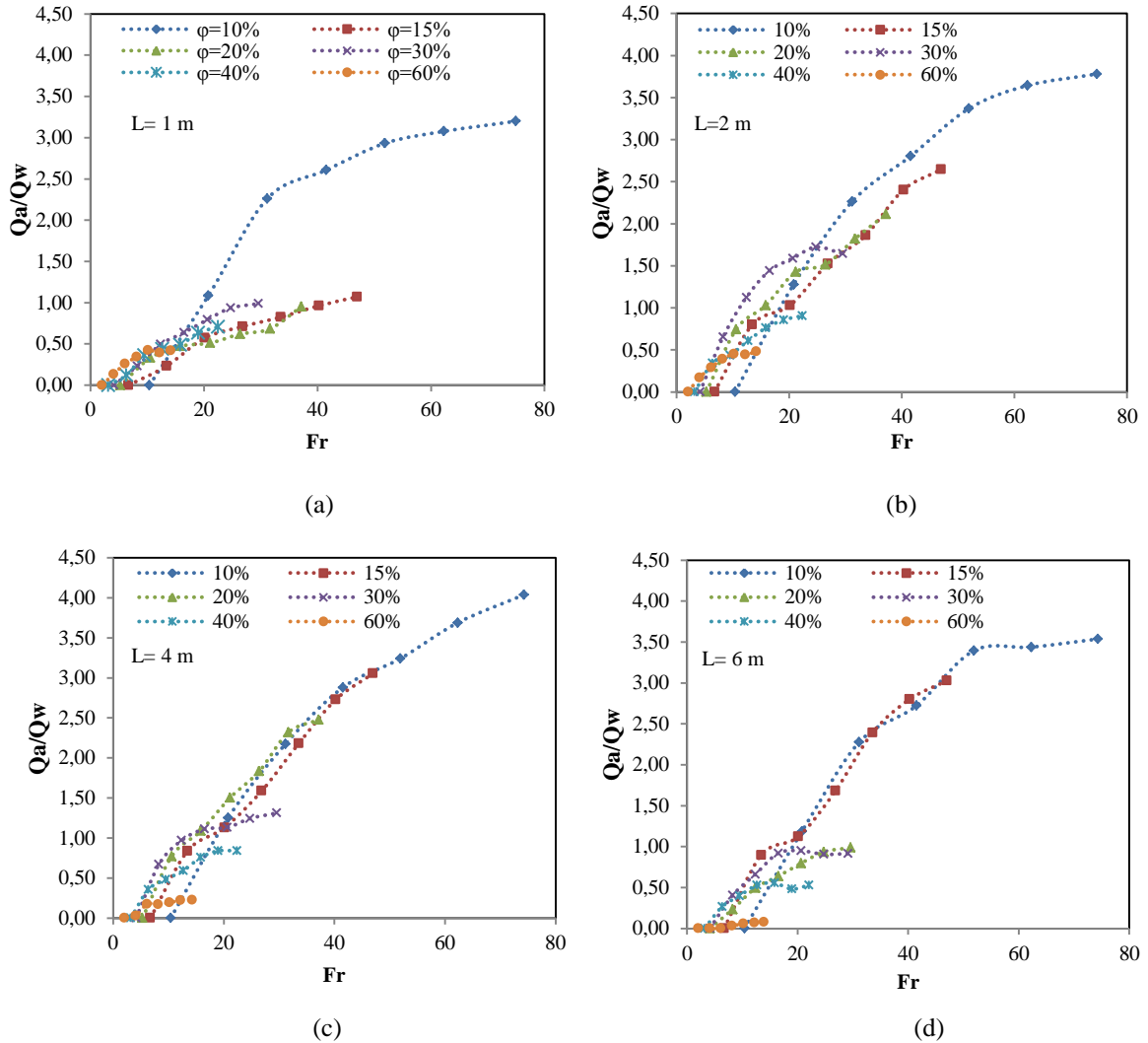
Şekil 6.1. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı kondüit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

Şekil 6.2'de her bir kondüit uzunluğunun farklı kapak açıklık oranlarına göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Hava emme performansı %10 kapak açıklık oranında maksimum değere ulaşmıştır. Kapak açıklık oranının artması ile hava giriş oranları azalmıştır. Buradan kapak açıklık oranı ile hava emme performansı arasında ters orantının olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kapak açıklık oranı arttıkça kapak membaı ile mansabı arasındaki basınç farkının azalmasıdır. Basınç farkı az olduğundan dolayı hava emme performansı azalmaktadır. Ayrıca Speerli, (1999) yapmış olduğu çalışmada sisteme hava girişinin hem hava bacasından hem de kapak mansabından oluşunu belirlemiştir. Büyük kapak açıklık oranlarında kesit daha dolu akmakta ve mansap tarafından debi girişi olmadığı için hava emme performansı küçük kapak açıklık oranlarına kıyasla daha azdır.

Bu alternatifte ait deney grupları incelendiğinde Froude sayısının 10'a kadar olduğu akım şartlarında ya hiç hava girişi olmamış ya da minimum değerlerini almıştır. Kapak

açıklık oranının artmasıyla 6 m'lik konduitin hava emme performansının diğer konduit uzunluklarına göre daha fazla değer kaybettiği buna karşılık 1 m'lik konduitin ise daha az değer kaybettiği görülmektedir. Kapak açıklık oranının artması ile hidrolik sıçrama daha kısa konduit uzunluklarında gerçekleşmektedir. Hidrolik sıçrama gerçekleştikten sonra akımın sistemi terketmesi için gerekli uzunluğun artmasıyla birlikte yük kayıpları artmakta ve enerjisini kaybetmektedir. Bu nedenle büyük kapak açıklık oranlarında konduit uzunluğunun artması hava giriş oranını olumsuz etkilememektedir.

Konduit uzunluğunun 6 m olduğu deney serisinde her bir kapak açıklığı için Q_a/Q_w değeri belirli bir Froude sayısına kadar artmış daha sonra Froude sayısı artsa bile hava emme performansı sabit kalmıştır.



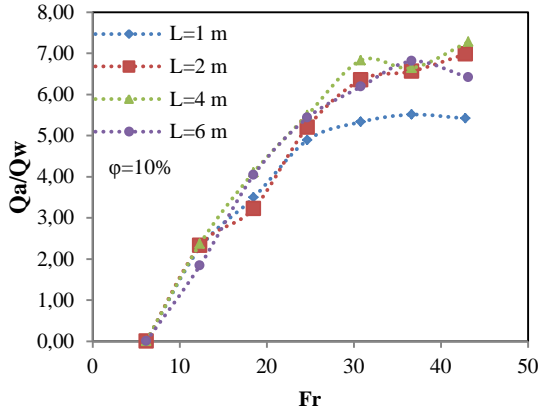
Şekil 6.2 Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

6.1.2. İnce Kenarlı Kapaklı Konduitlere Ait Deneysel Sonuçları

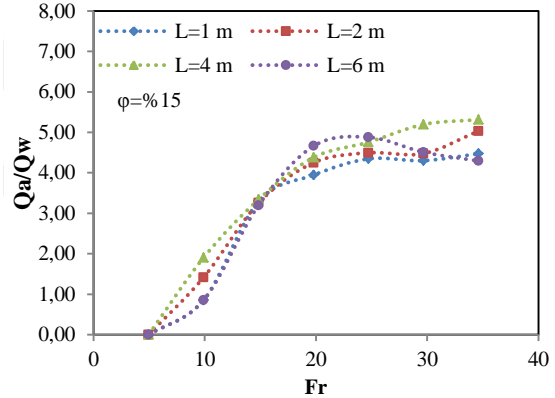
Şekil 6.3 de her bir kapak açıklık oranının konduit uzunluğuna göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Bu gruba ait deney serileri incelendiğinde genel olarak konduit boyunun artması ile hava giriş oranının belirli bir değere kadar artıp daha sonra azaldığı görülmüştür. Bu deney grubu için optimum konduit uzunluğunun 2 ve 4 m arasında seçilebileceği görülmüştür.

Bu deney gruplarına ait en yüksek havalandırma performans değeri %10 kapak açıklık oranı ve 4 m'lik konduit boyunda 7.27 olarak ölçülmüştür. Bu değer yapılan tez çalışmasındaki tüm deney sonuçları içerisindeki en yüksek Q_a/Q_w değeridir. Ayrıca literatür incelendiğinde diğer çalışmalara göre hava giriş oranı büyük ölçüde artırılmış ve tez çalışması amacına ulaşmıştır.

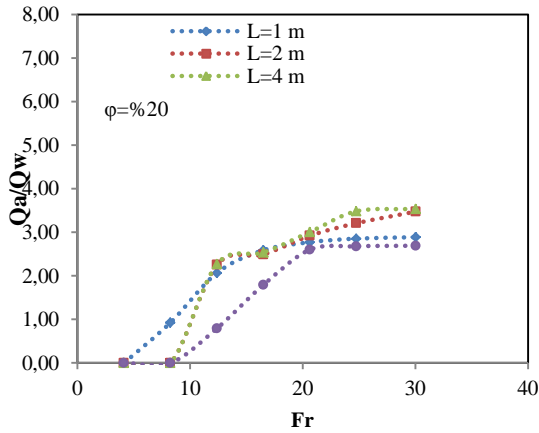
%30 ve daha büyük kapak açıklık oranlarında Q_a/Q_w üzerinde konduit boyunun etkisi görülmemiştir.



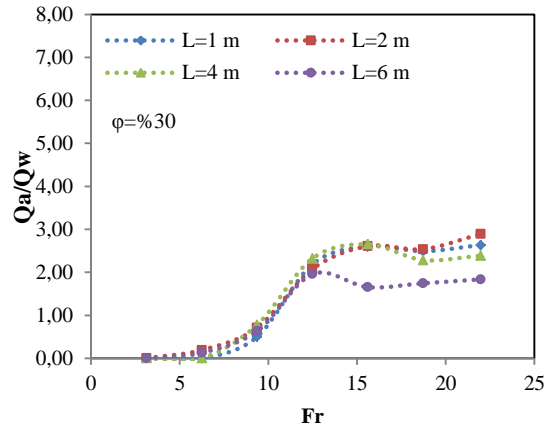
(a)



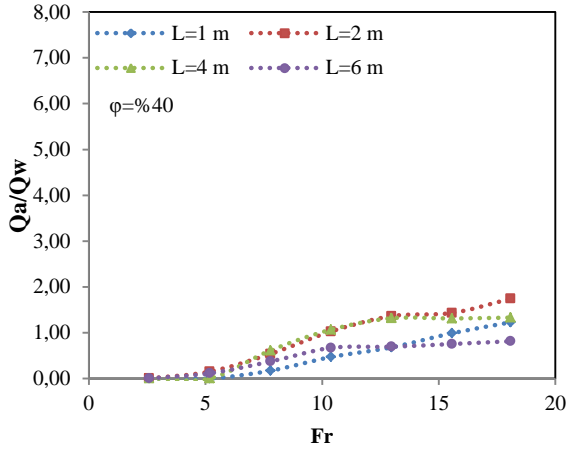
(b)



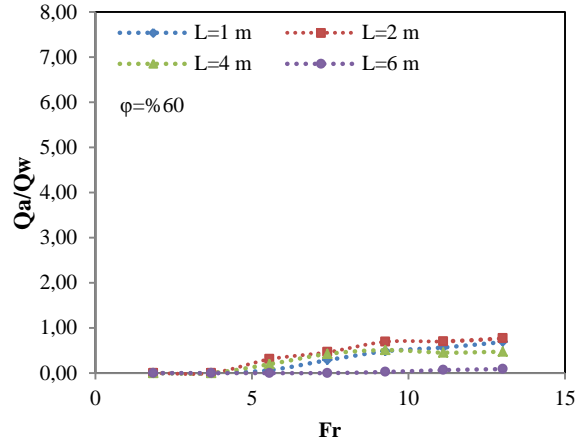
(c)



(d)



(e)

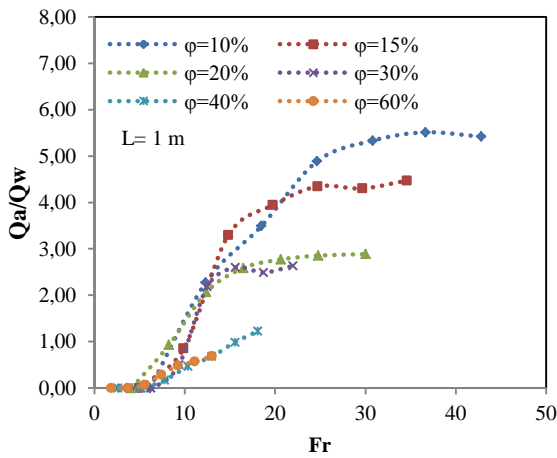


(f)

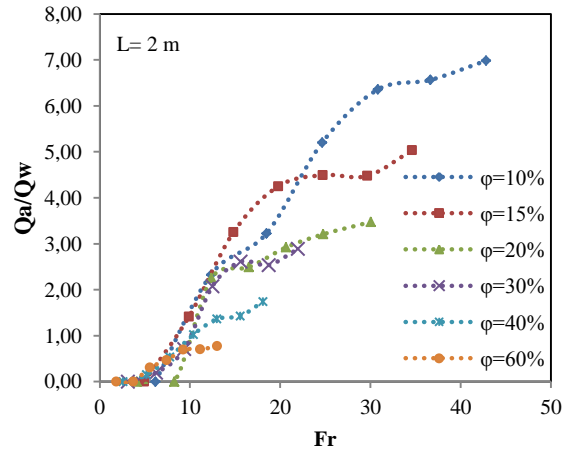
Şekil 6.3. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

Şekil 6.4'te her bir konduit uzunluğunun farklı kapak açıklık oranlarına göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Hava emme performansı %10 kapak açıklık oranında maksimum değere, %60 kapak açıklığında ise minimum değere ulaşmıştır. Kapak açıklık oranının artması ile hava giriş oranları azalmıştır. Buradan kapak açıklık oranı ile hava emme performansı arasında ters orantının olduğu görülmektedir. Bu durum yukarıda da açıklandığı gibi kapak membaı ve mansabı arasındaki basınç farklarından kaynaklanmaktadır.

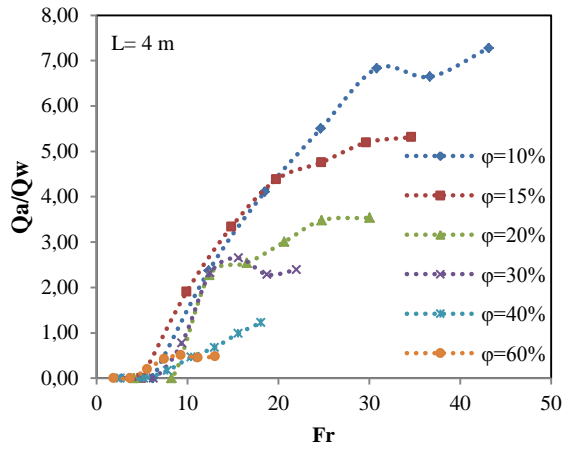
Bu gruba ait deney serileri incelendiğinde tüm kapak açıklık oranlarında Q_a/Q_w değeri, her bir serinin maksimum Froude sayısının yaklaşık olarak %60'ına kadar hızlı bir yükseliş gösterdikten sonra Froude sayısı artsa bile aynı eğilimi göstermemiştir.



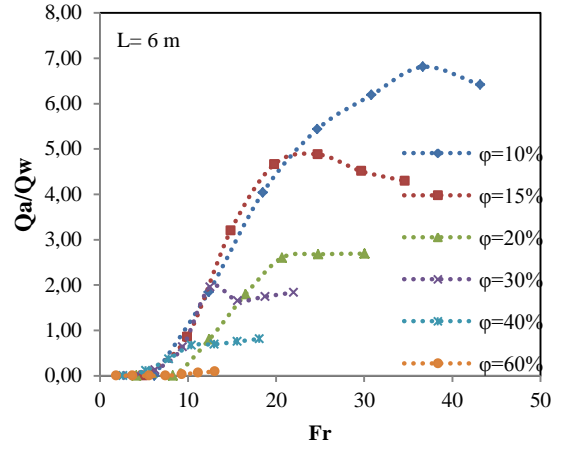
(a)



(b)



(c)

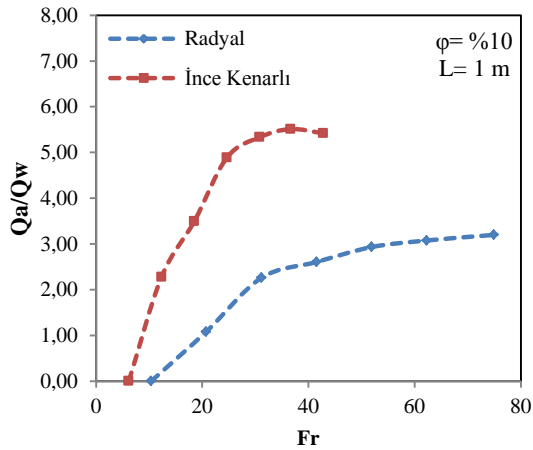


(d)

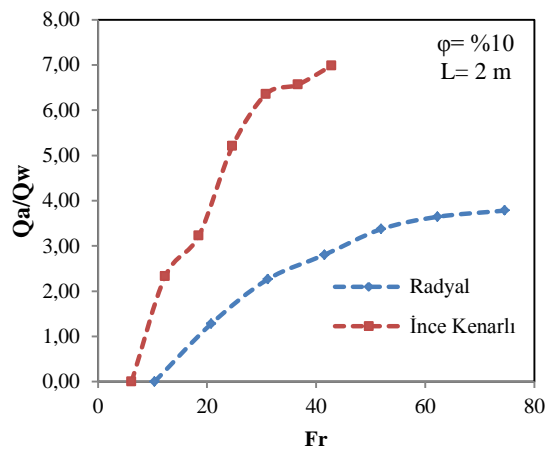
Şekil 6.4. Belirli kondüit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

6.1.3 Kapak Geometrisinin Etkisi

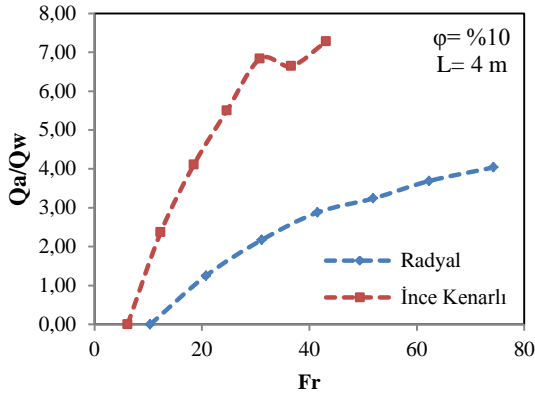
Şekil 6.5 te kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Tüm gruplarda ince kenarlı kapak hava emme performansının radyal kapağa göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



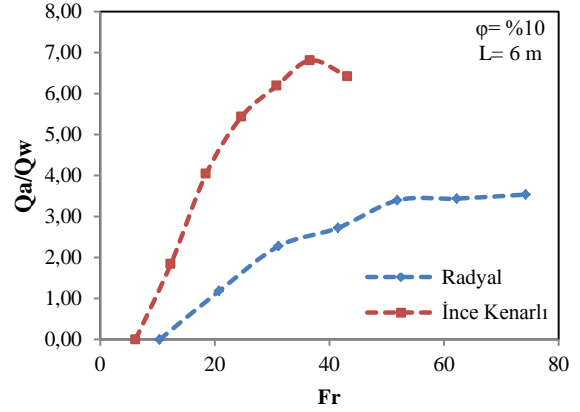
(a)



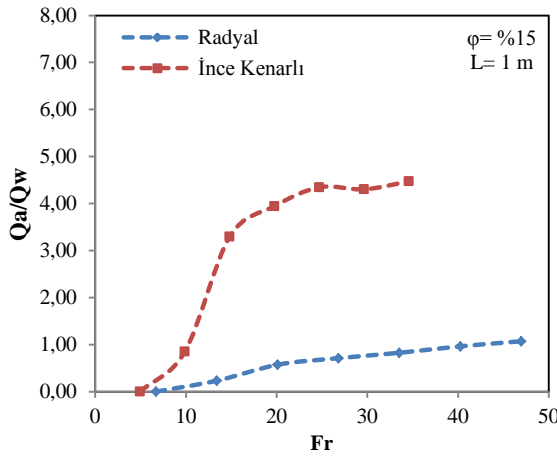
(b)



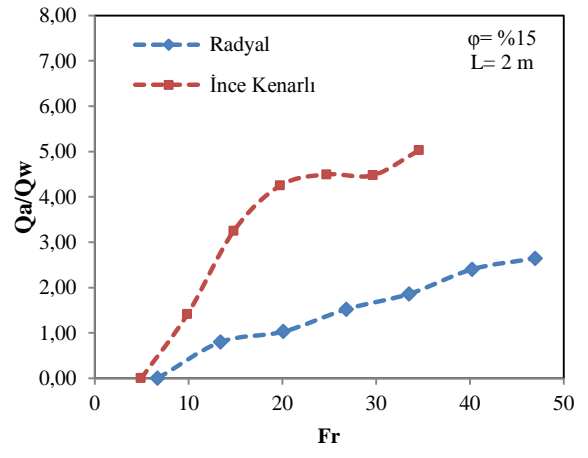
(c)



(d)

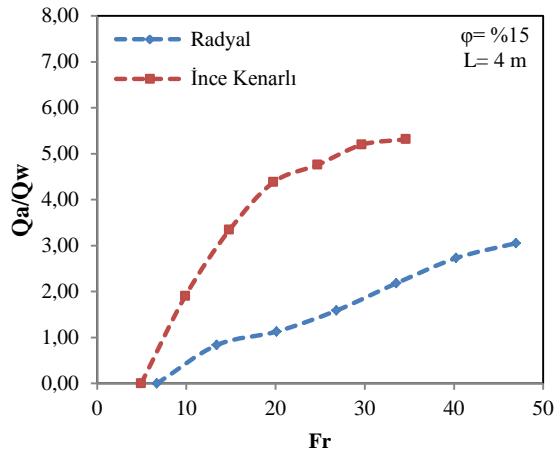


(e)

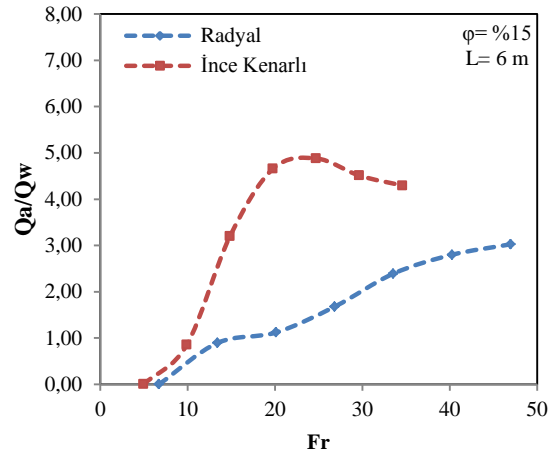


(f)

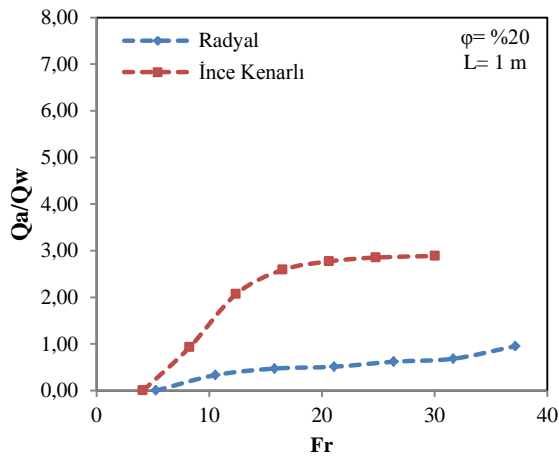
Radyal kapaktaki yersel yük kayıplarının ince kenarlı kapağa göre daha az olması nedeniyle konduit kesitinden geçen suyun debisi radyal kapaklı konduitlerde daha fazladır. Ayrıca ince kenarlı kapaklı konduitlerde kapak memba ve mansap arasındaki basınç farklarının daha fazla olması nedeniyle sisteme çekilen hava miktarında radyal kapaklı konduitlere göre daha fazla olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ince kenarlı kapaklarda hava giriş oranı daha yüksek değerler almıştır.



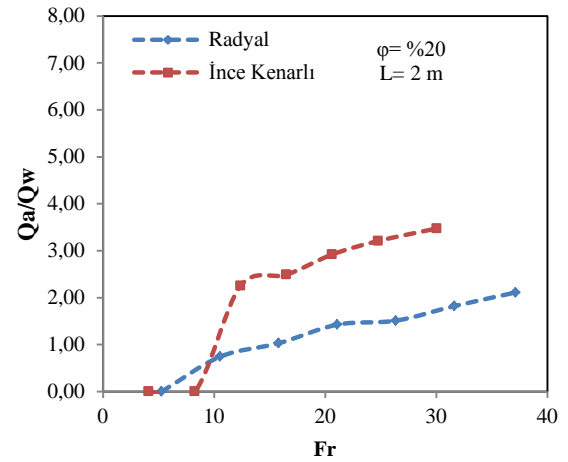
(g)



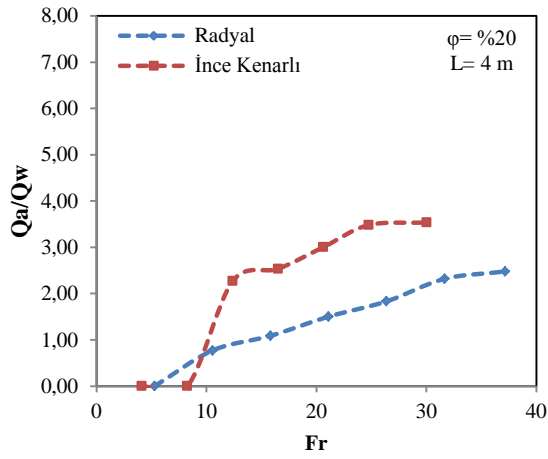
(h)



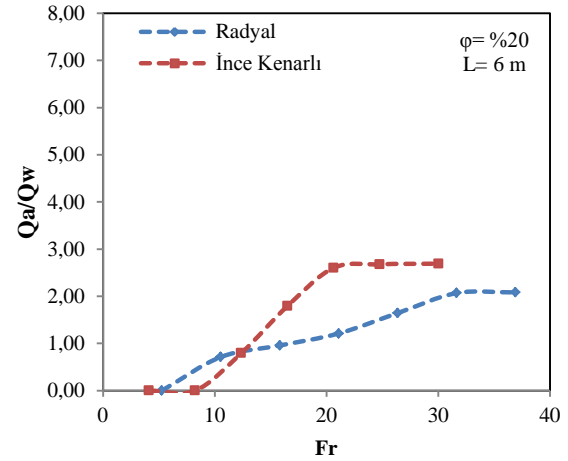
(i)



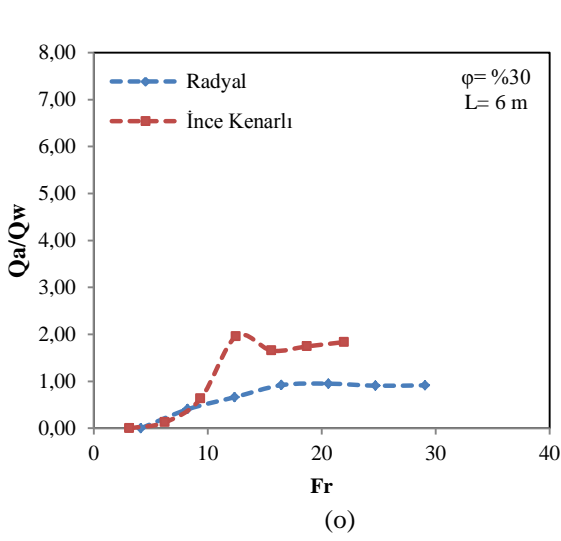
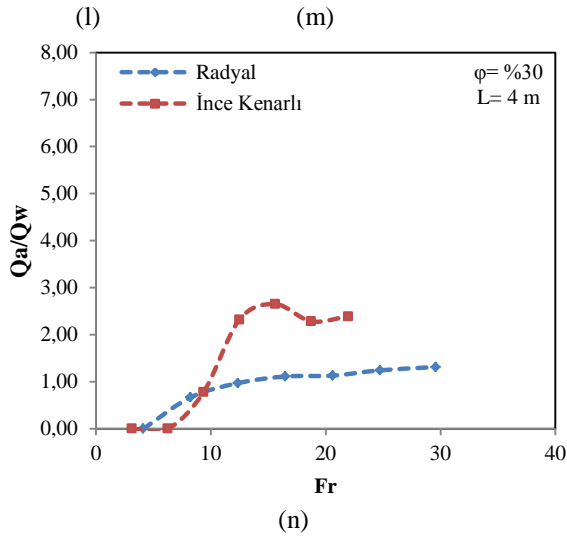
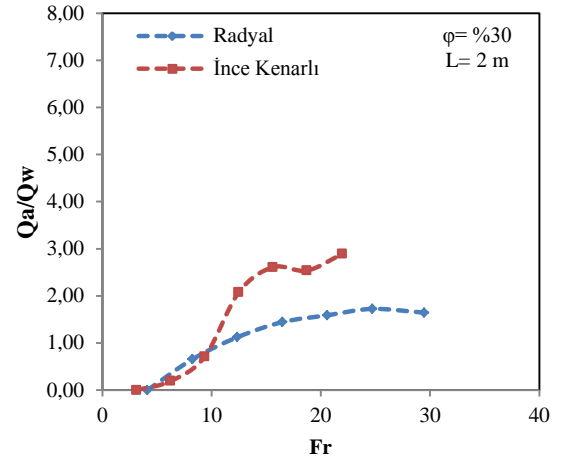
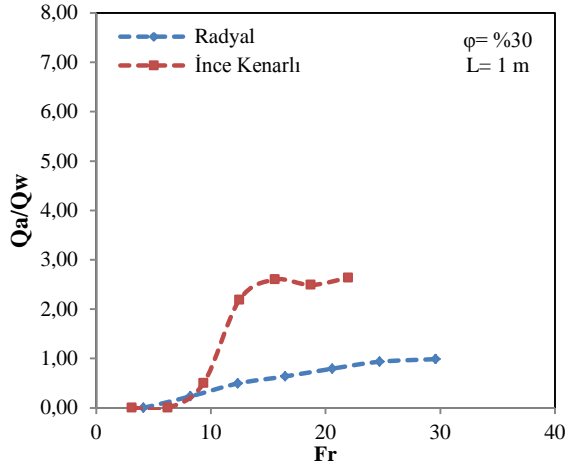
(j)



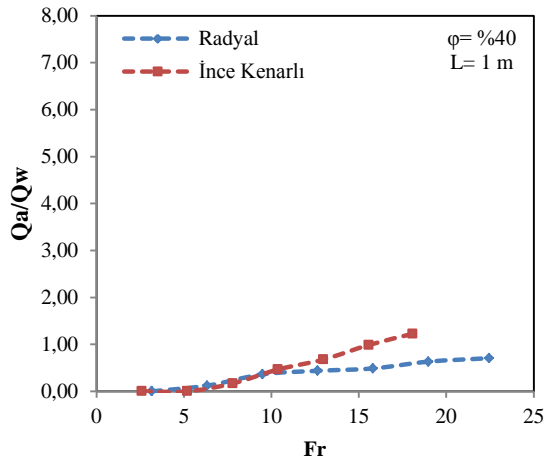
(k)



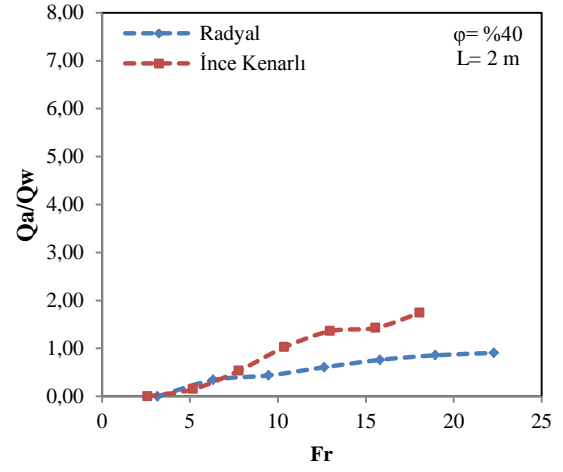
(l)



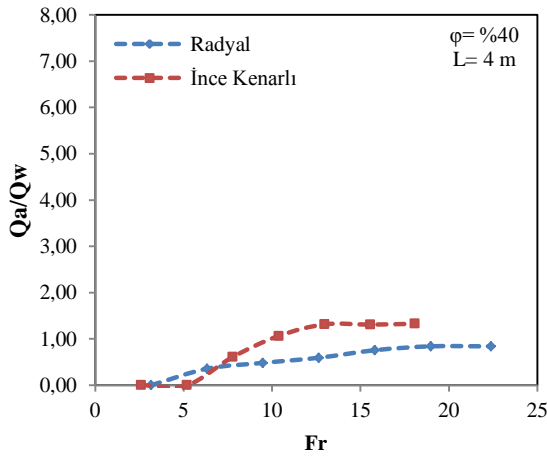
Kapak açıklık oranının %40 ve daha büyük olduğu deney serilerinde kapak geometrisinin pek bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu deney serilerine ait hemen hemen her grafikte ince kenarlı kapaklı konduitlerde hava giriş oranı belirli Froude değerine kadar artış gösterip daha sonra değişmemiştir. Radyal kapaklı konduitlerde ise Froude sayısının artması ile hava giriş oranı azda olsa sürekli artma eğilimi göstermektedir.



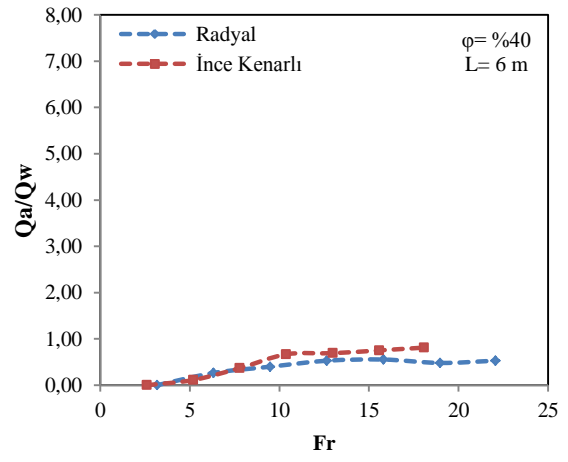
(ö)



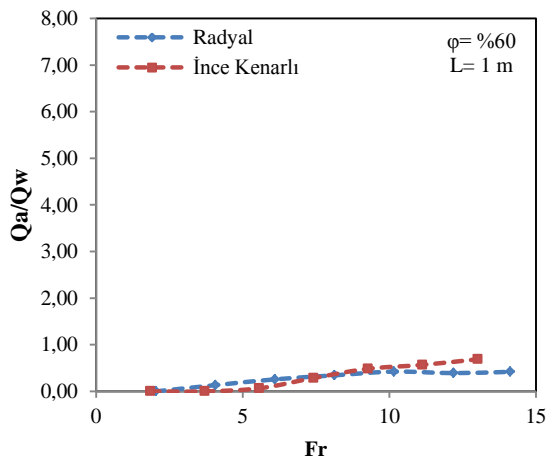
(p)



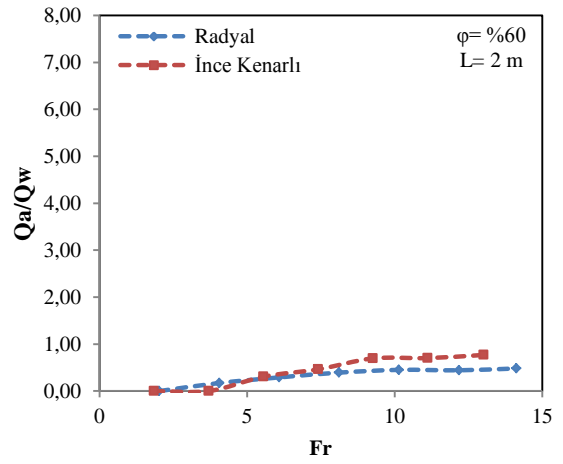
(r)



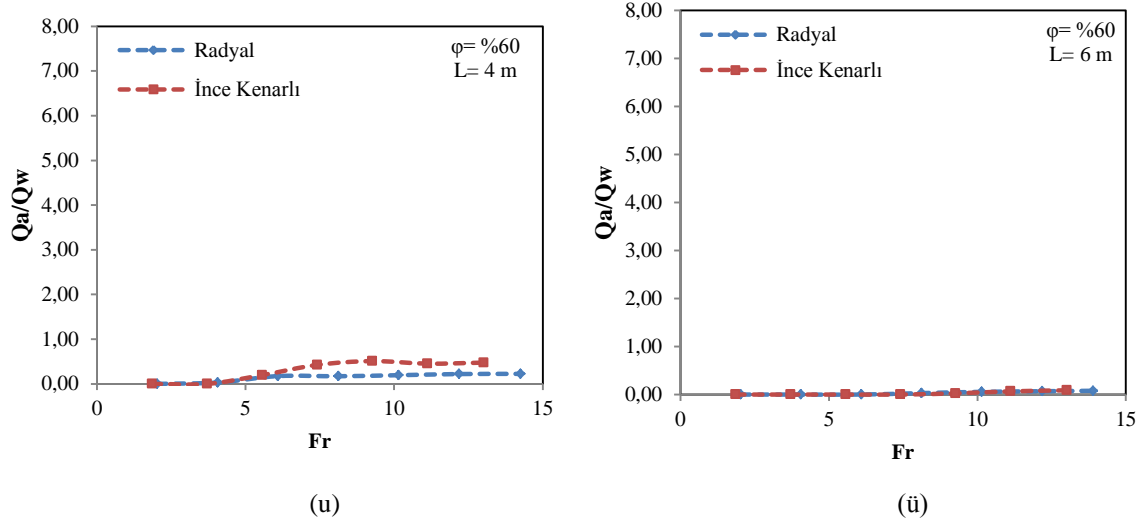
(s)



(ş)



(t)



Şekil 6.5. Kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi

6.2. 100x60 Kesitli Konduite Ait Deneysel Sonuçları

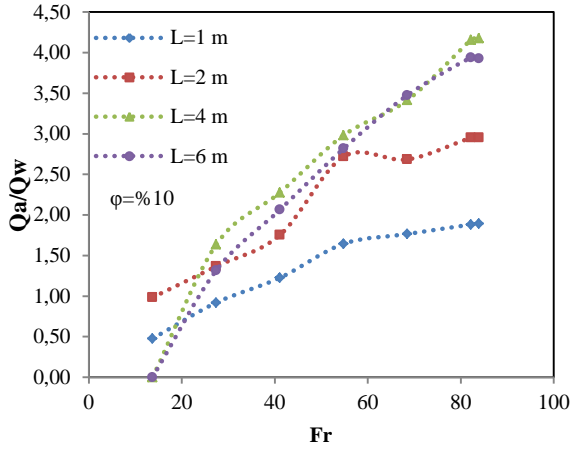
6.2.1 Radyal Kapaklı Konduitlere Ait Deneysel Sonuçları

Şekil 6.6'da her bir kapak açıklık oranının konduit uzunluğuna göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Froude sayısının artmasıyla birlikte hava giriş oranının arttığı görülmüştür.

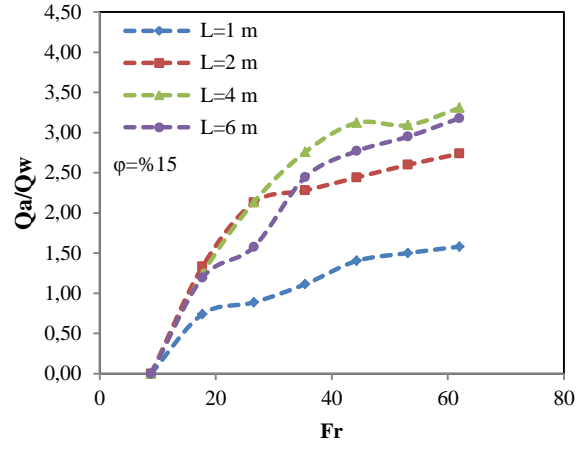
Deneysel serileri incelendiğinde genel olarak konduit boyunun artması ile hava giriş oranının belirli bir değere kadar artıp daha sonra azaldığı görülmüştür.

%30 kapak açıklık oranına kadar olan kapak açıklıklarında en düşük hava emme performansının $L=1$ m'lik konduit uzunluğunda gerçekleştiği görülmüştür. %30 ve daha büyük kapak açıklık oranlarında ise $L=6$ m'lik konduit uzunluklarında hava emme performanslarının minimum olduğu görülmektedir. Yani kapak açıklık oranı arttıkça büyük konduit uzunluklarının hava emme performansı diğer konduit uzunluklarına göre daha fazla azaldığı görülmektedir.

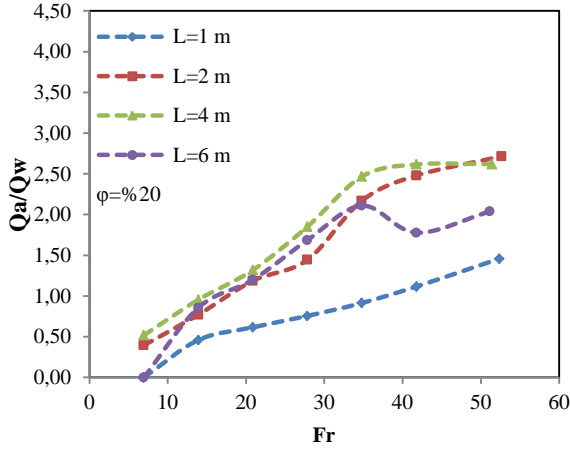
Bu gruba ait deneysel serileri incelendiğinde hava emme performansının en iyi olduğu deneysel grubu %10 kapak açıklığı ve 4 m'lik konduit uzunluğunda meydana gelmektedir.



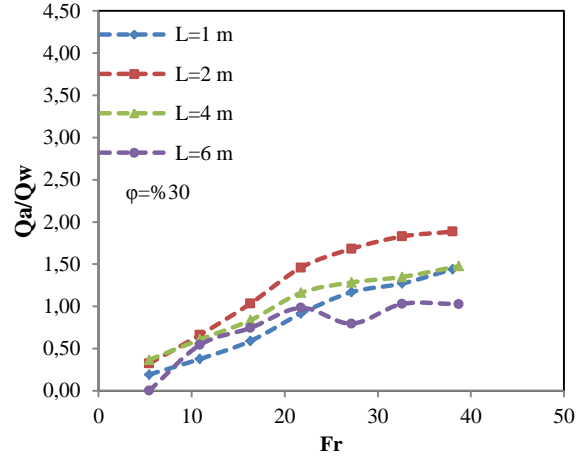
(a)



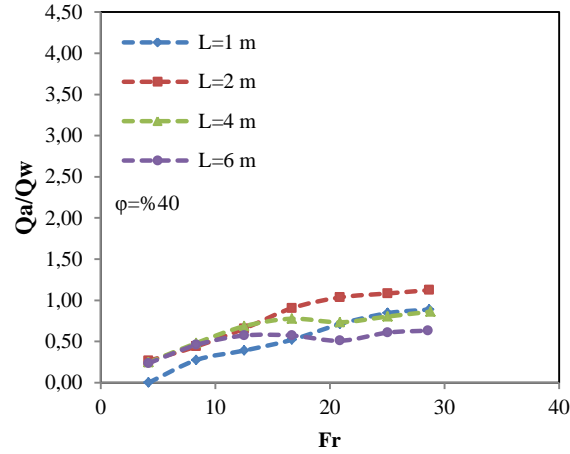
(b)



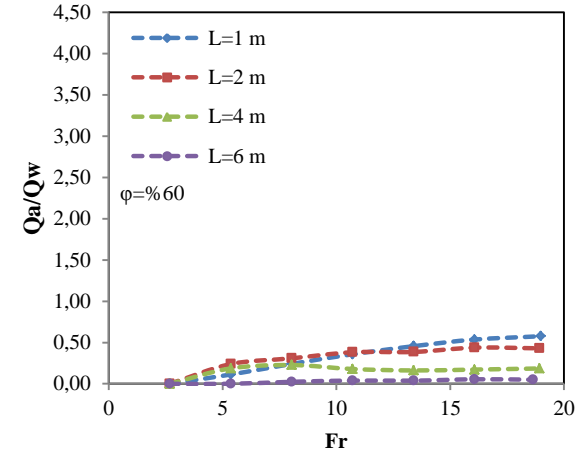
(c)



(d)



(e)



(f)

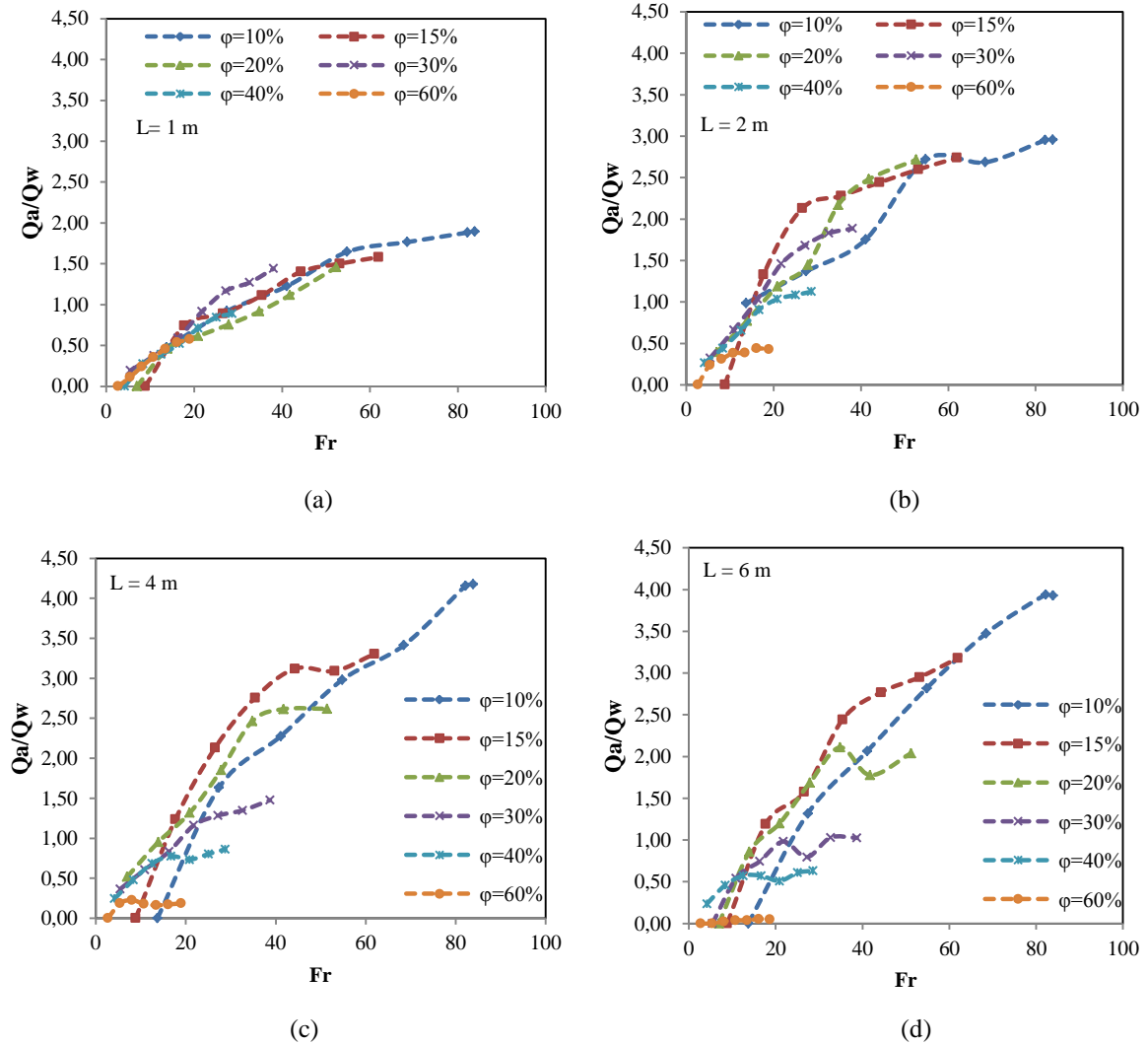
Şekil 6.6. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

Şekil 6.7'da her bir konduit uzunluğunun farklı kapak açıklık oranlarına göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir.

Hava emme performansı %10 kapak açıklık oranında maksimum değere ulaşmıştır. Kapak açıklık oranının artması ile hava giriş oranları azalmıştır. Bu durum daha evvel de açıklandığı gibi kapak membaı ve mansabı arasındaki basınç farkından kaynaklanmaktadır. Küçük kapak açıklık oranlarında basınç farkı daha fazla olmakta ve sisteme çekilen hava miktarı artmaktadır.

1 m lik konduit uzunluğuna ait grafik incelenecek olursa kapak açıklığının bu konduit uzunluğunda herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Bu alternatifte ait deney grupları incelendiğinde Froude sayısının 10'a kadar olduğu akım şartlarında ya hiç hava girişi olmamış ya da minimum değerlerini almıştır.



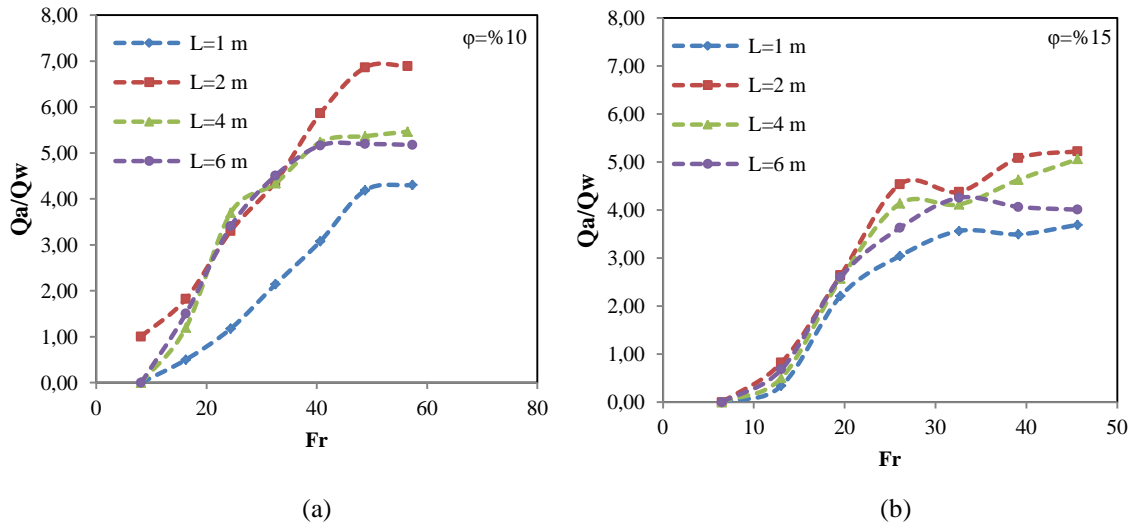
Şekil 6.7. Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

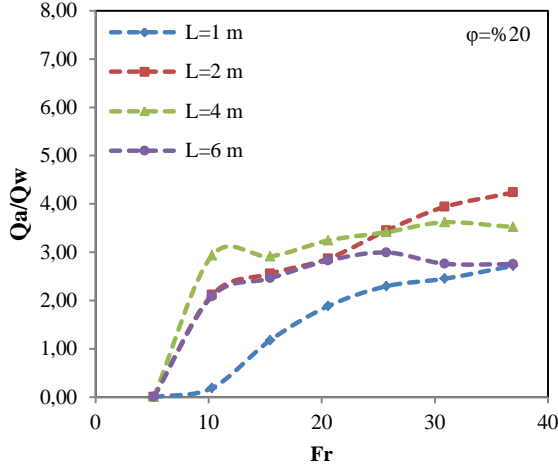
6.2.2. İnce Kenarlı Kapaklı Konduitlere Ait Deneysel Sonuçları

Şekil 6.8 de her bir kapak açıklık oranının konduit uzunluğuna göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Deneysel serileri incelendiğinde hava giriş oranları belirli bir Froude sayısına kadar hızlı bir şekilde yükselmiş daha sonra Froude sayısının artmasıyla birlikte aynı eğilimi gösterememiştir. Konduit boyunun artması ile hava giriş oranının belirli bir değere kadar artıp daha sonra azaldığı görülmüştür.

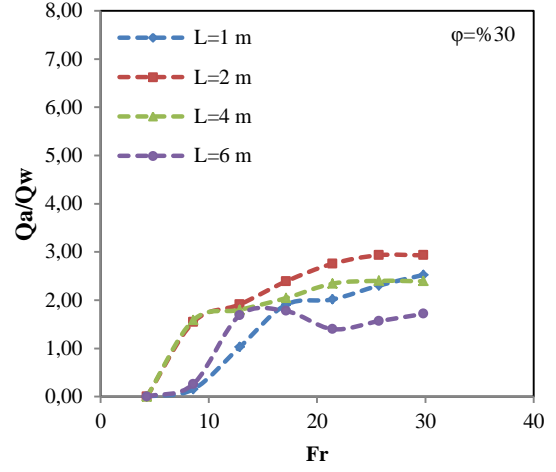
%30'a kadar olan kapak açıklık oranlarında en düşük hava emme performansı $L=1$ m'lik konduit uzunluğunda gerçekleştiği ve daha büyük kapak açıklık oranlarında minimum hava girişinin $L=6$ m'lik konduit uzunluğunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Diğer konduit uzunluklarında ise hava giriş oranının birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu gruba ait grafikler incelendiğinde tüm serilerde maksimum hava emme performansı 2 ve 4 m'lik konduit uzunluklarında meydana gelmektedir.

Kapak açıklık oranı arttıkça konduit uzunluğunun etkisi azalmış ve hava giriş oranı tüm konduit uzunluklarında hemen hemen yakın değerler almıştır. Bu deney gruplarına ait en yüksek Q_a/Q_w değeri %10 kapak açıklık oranı ve 2 m'lik konduit boyunda 6.89 olarak ölçülmüştür.

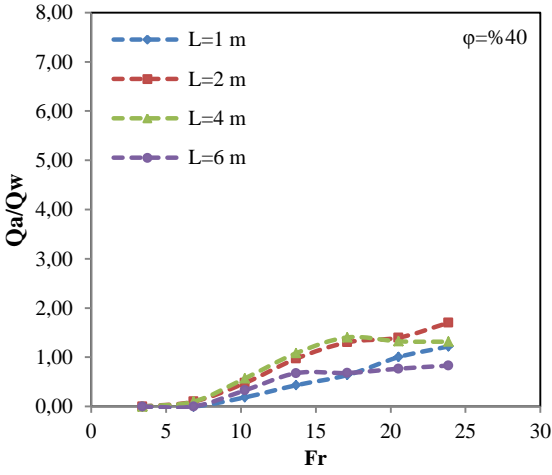




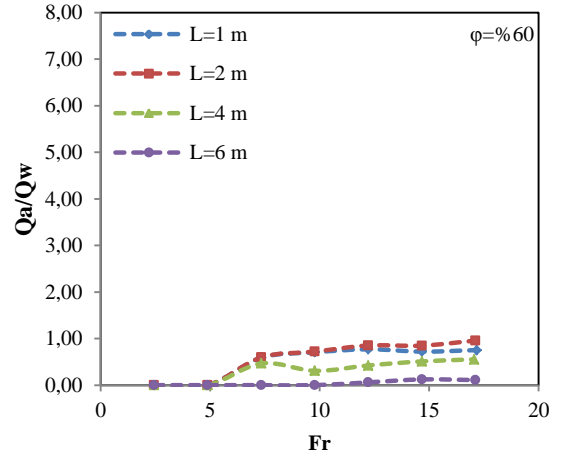
(c)



(d)



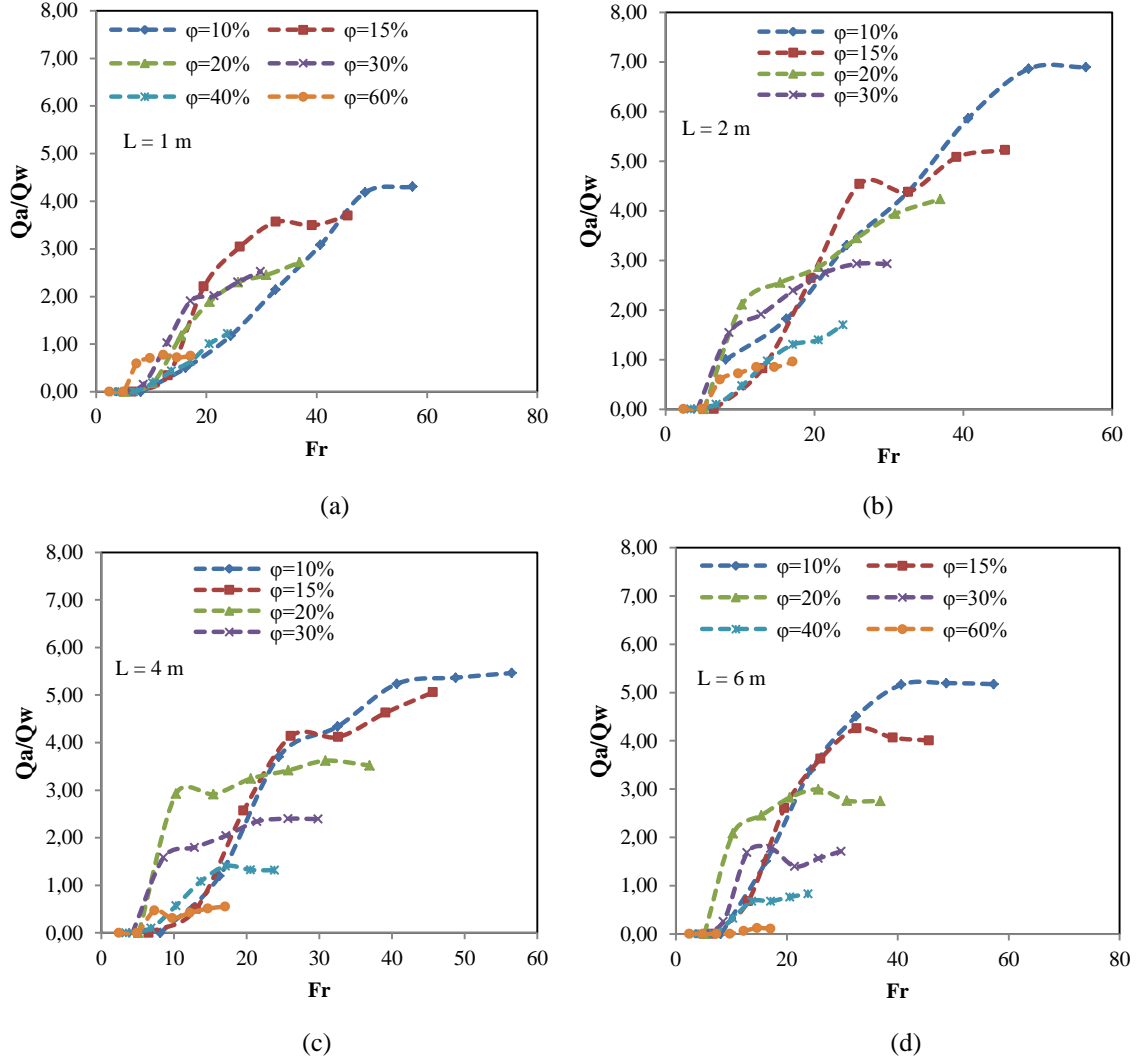
(e)



(f)

Şekil 6.8. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

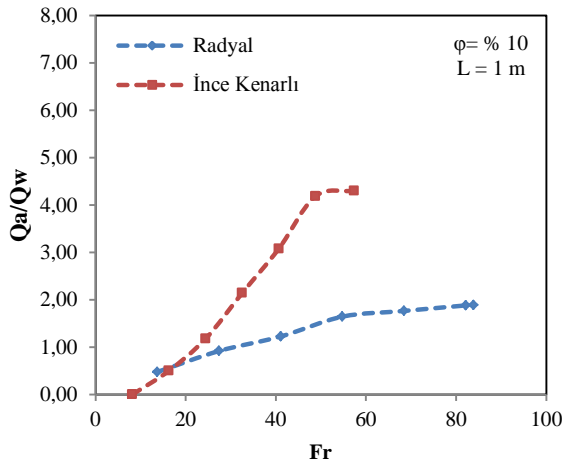
Şekil 6.9'da her bir konduit uzunluğunun farklı kapak açıklık oranlarına göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Hava emme performansı %10 kapak açıklık oranında maksimum değere ulaşmıştır. Kapak açıklık oranının artması ile hava giriş oranları azalmıştır. Bu gruba ait deney serileri incelendiğinde tüm kapak açıklık oranlarında Q_a/Q_w değeri her bir serinin maksimum Froude sayısının yaklaşık %60'ına kadar hızlı bir yükseliş gösterdikten sonra Froude sayısı artsa bile giren debi miktarındaki artışla, çekilen hava miktarındaki artış aynı şekilde artmamıştır.



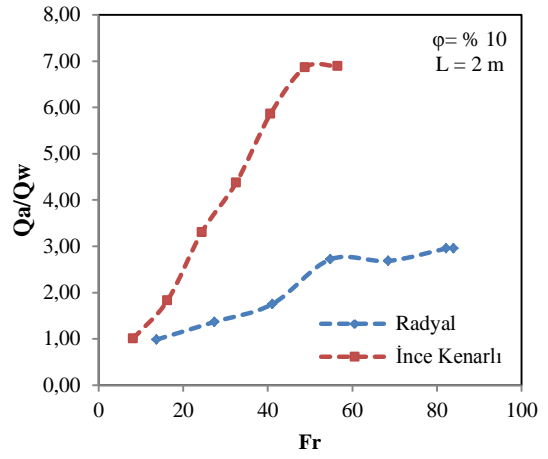
Şekil 6.9. Belirli kondüit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

6.2.3 Kapak Geometrisinin Etkisi

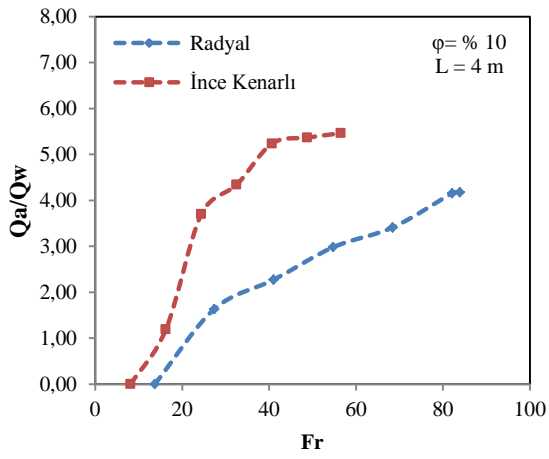
Şekil 6.10 da kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Tüm gruplarda ince kenarlı kapağın hava emme performansının radyal kapağa göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi radyal kapakta yersel yük kayıplarının az olması nedeniyle kondüit kesitinden geçen suyun debisinin artmasıdır. Buna paralel olarak kondüite çekilen hava miktarının aynı oranda artmamasıdır. Ayrıca ince kenarlı kapaklı kondüitlerde kapak membaı ile mansabı arasındaki basınç farkının daha fazla olduğu düşünülmektedir.



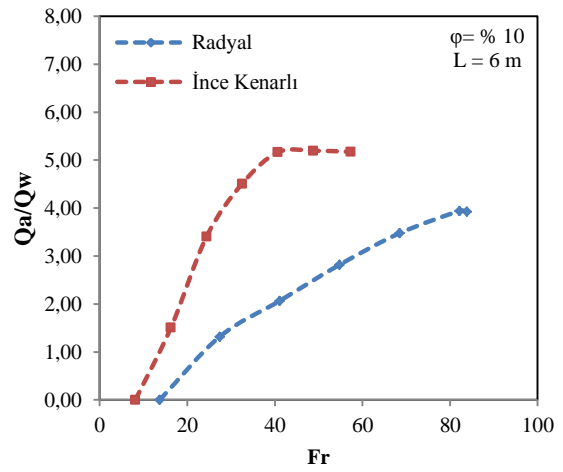
(a)



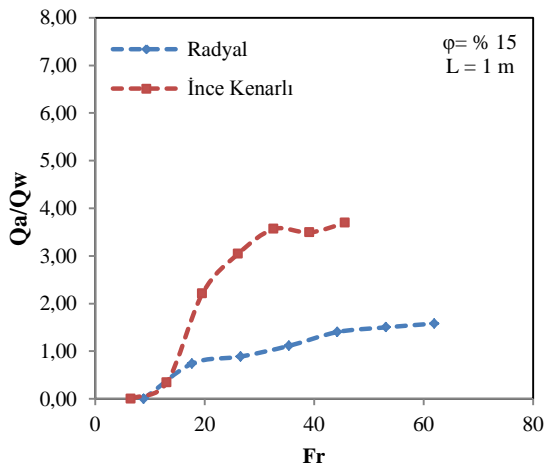
(b)



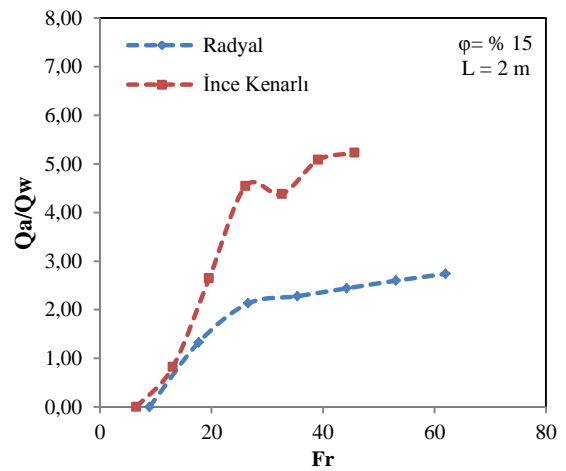
(c)



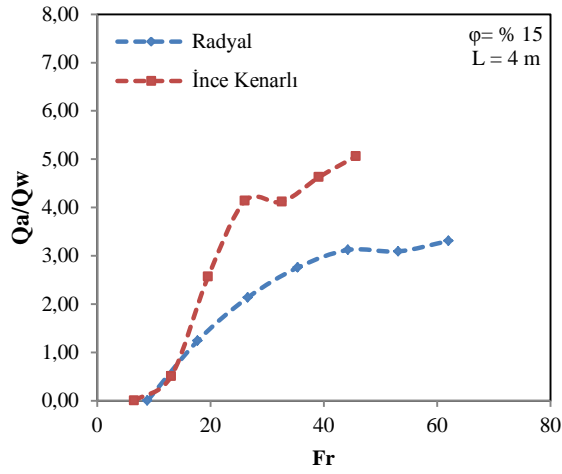
(d)



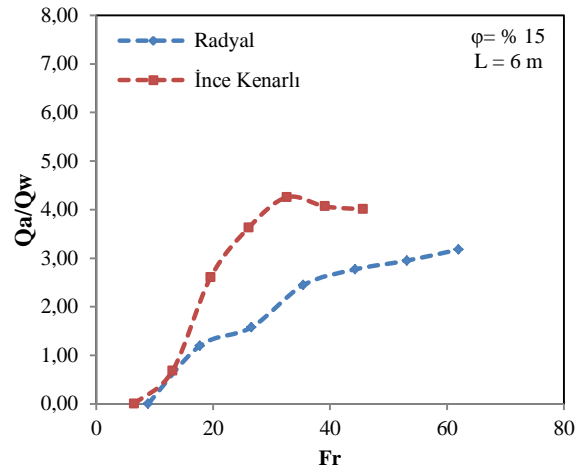
(e)



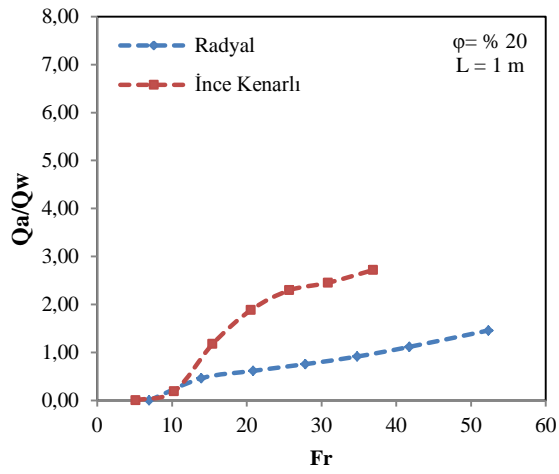
(f)



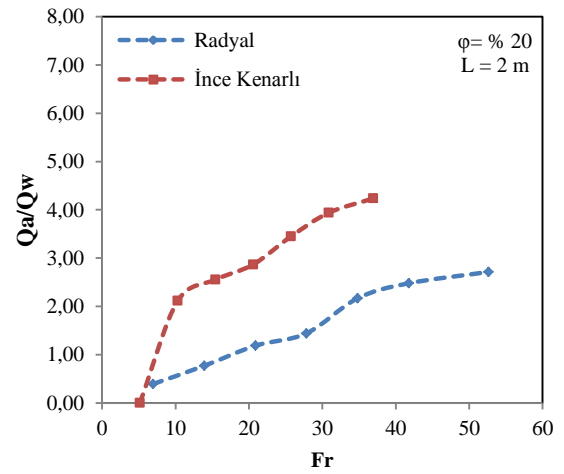
(g)



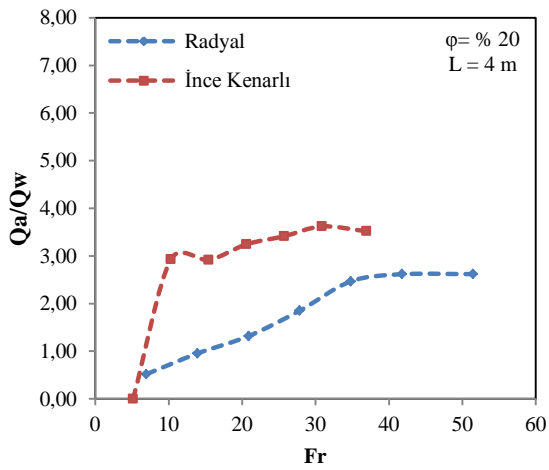
(h)



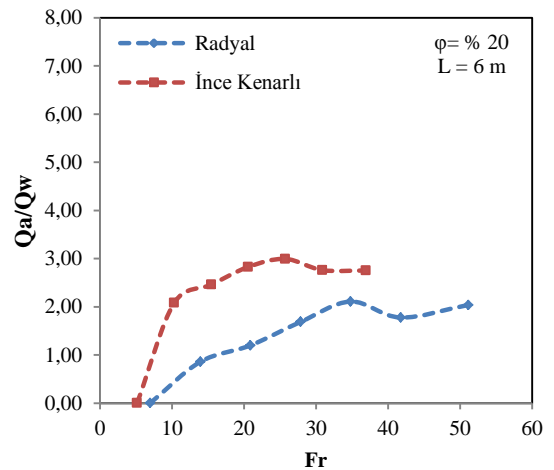
(i)



(i)

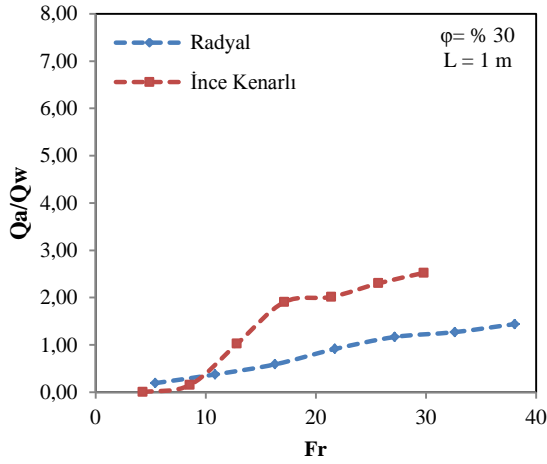


(j)

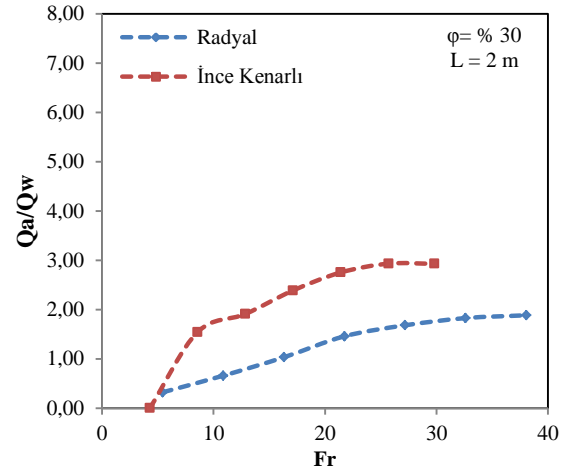


(k)

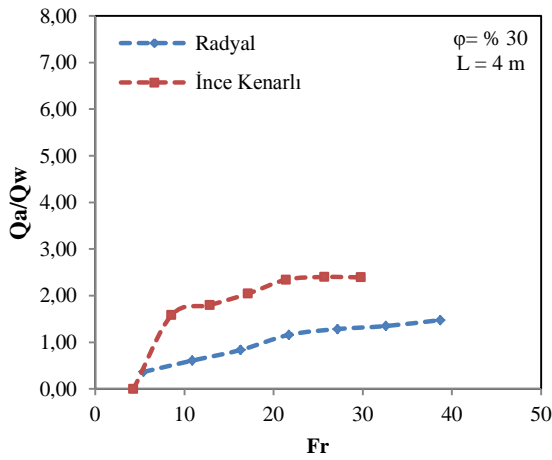
Bu deney serilerine ait hemen hemen her grafikte ince kenarlı kapaklı konduitlerde hava giriş oranı belirli Froude değerine kadar artış gösterip daha sonra değişmemiştir. Radyal kapaklı konduitlerde ise Froude sayısının artması ile hava giriş oranı azda olsa sürekli artma eğilimi göstermektedir. Kapak açıklık oranının artması ile ince kenarlı kapaklı konduitlerdeki hava giriş oranı kaybı radyal kapağa göre daha fazla olmaktadır.



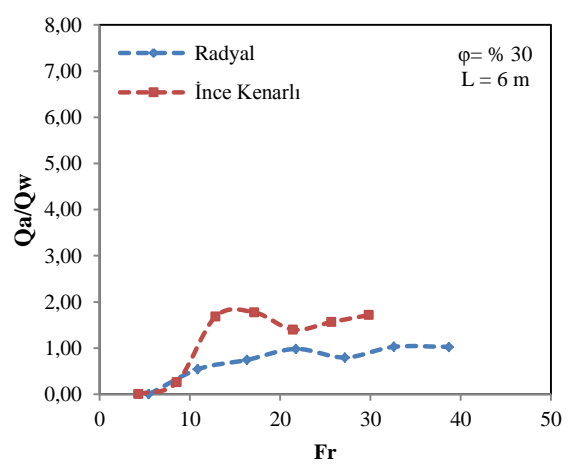
(l)



(m)

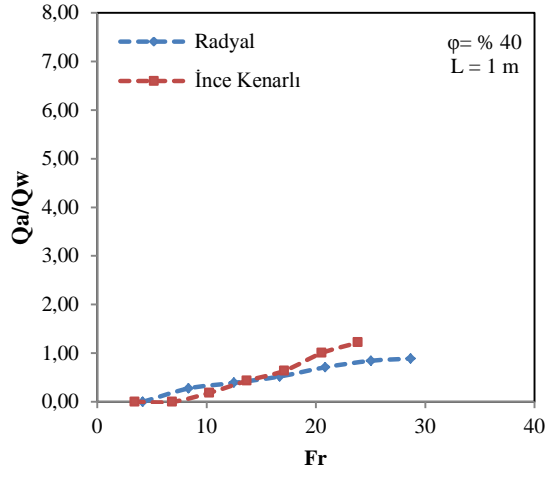


(n)

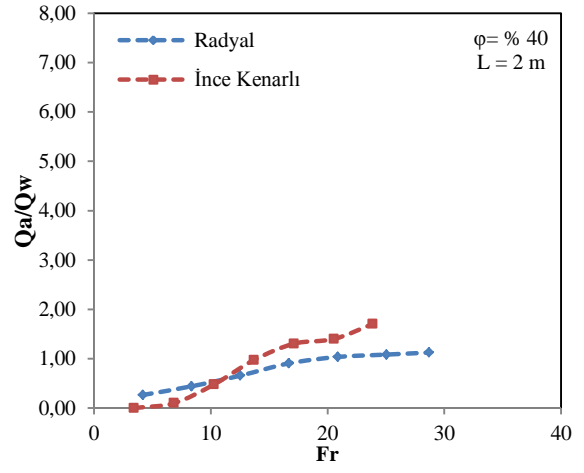


(o)

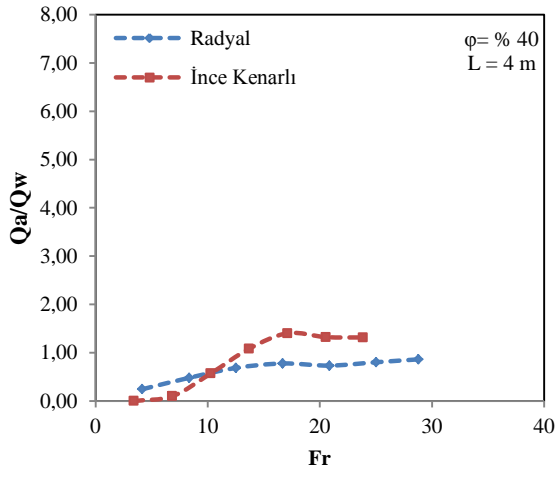
Kapak açıklık oranının %40 ve daha büyük olduğu deney serilerinde kapak geometrisinin pek bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu durum, her iki kapak geometrisinde de kapak memba ve mansap arasındaki basınç farklarının çok düşük olmasından kaynaklanabilir.



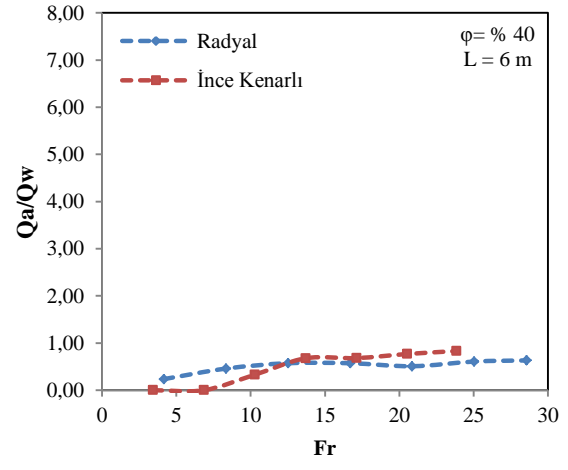
(ö)



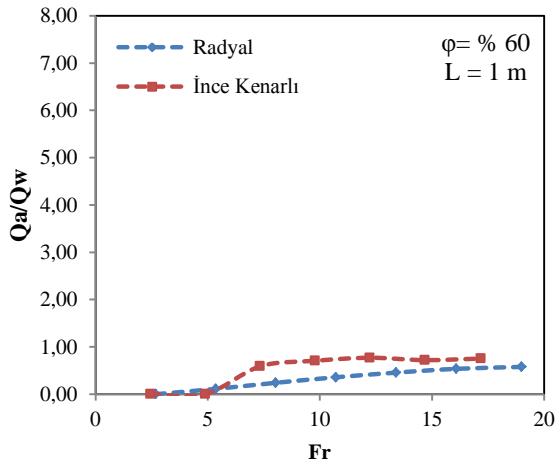
(p)



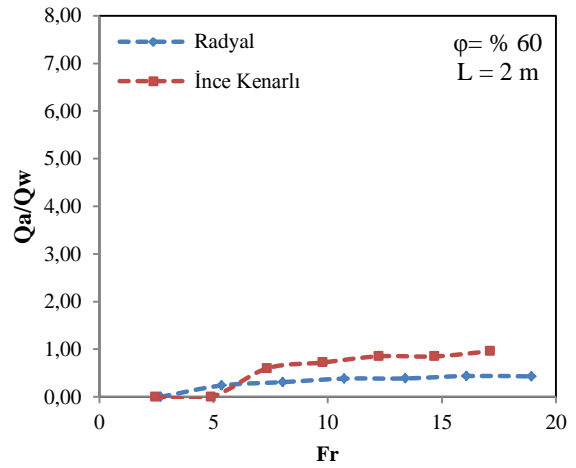
(r)



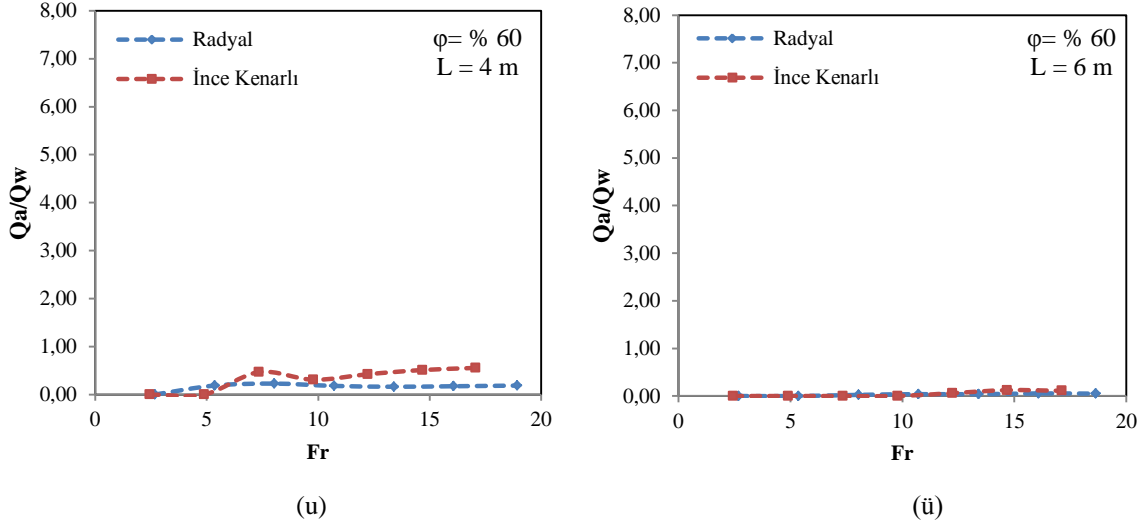
(s)



(ş)



(t)

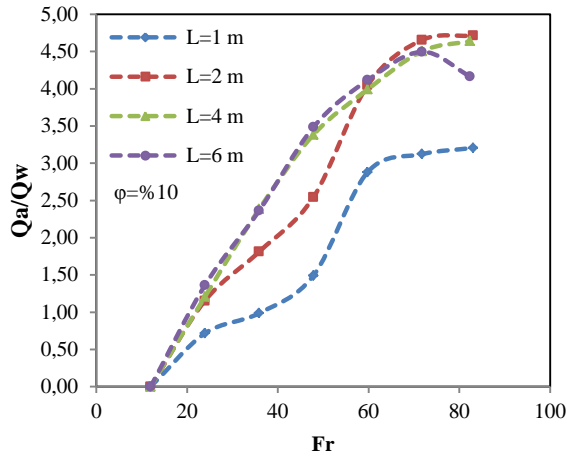


Şekil 6.10. Kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi

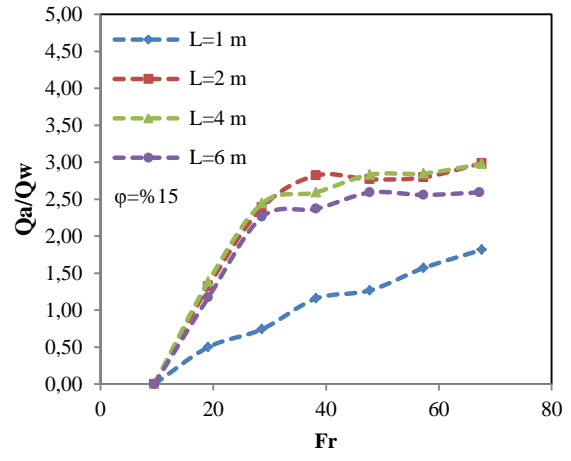
6.3. Dairesel Kesitli Konduite Ait Deneysel Sonuçları

6.3.1 Radyal Kapaklı Konduitelere Ait Deneysel Sonuçları

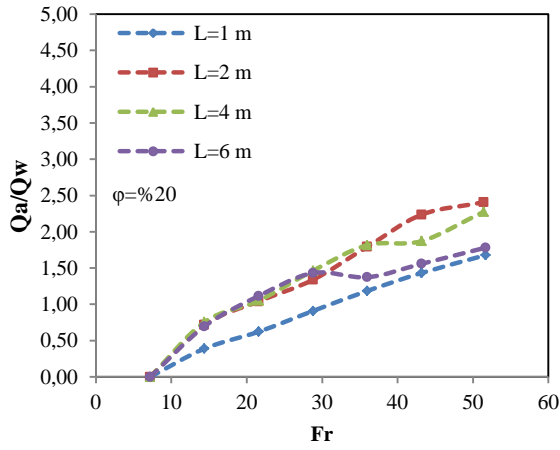
Şekil 6.11 de her bir kapak açıklık oranının konduit uzunluğuna göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. %10 kapak açıklık oranında en küçük hava giriş oranı 1 m'lik konduit uzunluğunda gerçekleşirken diğer konduit uzunluklarında hava giriş oranı hemen hemen yakın değerler almıştır. Kapak açıklık oranının artması ile birlikte konduit uzunluğunun hava emme performansı üzerindeki etkisi azalmıştır. Bu deney grubu içerisinde en iyi Q_a/Q_w değeri %10 kapak açıklığında 2 m'lik konduit uzunluğunda meydana gelmektedir. %10 kapak açıklık oranında Froude sayısının artması ile birlikte tüm konduit uzunluklarında Q_a/Q_w değeri hemen hemen doğrusal bir artış göstermiştir. Ancak kapak açıklık oranı artması ile birlikte Q_a/Q_w değerindeki artış eğilimi aynı hızda olmamıştır. Deneysel sonuçları incelendiğinde sisteme maksimum su debisi bu deney grubunda iletilmiştir. Bunun sebebi bu deney grubunun enerji kaybının diğer deney grubuna göre daha az olmasıdır. Ayrıca sistem içerisine çekilen en yüksek hava debisi yine bu deney grubunda sağlanmaktadır. Dairesel kesitli konduitlerde sisteme çekilen hava debisi daha fazla olmasıyla birlikte iletilen su debisi de fazla olduğundan dolayı hava giriş oranı Q_a/Q_w değeri diğer kesitler ile aynı değerlere ulaşmaktadır.



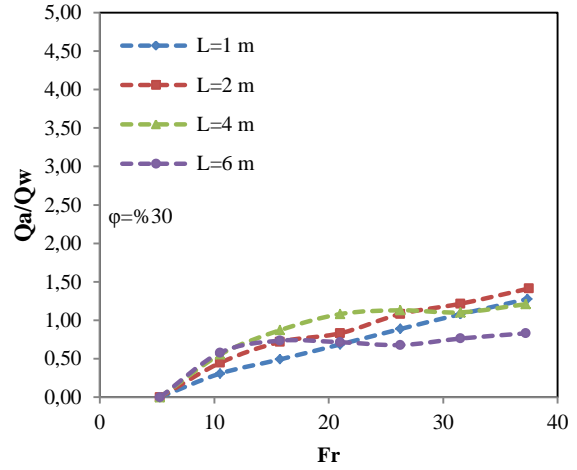
(a)



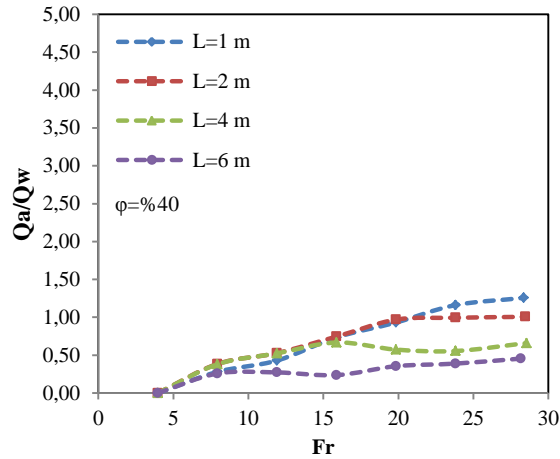
(b)



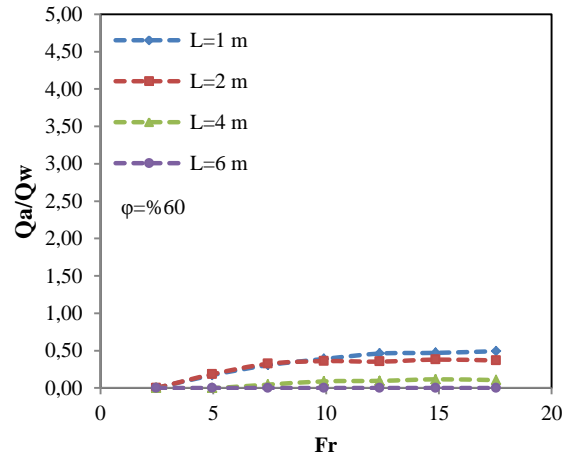
(c)



(d)



(e)



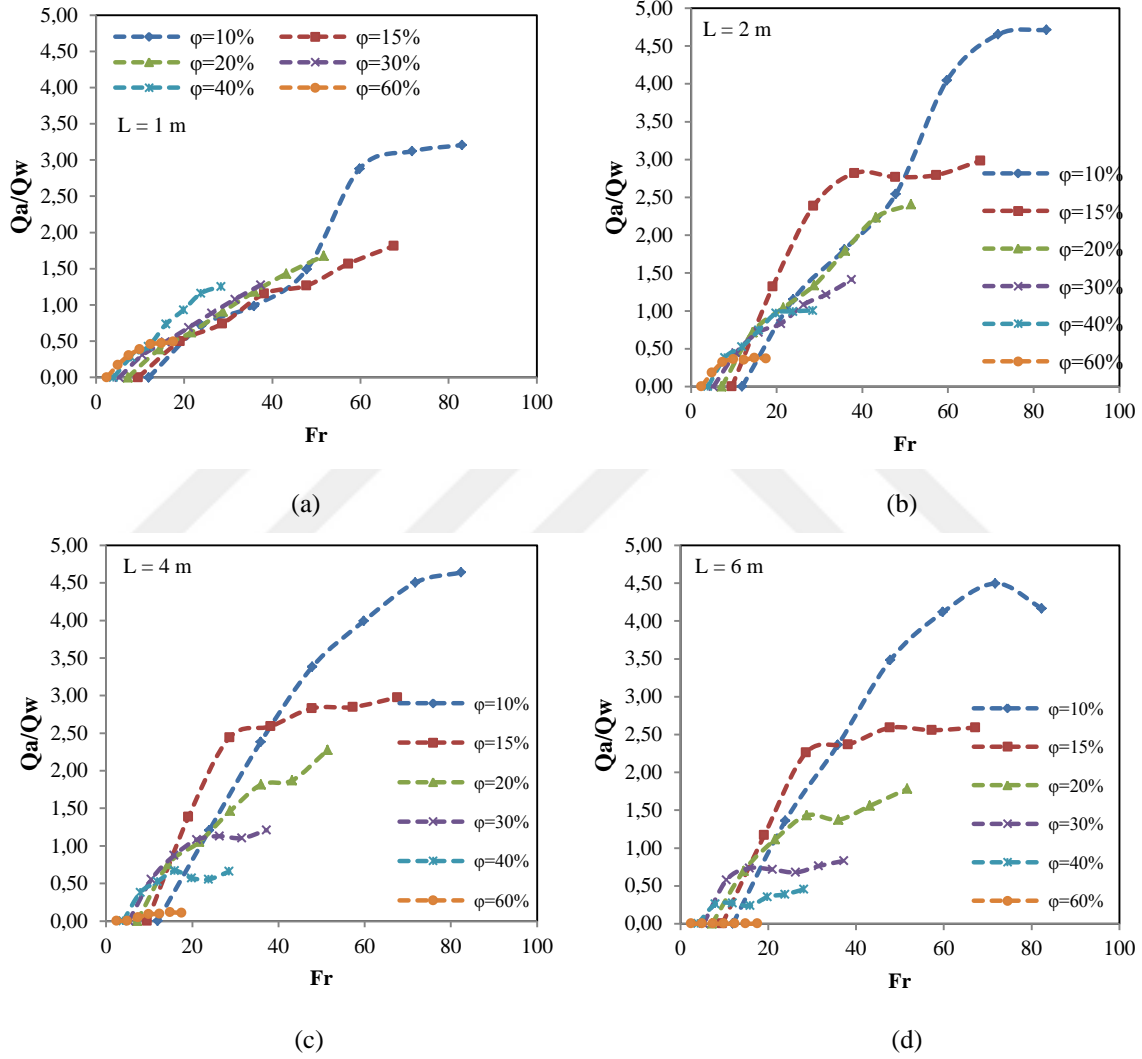
(f)

Şekil 6.11. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı kondüt uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

Şekil 6.12'de her bir kondüt uzunluğunun farklı kapak açıklık oranlarına göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir.

Froude sayısı arttıkça hava giriş oranının arttığı görülmüştür. Ancak bu artış küçük kapak açıklık oranlarında daha belirgindir.

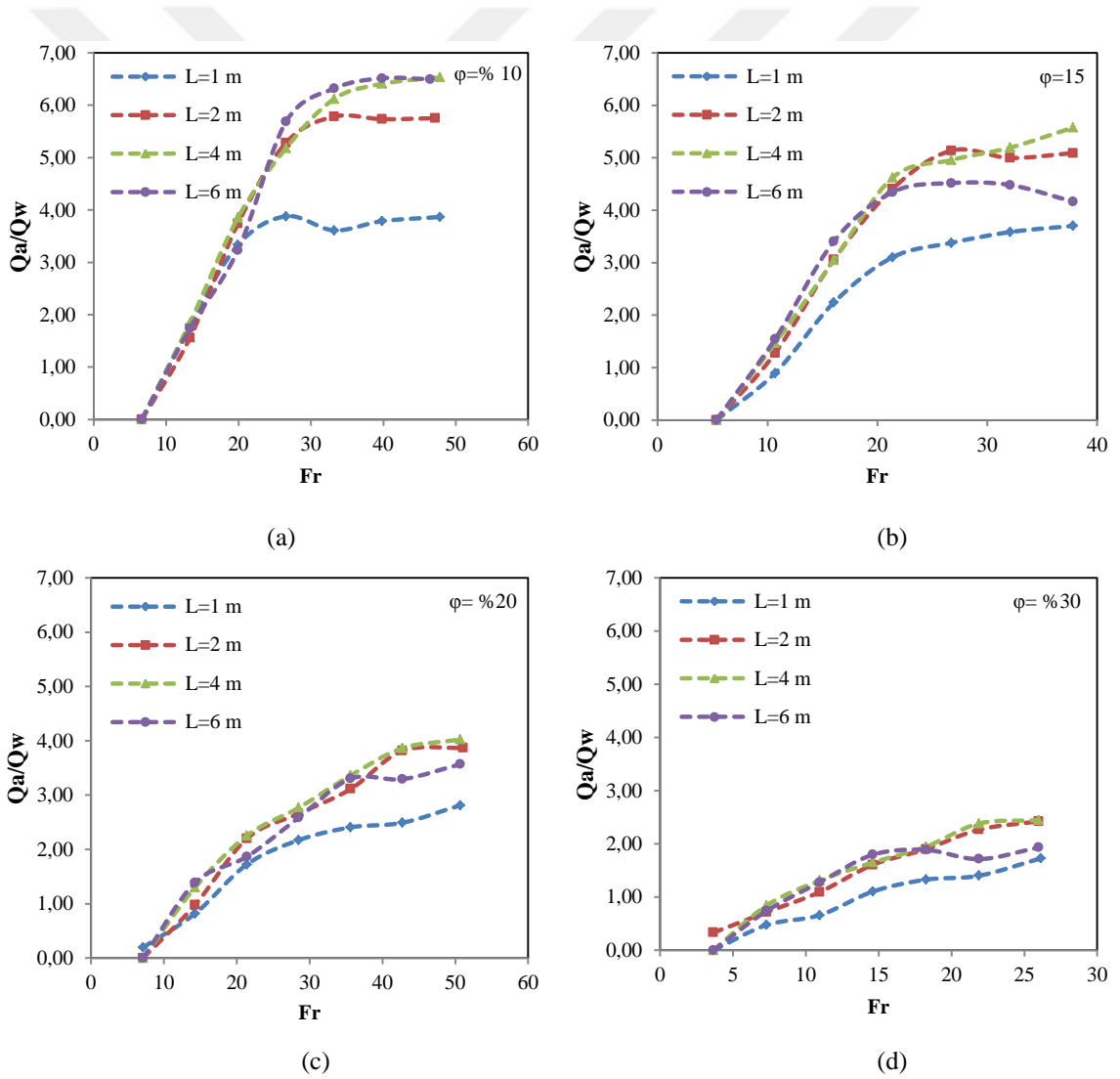
Tüm konduit uzunluklarında kapak açıklık oranının artması ile hava giriş oranları azalmıştır. 1 m lik konduit uzunluğunda tüm kapak açıklık oranlarında Froude sayısının artmasıyla Q_a/Q_w değeri sürekli artış eğilimi göstermişlerdir. Ancak konduit uzunluğunun artması ile tüm kapak açıklık oranlarında hava giriş oranı belirli bir Froude değerine kadar hızla artmış daha sonra Froude sayısı artsa bile hava giriş oranı aynı trendde artmamıştır.

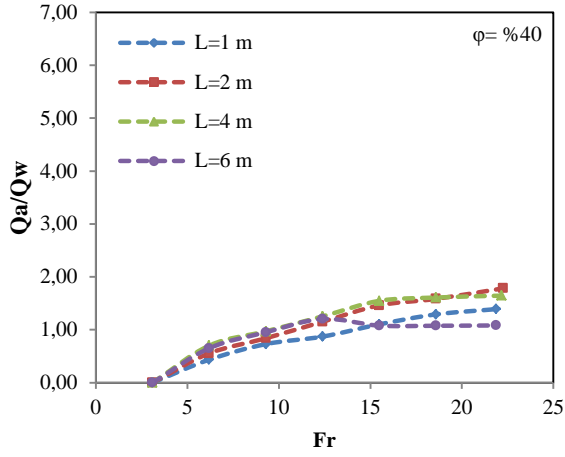


Şekil 6.12. Belirli konduit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

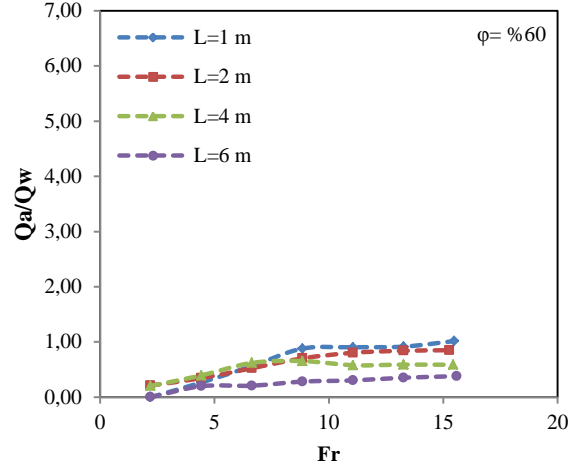
6.3.2. İnce Kesitli Kapaklı Konduitlere Ait Deneysel Sonuçları

Şekil 6.13 de her bir kapak açıklık oranının konduit uzunluğuna göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Kapak açıklık oranının düşük olduğu deney serilerinde konduit uzunluğu arttıkça Q_a/Q_w oranının arttığı görülmektedir. Buna karşılık kapak açıklık oranının arttığı durumlarda boru boyunun artması ile Q_a/Q_w oranının azaldığı görülmüştür. Hemen hemen bütün boru boyları ve kapak açıklıkları için 20-30 Froude sayısına kadar maksimum hava emme performansı elde edilmiş olup bu Froude değerlerinden sonra hava emme performansında önemli bir artış görülmemiştir.





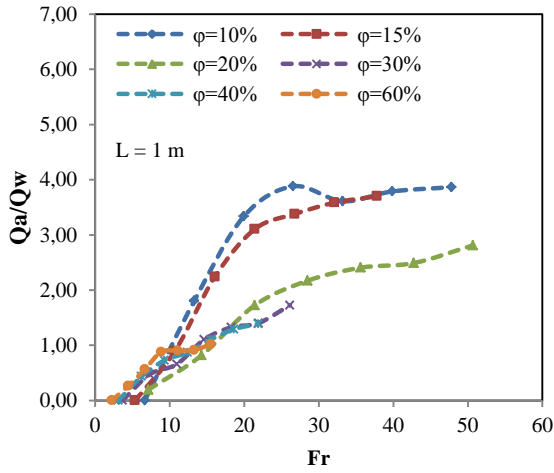
(e)



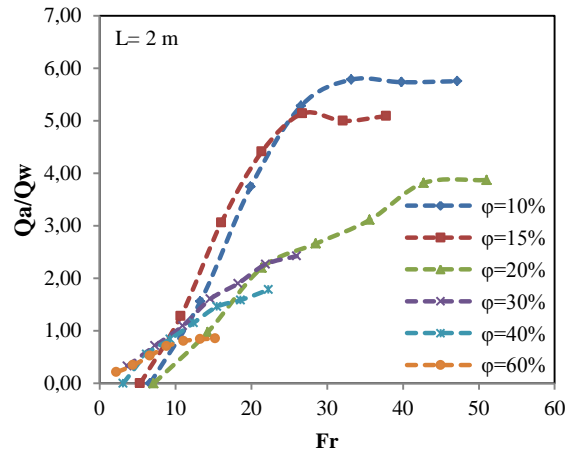
(f)

Şekil 6.13. Belirli kapak açıklık oranı ve farklı konduit uzunlukları için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

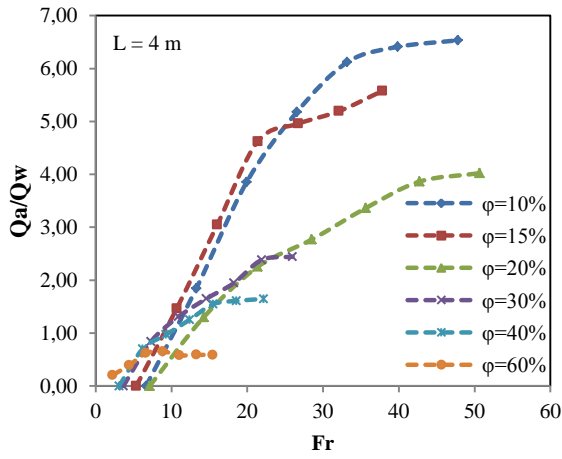
Şekil 6.14'de her bir konduit uzunluğunun farklı kapak açıklık oranlarına göre etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Hava emme performansı %10 kapak açıklık oranında maksimum değere ulaşmıştır. Kapak açıklık oranının artması ile hava giriş oranları azalmıştır. Buradan kapak açıklık oranı ile hava emme performansı arasında ters orantının olduğu görülmektedir.



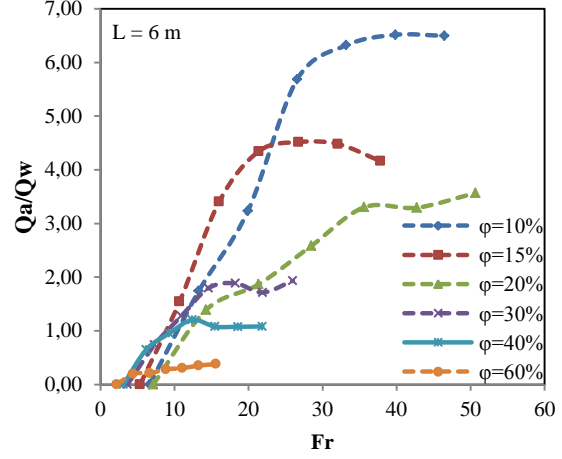
(a)



(b)



(c)

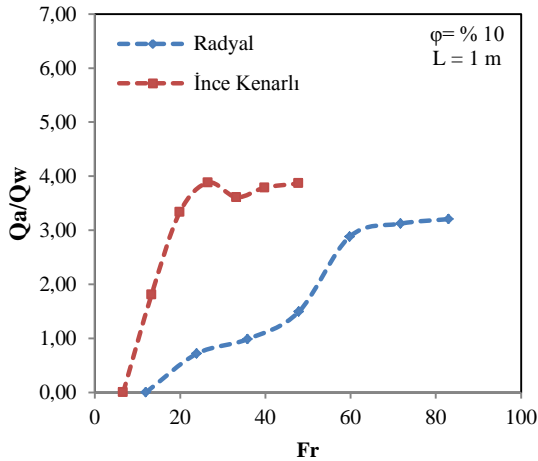


(d)

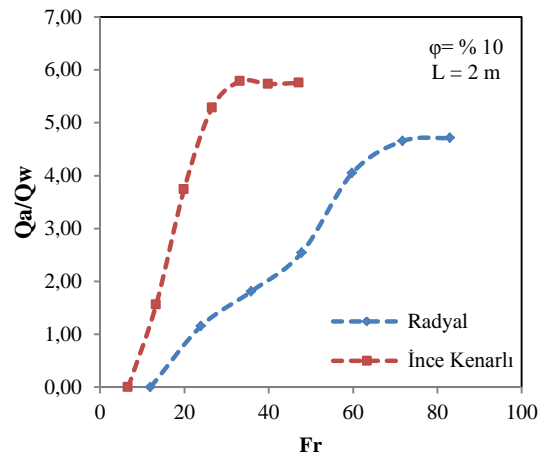
Şekil 6.14. Belirli kondüit uzunlukları ve farklı kapak açıklık oranı için Q_a/Q_w 'nin Fr ile değişimi

6.3.3. Kapak Geometrisinin Etkisi

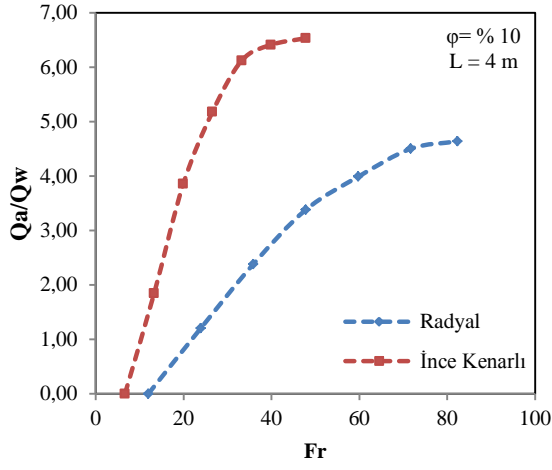
Şekil 6.15 de kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Tüm gruplarda ince kenarlı kapağın hava emme performansının radyal kapağa göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi radyal kapakta yersel yük kayıplarının az olması nedeniyle kondüit kesitinden geçen suyun debisinin artmasıdır. Buna paralel olarak konduite çekilen hava miktarının aynı oranda artmamasıdır.



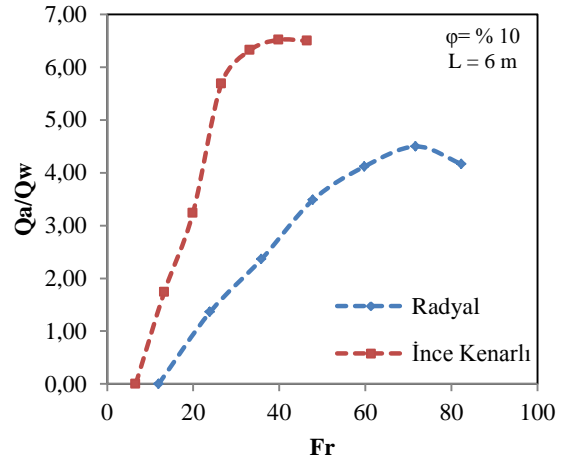
(a)



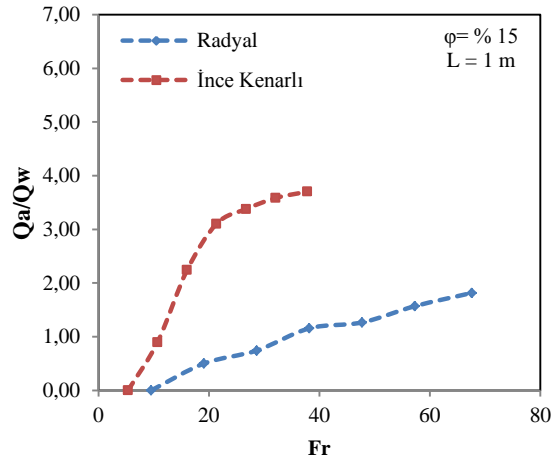
(b)



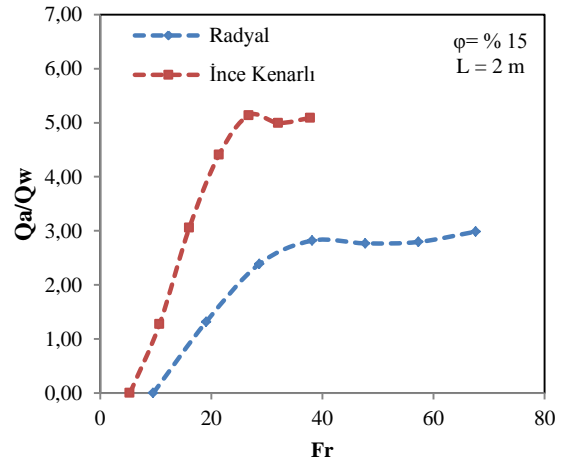
(c)



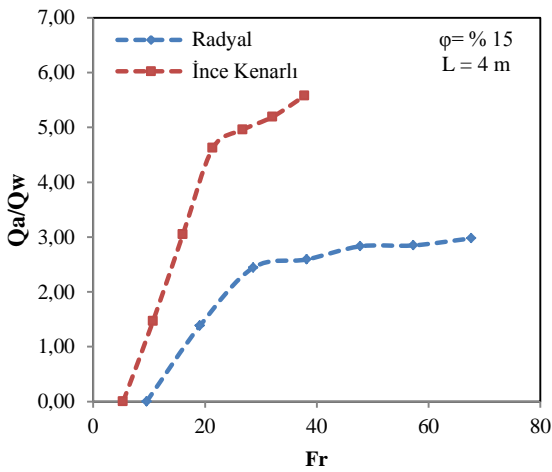
(d)



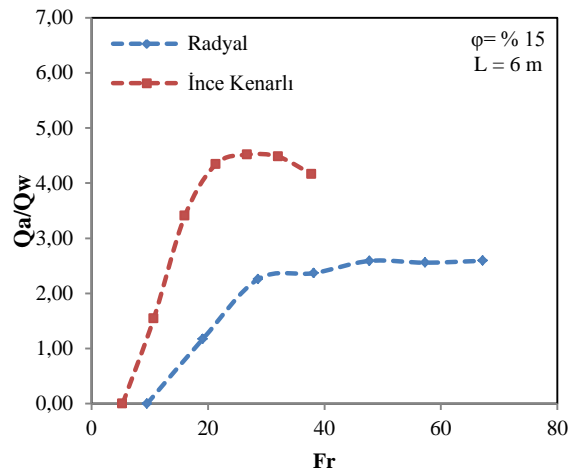
(e)



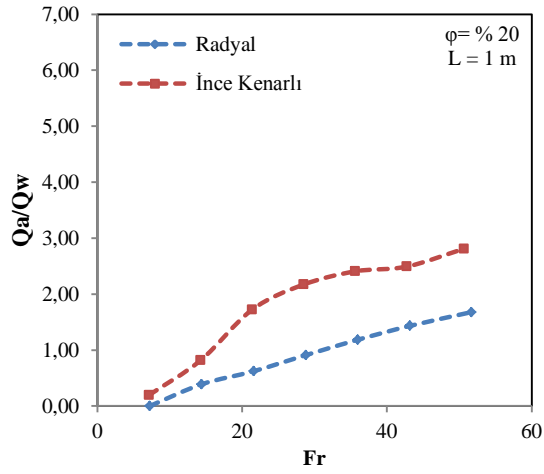
(f)



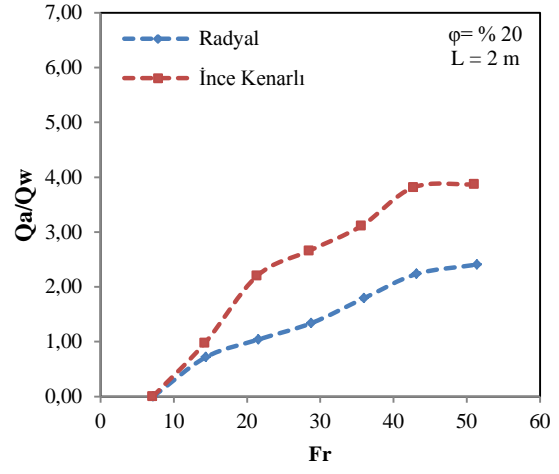
(g)



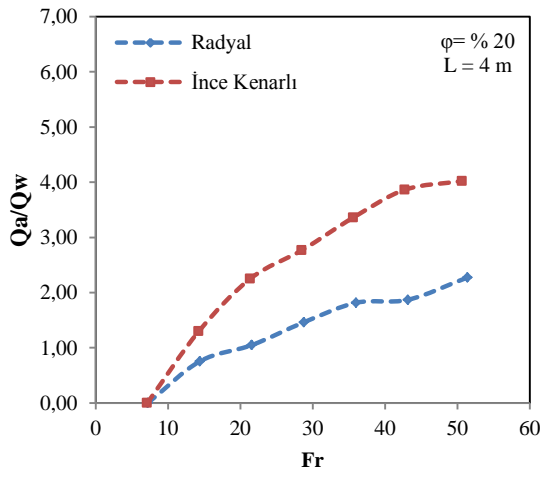
(h)



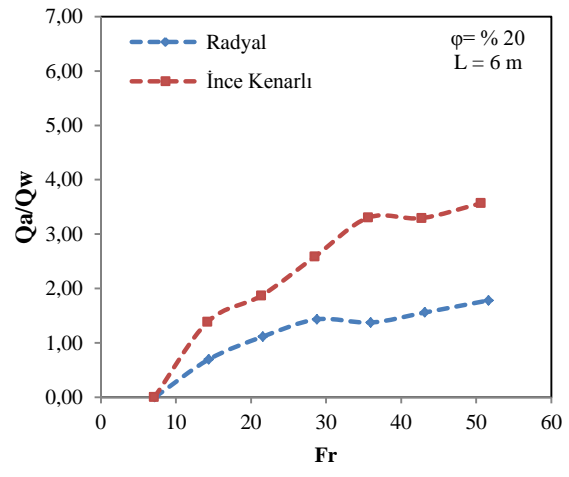
(i)



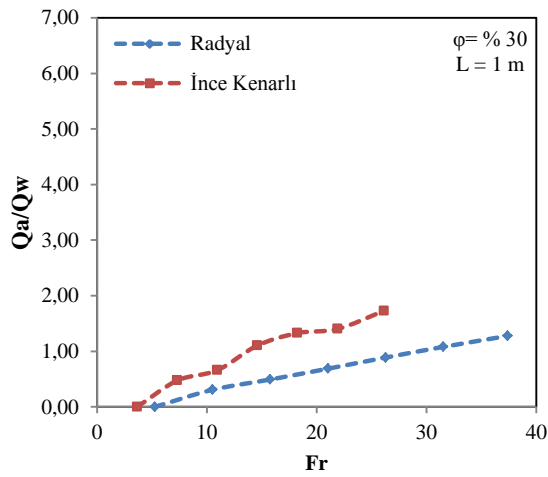
(i)



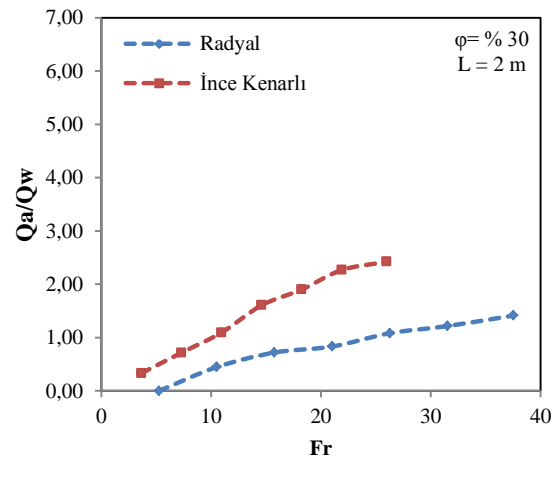
(j)



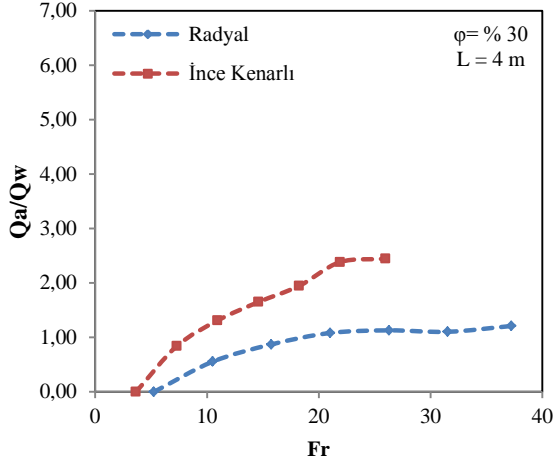
(k)



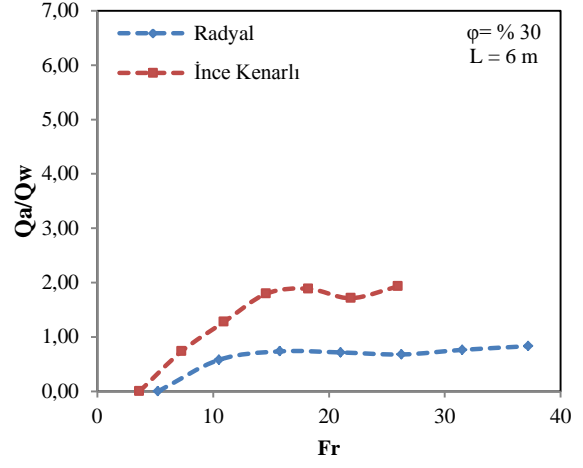
(l)



(m)

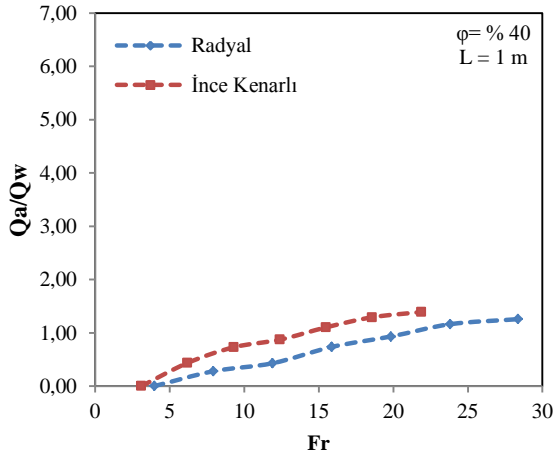


(n)

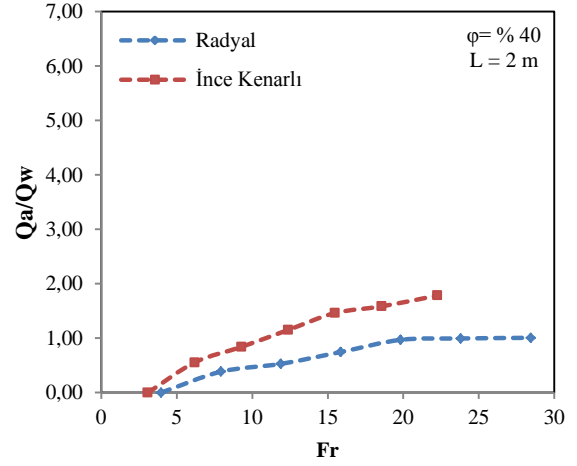


(o)

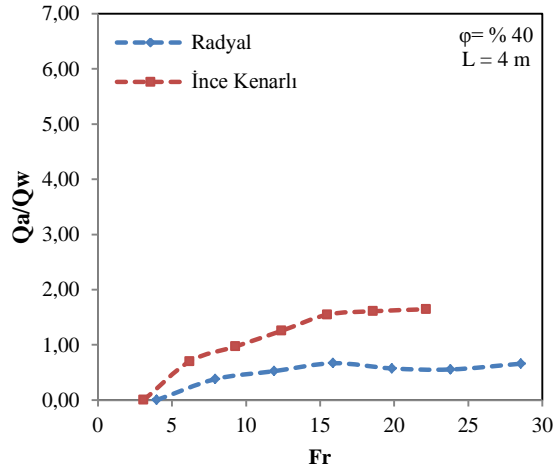
Kapak açıklık oranının %40 ve daha büyük olduğu deney serilerinde kapak geometrisinin pek bir etkisi olmadığı görülmektedir. Kapak açıklık oranının artması ile ince kenarlı kapaklı konduitlerdeki hava giriş oranı kaybı radyal kapağa göre daha fazla olmaktadır.



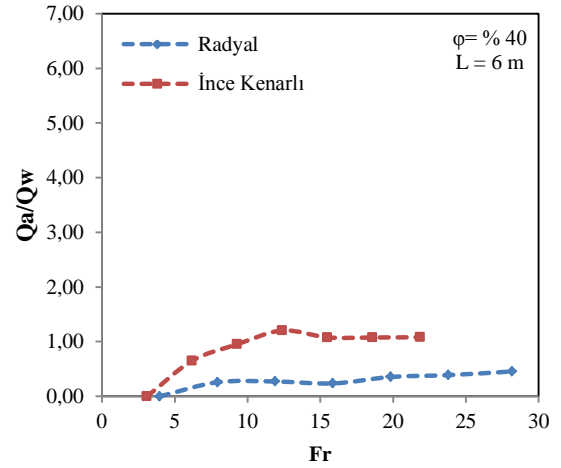
(ö)



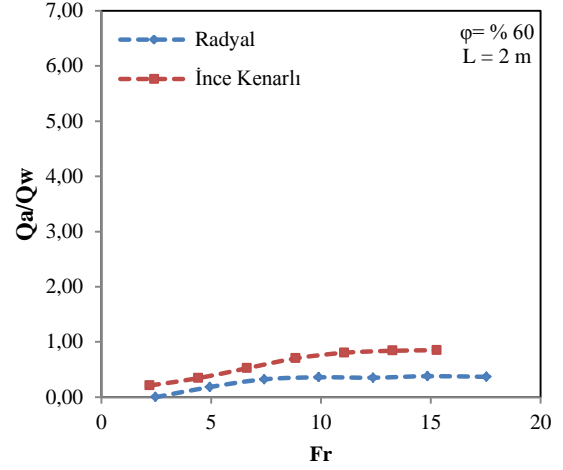
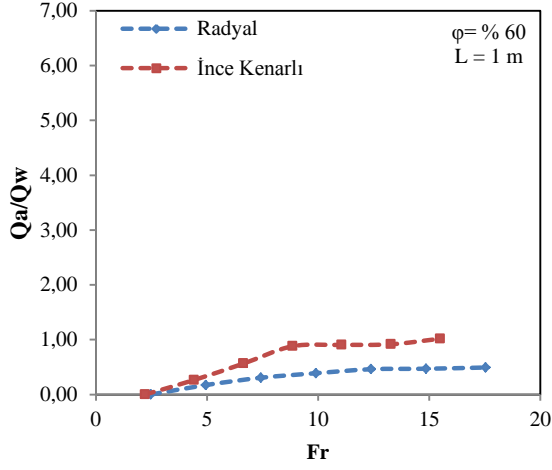
(p)



(r)

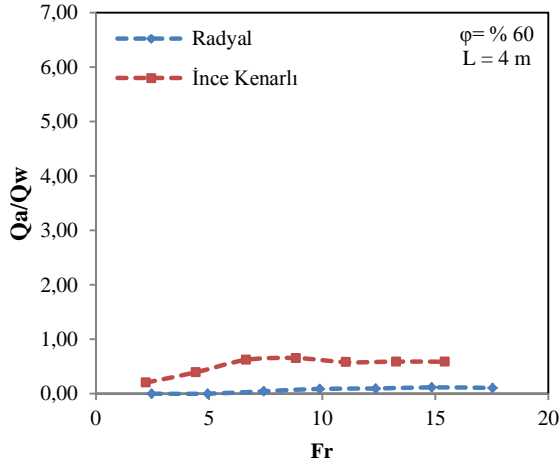


(s)

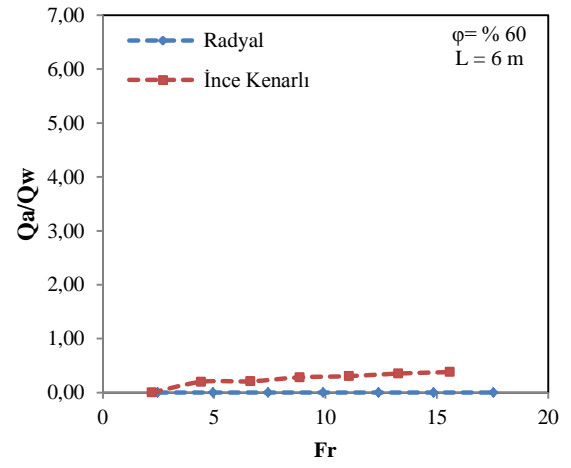


(ş)

(t)



(u)



(ü)

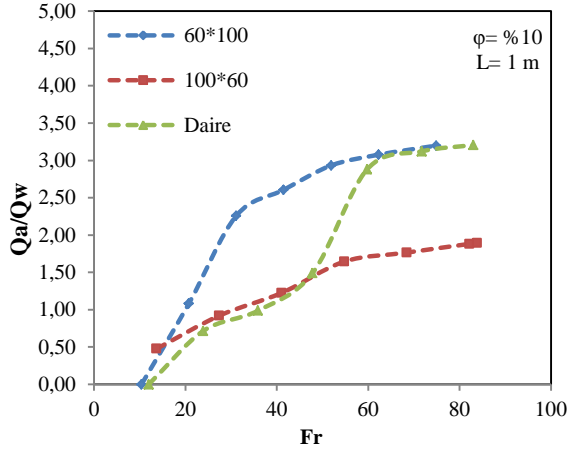
Şekil 6.15. Kapak geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi

6.4. Konduit Geometrisinin Etkisi

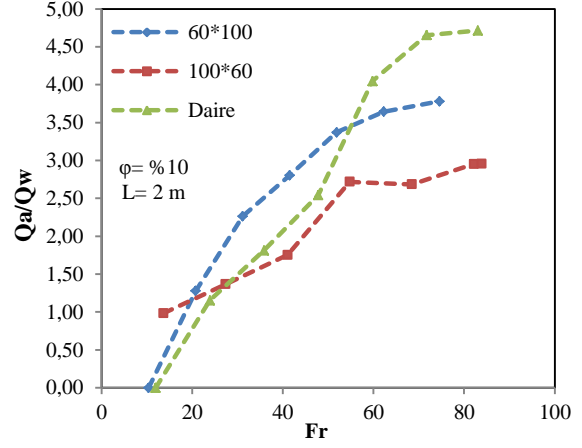
6.4.1. Radyal Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları

Şekil 6.16 da konduit geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde %10 kapak açıklık oranında konduit geometrisinin etkisinin olduğu görülmektedir. Dairesel kesitli konduitler havalandırma performansı yönünden diğer alternatiflere göre avantajlıdır. Ancak kapak açıklık oranı arttıkça konduit geometrisinin etkisinde azaldığı görülmektedir. Kapak açıklık oranı arttıkça Q_a/Q_w oranının artış eğilimi kesilmekte ve belirli bir Froude sayısından sonra Q_a/Q_w oranının değişmeden sabit kaldığı görülmektedir. %60 kapak açıklık oranına ait deney serilerinde genellikle Q_a/Q_w oranı minimum

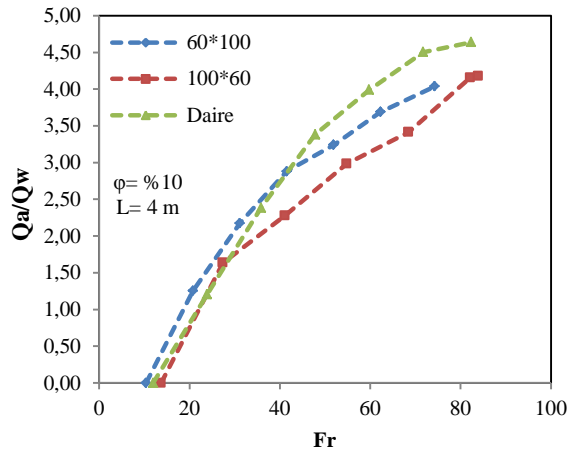
değerlerini almıştır. Bu gruba ait tüm deney serilerinde havalandırma performansının en yüksek olduğu alternatif konduit uzunluğunun 2 m, kapak açıklık oranının %10 olduğu dairesel kesitli konduitlerde gerçekleşmiştir.



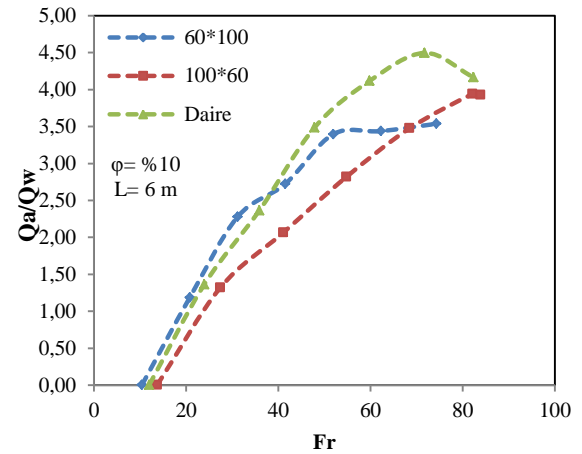
(a)



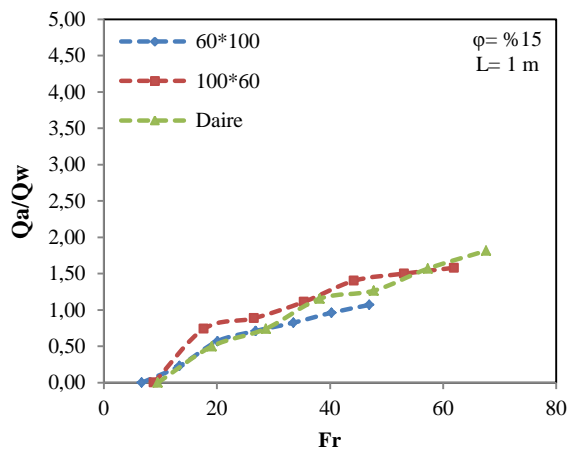
(b)



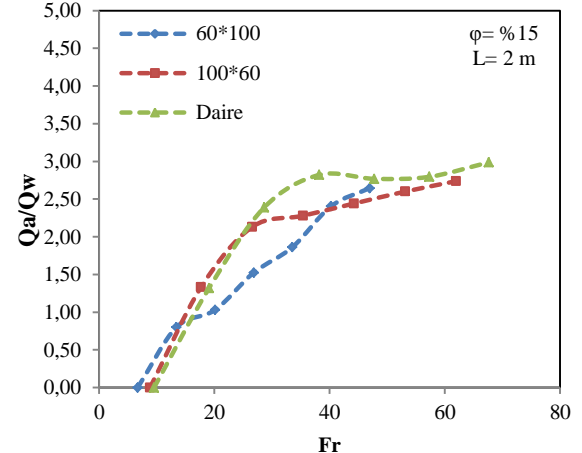
(c)



(d)

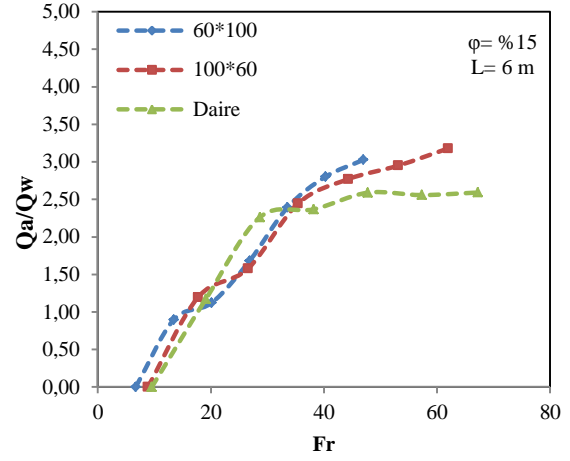
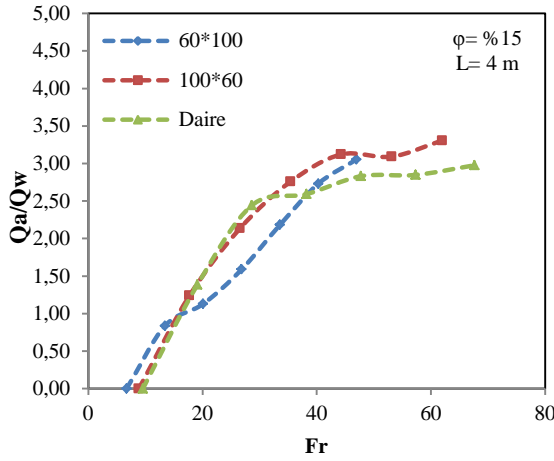


(e)



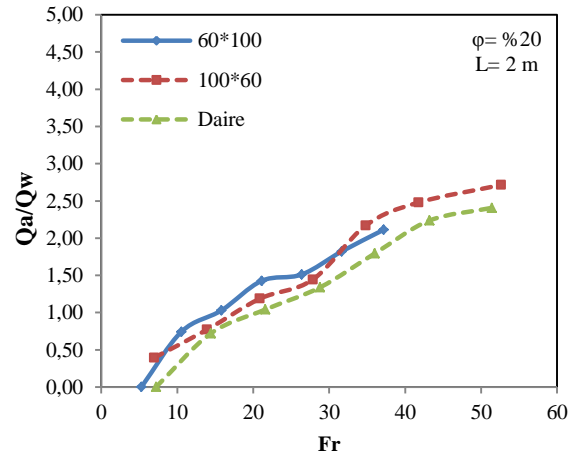
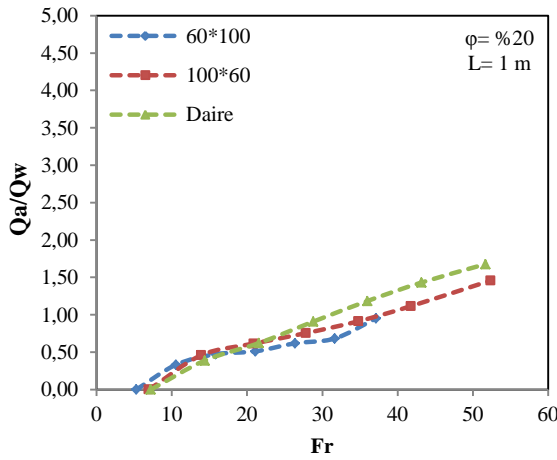
(f)

Aynı kapak açıklık oranlarında dikdörtgen kesitlerin tam dolu akamaması ve buna bağlı olarak meydana gelen ölü hacimlerin fazlalığı sebebiyle dikdörtgen kesitli konduitlerden daha az su debisi geçmektedir. Sisteme giren hava debileri incelendiğinde ise dairesel kesitli konduitlerin dikdörtgen kesitli konduitlere göre daha fazla hava debisi çektiği belirlenmiştir.



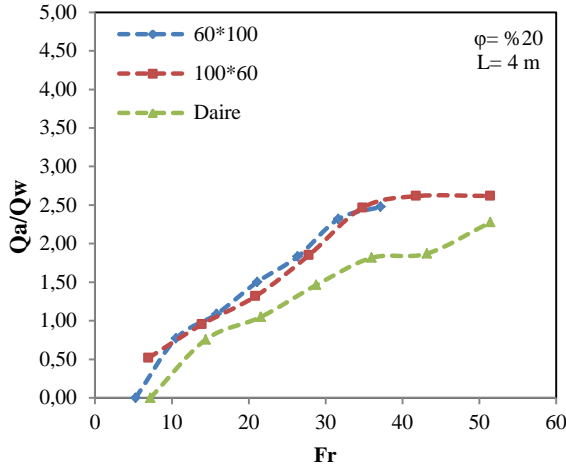
(g)

(h)

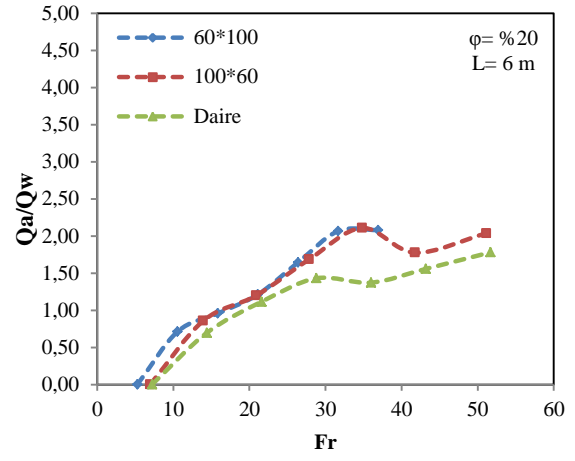


(i)

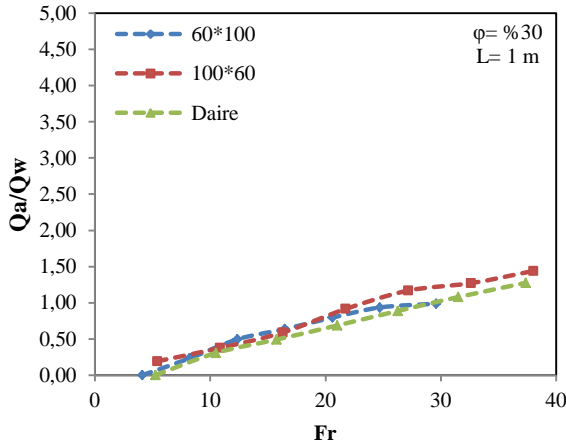
(i)



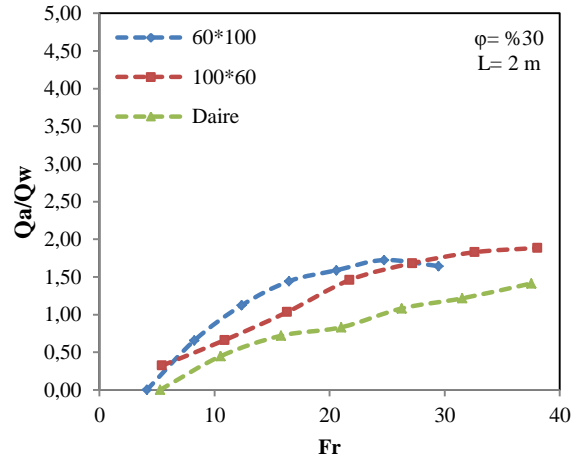
(j)



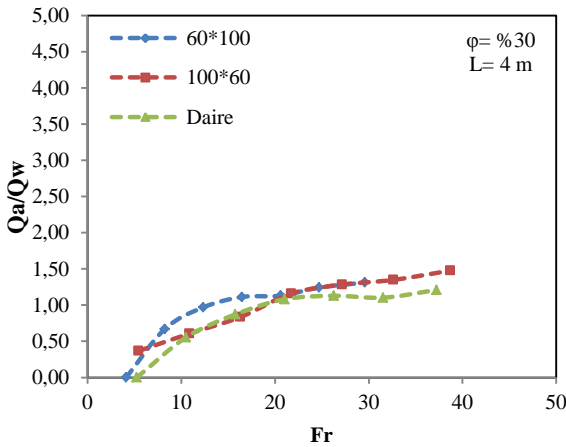
(k)



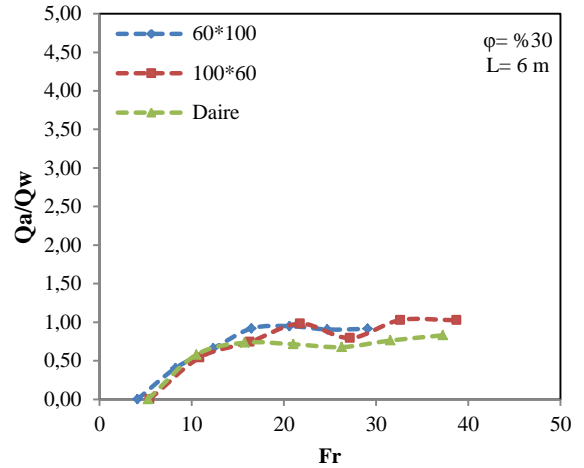
(l)



(m)

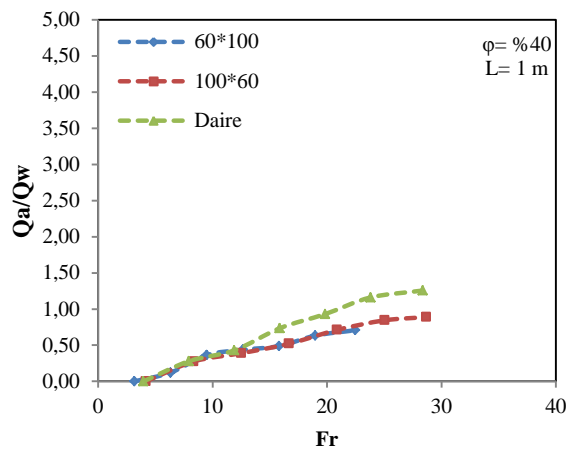


(n)

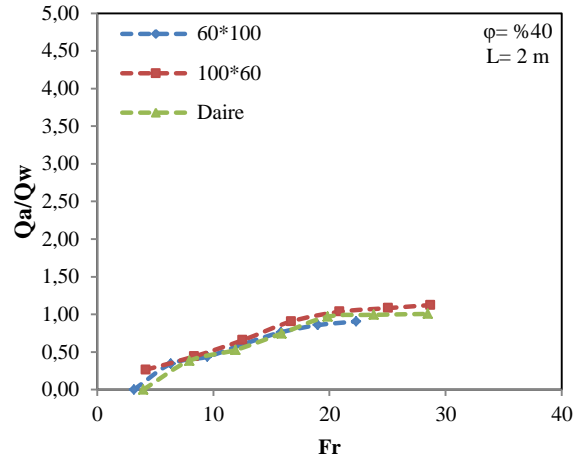


(o)

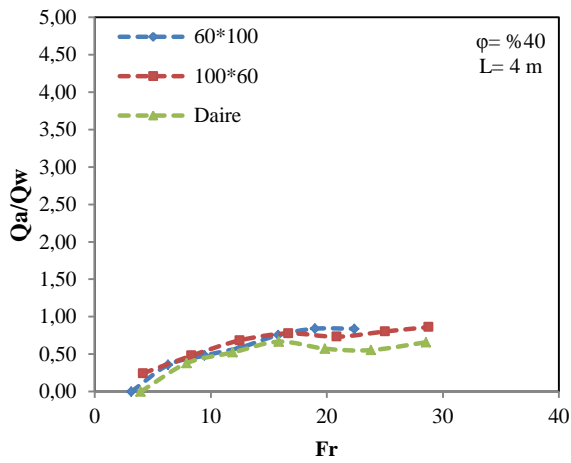
Dairesel kesitli konduitlerde sisteme çekilen hava debisi daha fazla olmasıyla birlikte iletilen su debisi de fazla olduğundan dolayı hava giriş oranı Q_a/Q_w değeri diğer kesitler ile aynı değerlere ulaşmaktadır. Bu sebeple enkesit şekillerinin havalandırma performansı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



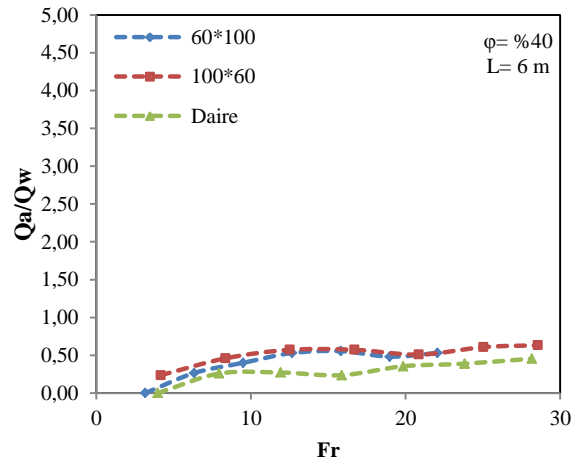
(ö)



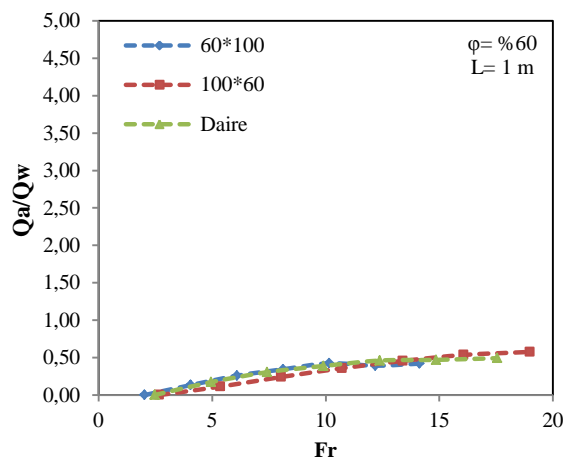
(p)



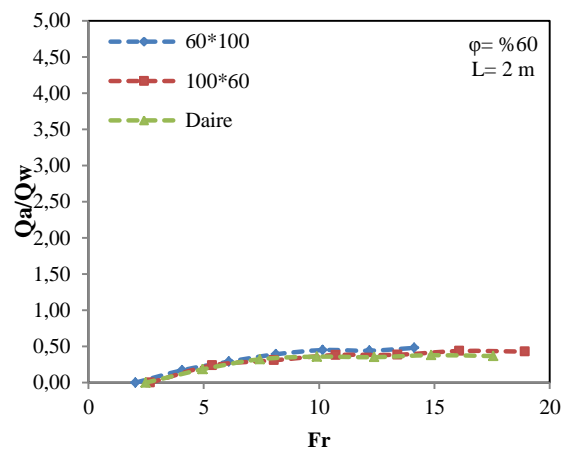
(r)



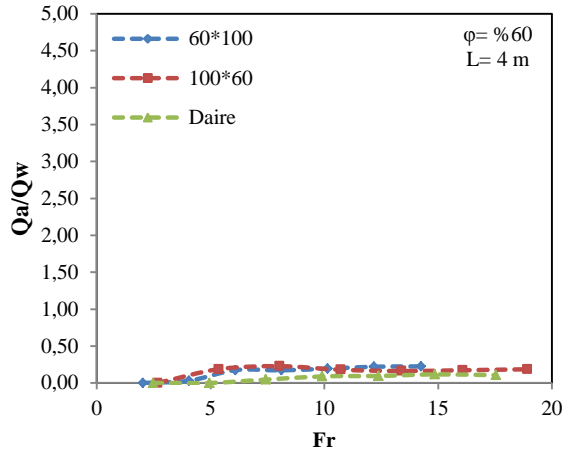
(s)



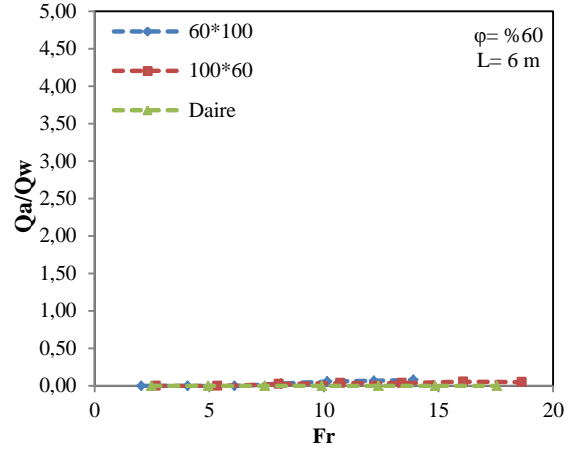
(ş)



(t)



(u)

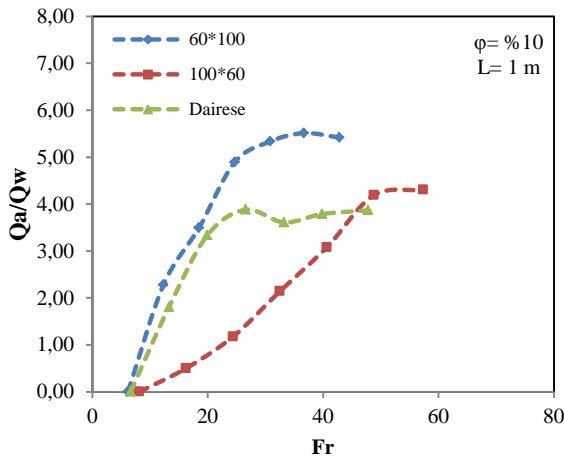


(ii)

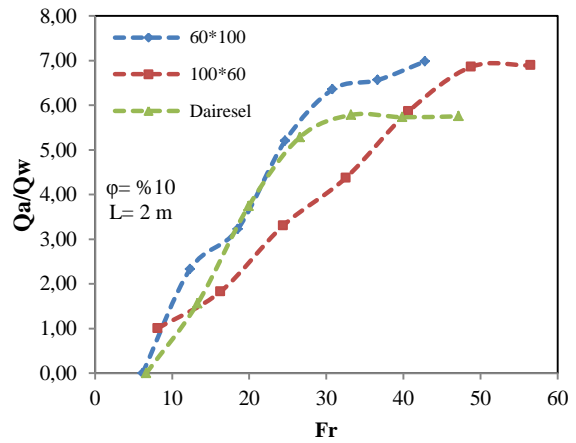
Şekil 6.16 Konduit geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi

6.4.2. İnce Kenarlı Kapaklı Konduitlere Ait Deneysel Sonuçları

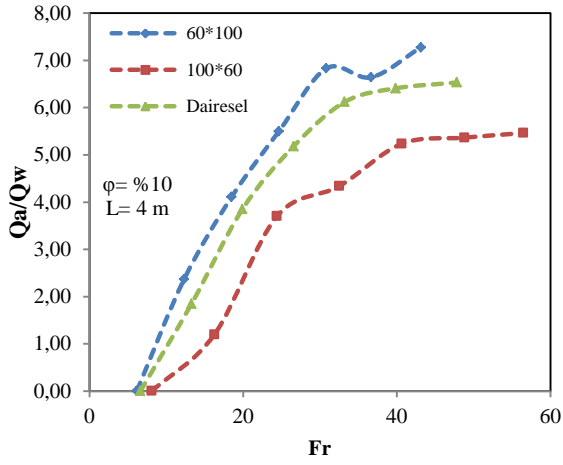
Şekil 6.17 de konduit geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Deneysel sonuçları incelendiğinde %10 ve %15 kapak açıklık oranlarında konduit geometrisinin etkisinin olduğu görülmektedir. 60x100 dikdörtgen kesitli konduitler havalandırma performansı yönünden diğer alternatiflere göre avantajlıdır. Tüm deneysel serilerinde havalandırma performansının en yüksek olduğu alternatif konduit uzunluğunun 4 m, kapak açıklık oranının %10 olduğu 60x100 kesitli dikdörtgen konduitlerde gerçekleşmiştir. Q_a/Q_w 'nin değeri 7.27 olarak tespit edilmiştir. Havalandırma performansı açısından en düşük performans 100x60 kesitli dikdörtgen konduitlerde gerçekleşmiştir.



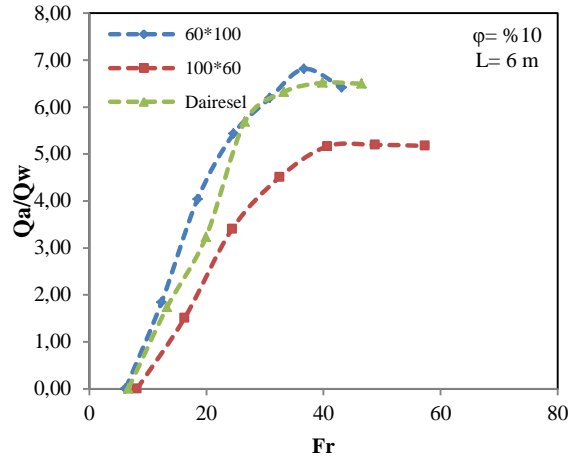
(a)



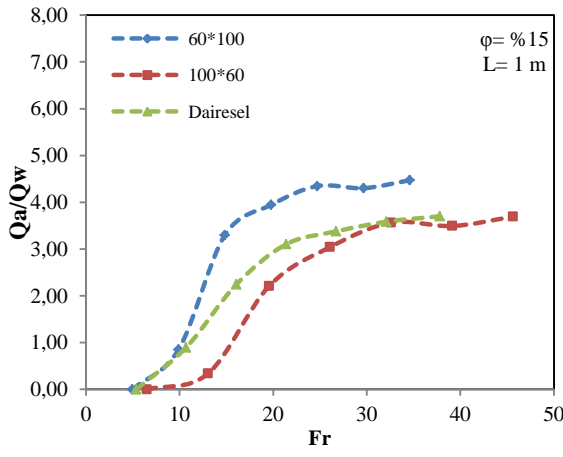
(b)



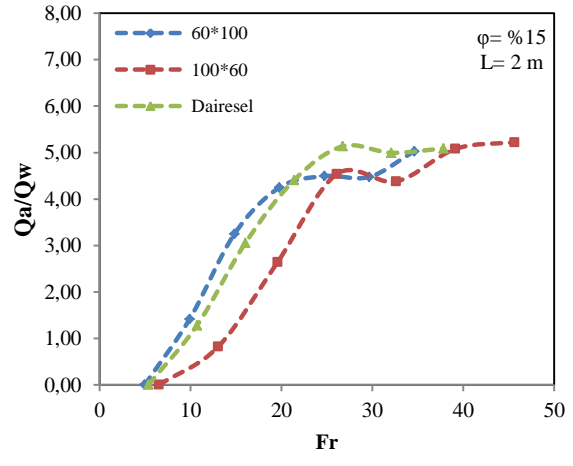
(c)



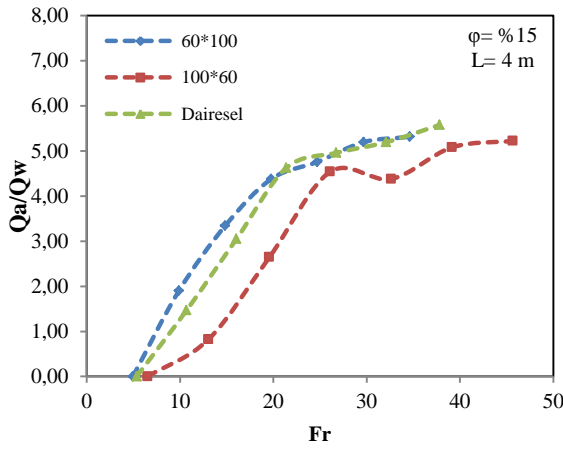
(d)



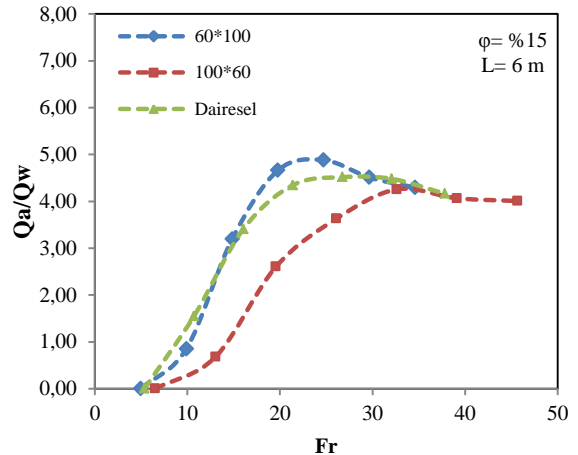
(e)



(f)

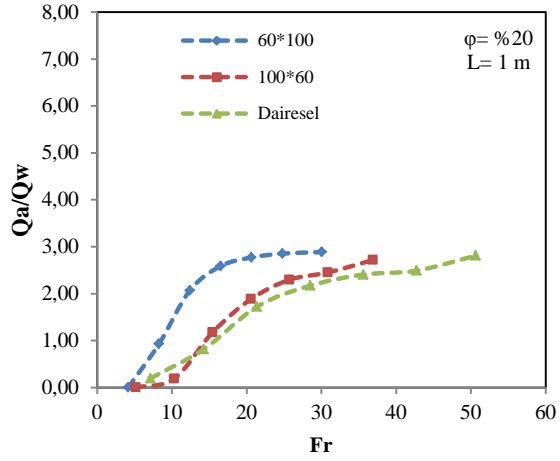


(g)

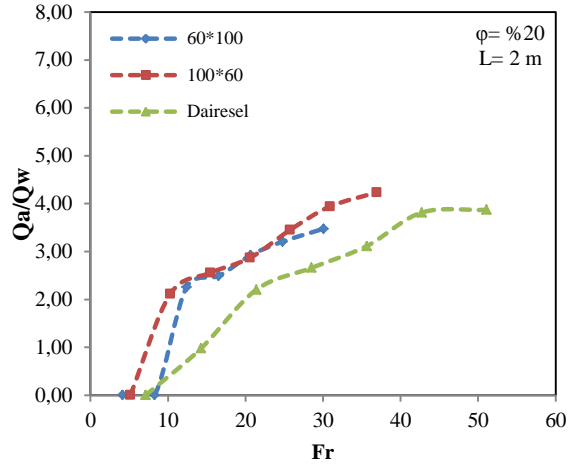


(h)

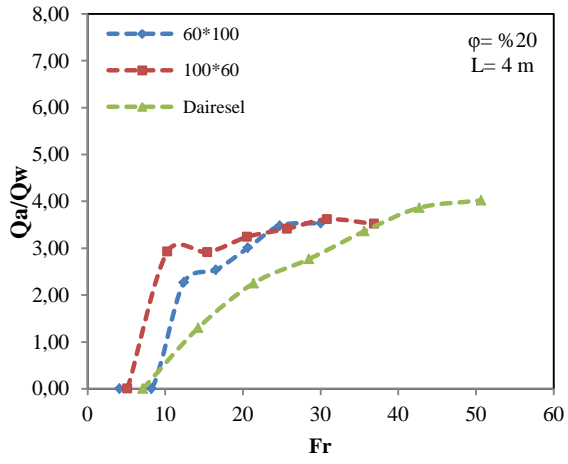
%20 kapak açıklık oranından sonraki değerlerde konduit geometrisinin etkisinin de azaldığı görülmektedir. Kapak açıklık oranı arttıkça Q_a/Q_w oranının artış trendi kesildiği görülmektedir. Ayrıca Froude sayısının 20-30 değerinden sonra Q_a/Q_w oranının değişmediği görülmektedir.



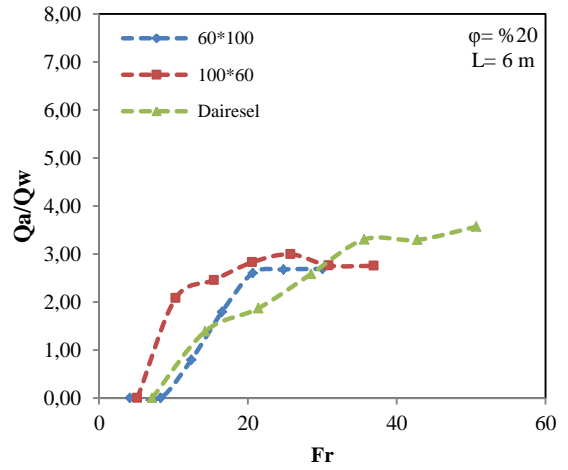
(i)



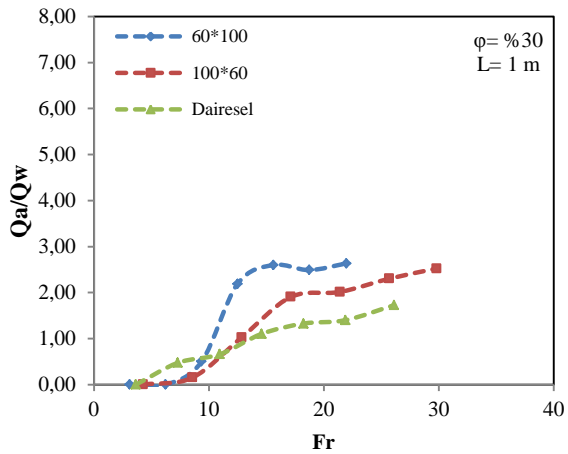
(i)



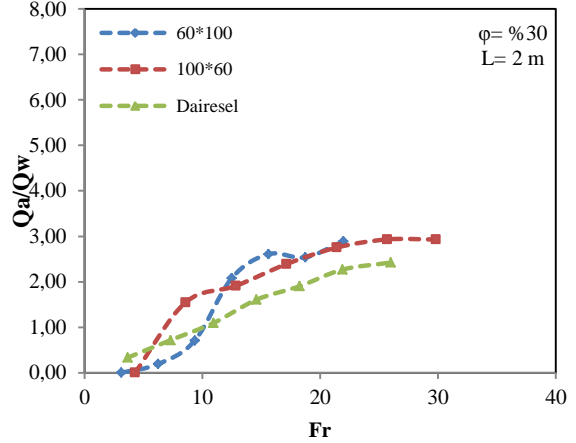
(j)



(k)



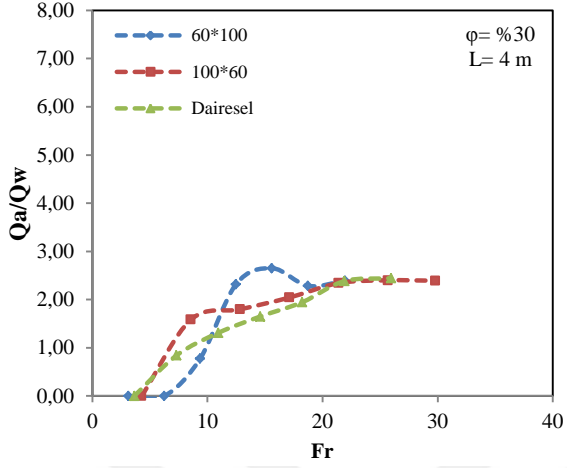
(l)



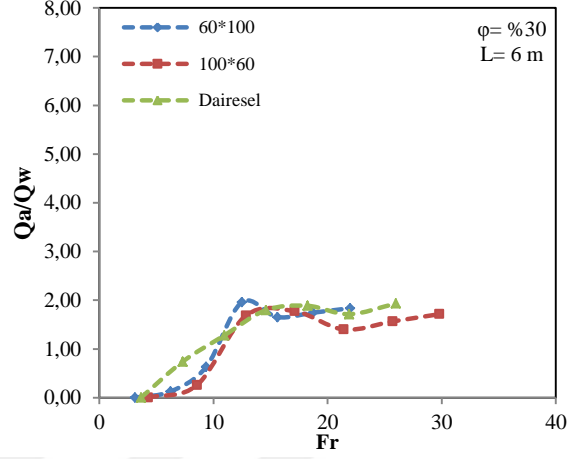
(m)

Deney sonuçları incelendiğinde tüm kapak açıklık oranlarında sistem içerisine hava girişi en fazla dairesel konduitte meydana gelmektedir. Ancak enerji kayıplarının dikdörtgen konduitlerde daha fazla olmasından dolayı daha az su debisi çekilmektedir.

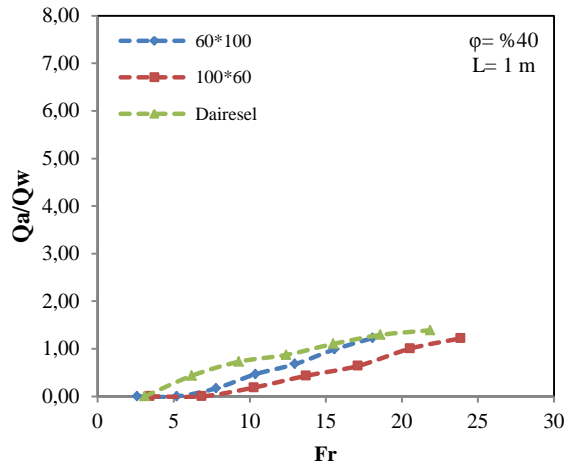
%10 ve %15 kapak açıklık oranlarında dikdörtgen kesitin daha verimli çıkmasının sebebi de sisteme çekilen hava debisi ile iletilen su debisinin oranının daha fazla çıkmasıdır.



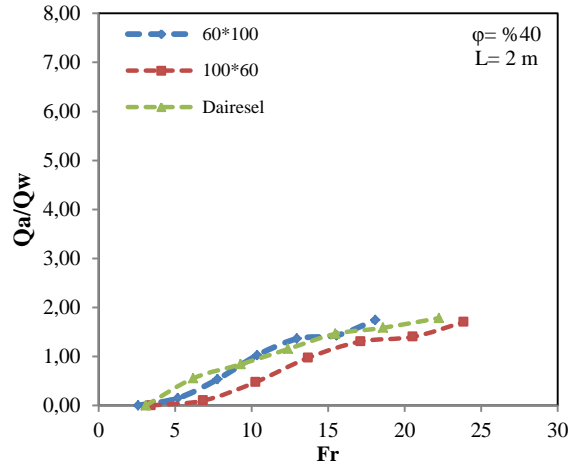
(n)



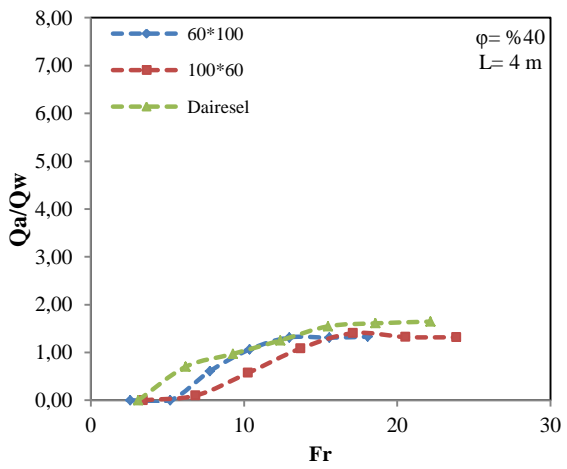
(o)



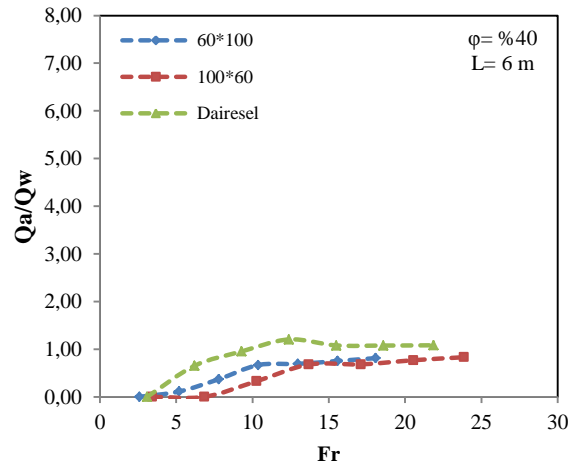
(ö)



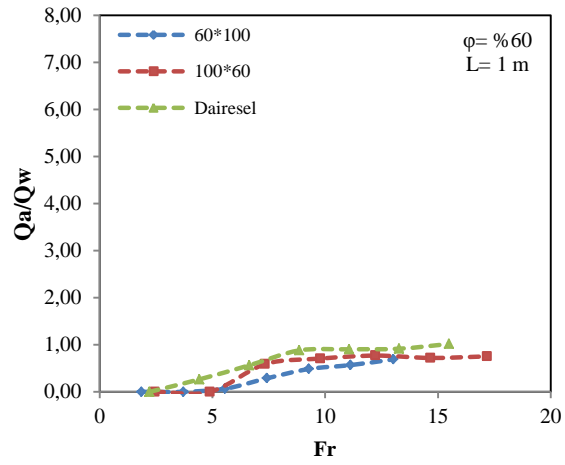
(p)



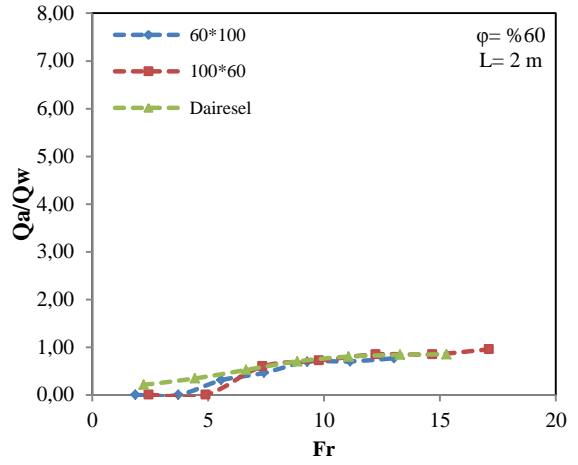
(r)



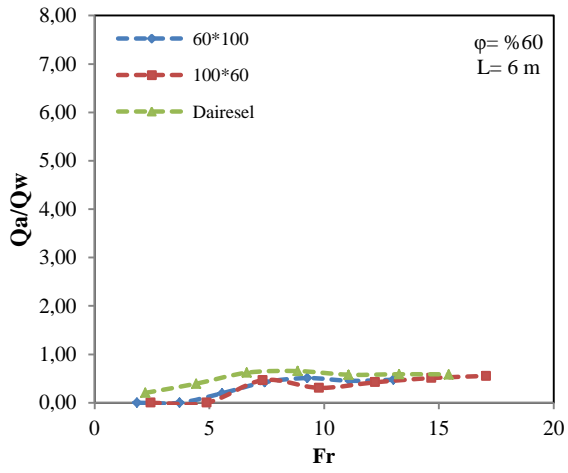
(s)



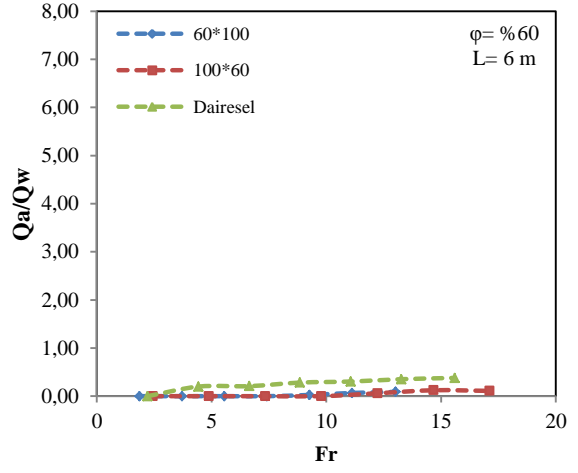
(ş)



(t)



(u)



(ü)

Şekil 6.17 Konduit geometrisinin etkisinin araştırılması için Froude sayısı ile Q_a/Q_w 'nin değişimi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında kurulan deney düzeneğinde hava giriş oranları üzerine fiziksel değişkenlerin etkisinin incelenmesi ve daha verimli hale getirilmesi amacıyla bir dizi ölçüm yapılmıştır. Kurulan deney düzeneği yardımıyla farklı su debisi, kapak açıklık oranı, konduit uzunluğu, konduit enkesit şekli ve kapak şekli gibi parametrelerin hava giriş oranı üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

- Deney sonuçları basınçlı konduitlerin suların havalandırılmasında verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

- En iyi hava giriş oranı 60x100 dikdörtgen kesitli, %10 kapak açıklık oranına sahip ince kenarlı kapak şeklinde ve 4 m konduit uzunluğunda gerçekleşmiş ve hava giriş oranı 7.27 olarak hesaplanmıştır.

- Tüm kesitlerde, kapak açıklık oranlarında, kapak tiplerinde ve konduit uzunluklarında Froude sayısı arttıkça hava giriş oranı artmıştır.

- Tüm kesitlerde, kapak tiplerinde ve konduit uzunluklarında kapak açıklık oranı arttıkça hava giriş oranı azalmıştır.

- Tüm deney gruplarında kapak açıklık oranının artmasıyla 6 m'lik konduitin hava emme performansının diğer konduit uzunluklarına göre daha fazla değer kaybettiği buna karşılık 1 m'lik konduitin ise daha az değer kaybettiği görülmektedir.

- Tüm kesitlerde, kapak şekillerinde ve kapak açıklık oranlarında konduit uzunluğunun artmasıyla hava giriş oranı belirli bir değere kadar artıp daha sonra azalmaya başlamıştır. En iyi hava emme performansı 2 ve 4 m lik konduit uzunluklarında gerçekleşmektedir.

- Tüm kesitlerde ve kapak şekillerinde %30'a kadar olan kapak açıklık oranlarında en düşük hava giriş oranı 1 m lik konduit uzunluklarında, %30 ve daha büyük kapak açıklık oranlarında ise en düşük hava giriş oranı 6 m lik konduit uzunluklarında gerçekleşmiştir.

- Tüm kesitlerde ve kapak şekillerinde %30 ve daha büyük kapak açıklık oranlarında konduit uzunluğunun önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

- Tüm kesitlerde, konduit uzunluklarında ve küçük kapak açıklık oranlarında ince kenarlı kapak radyal kapağa göre daha iyi performans sergilemiştir. Ancak kapak açıklık

oranının artmasıyla özellikle %40 kapak açıklık oranından sonra kapak şeklinin etkisi azalmakta hatta görülmemektedir.

- Tüm konduit uzunluklarında, kapak tiplerinde ve kapak açıklık oranlarında en çok hava, dairesel kesitli konduitlerde çekilmiştir. Ancak dairesel kesitli konduitlerde iletilen su miktarının da fazla olmasından dolayı çoğu deney sonucunda enkesit şeklinin hava giriş oranı üzerinde önemli bir etkisi görülmemektedir.

Öneriler

Bu tez çalışmasının sonuçları yüksek hava giriş oranlarına sahip konduit sistemlerinin su içerisine hava ve diğer akışkanların enjeksiyonu amacıyla birçok alanda verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Örnek olarak konduitler evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında, sudaki bazı uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılmasında, maden ve çevre mühendisliğinde kullanılan flotasyon işleminde, basınçlı sulama sistemleri içerisine kimyasal madde ve sıvı gübre enjeksiyonunda etkin bir şekilde kullanılabilirler.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kondüitle havalandırma yapılan sistemlerin enerji verimliliğinin belirlenmesi ve diğer havalandırıcı sistemlerle enerji verimliliği açısından karşılaştırması gerekmektedir. Böylece konduit ile yapılan havalandırma sistem maliyetinin tam olarak belirlenmesi ile reel piyasa koşullarında kullanılabilirliği ortaya çıkarılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Al-Ahmandy, K. K.**, 2006. Analysis of oxygen transfer performance on sub-surface aeration systems, *Int. J. Environ. Res. Public. Health* September, 3(3), 301-308.
- Aras, E.**, 2009. Hidrolik yapılar üzerinde gerçekleşen havalandırmanın nehirlerdeki çözülmüş oksijen dengesi ve atıksu arıtma sistemlerinin optimizasyonu üzerine etkileri. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Doktora tezi.
- ASCE**, 2007. Measurements of Oxygen Transfer in Clean Water. American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Avery, S. T.** 1976. The transfer of oxygen from air entrained by jets entering a free water recipient. University Of Newcastle Upon Tyne Department Of Civil Engineering, Doctor thesis.
- Avery, S.T., and Novak, P.** 1978. Oxygen transfer at hydraulic structures. *J. Hyd. Div. ASCE*, 104(11), 1521-1540
- Aydın, A. B., Öztürk, M., Özkan, F., and Tuna, M. C.**, 2016. The effect of hydraulic Radius on aeration performance in high head gated conduits, *International Conference on Engineering Technology and Innovation ICETI*, pp. 289-296
- Aydın, İ.**, 2002. Air demand behind high head Gates during emergency closure, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 40, No:1.
- Baylar, A.**, 2002. Savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baylar, A., Özkan, F., Ünsal, M.**, 2007. Suların havalandırma veriminin artırılmasında kullanılacak basınçlı akım sistemleri, III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Gümüşhane, İzmir.
- Baylar, A., Ünsal, M., ve Özkan, F.**, 2007. Serbest yüzeyli akım sistemleri ile sularda hızlandırılmış oksijen transferi, III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Gümüşhane, İzmir.
- Bin, A. K.**, 1993. Gas entrainment by plunging liquid jets, *Chemical Engineering Science*, No. 21, pp. 3585-3630.
- Campbell, F. B., and Guyton, B.**, 1953. Air demand in gated outlet works, *Proceedings of the 5th Congress on the International Association of Hydraulic Research*, Minnesota.

- Chanson, H.**, 1995a. Air-Water Gas Transfer at Hydraulic Jump With Partially Developed Inflow, *Water Resources Research*, Pergamon, 29,10, 2247-2254.
- Chanson, H.** 1995b. Predicting oxygen content downstream of weirs, spillways and waterways. *Proc. Instn. Civ. Engrs. Wat. Marit. &Energy*, UK, Vol. 112, March, pp. 20-30.
- Chanson, H.** 1996. Air bubble entrainment in free surface turbulent shear flows, Academic press, San Diago.
- Cummings, P. D. and Chanson H.**, 1997. Air entrainment in the developing flow region of plunging jets-part 1: Theoretical development, *Journal of fluids Engineering*, 119, pp. 597-602.
- Dettmers, D.**, 1953. "Beitrag zur Frage der Belüftung von Tiefschützen (A Contribution to the problem of aeration of deep outlet gates)", *Mitteilung der Versuchsanstalt für Grund u. Wasserbau der Technischen Hochschule, Hannover*, H-4.
- Dysken, J. E.** 2005a. Aeration and air stripping, water treatment plant design, Editor: Boruth E. E., Mc Grow-Hill Publ., UBN:0-07-141-872-5, USA.
- Erasmus**, 2014. İçmesuyu arıtma tesisleri projelerinde ve sağlıklı ve temiz içmesuyunda kalite için ECVET yeterliliklerinin uygulanması, No: 2014-1-TR01-KA202-013113
- Eroğlu, V.**, 1991. Su tasfiyesi, T. C. İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1439, İstanbul.
- Ervine, D. A.** 1998. Air entrainment in hydraulic structures, *Proc. Instn Civ. Engrs Wat., Marit. And Energy* 142-153 paper.
- Falvey, H. T.**, 1980. Air-water flow in hydraulic structures. Engineering Monograph 41. U. S. Department of the Interior, Water and Power Resources Service, Denver, Colorado.
- Fandris, I.**, 2011. Alternative methods for wvaluation of oxygen transfer performance in clean water, Department of Information Technology, Uppsala University, Box 337, SE- 751 05 Uppsala, ISSN 1401-5765
- Finnemore, E. J., and J. B. Franzini.** 2002. Fluid mechanics with engineering applications. McGraw Hill, New York, pp. 158.
- Foree, E. G.** 1976. Reaeration and velocity prediction for small streams. *J. Envir. Engrg. Div., ASCE*, 102(5), 937-951.

- Fuentes R. and Garcia J. J.**, 1984. Influence of the tunnel length on the hydraulic modeling of the air entrainment in the flow downstream of a high head gate, Proceedings of Symposium on Scale Effects in Modeling Hydraulic Structures, Esslingen, Germany, pp. 4-14-1–4-14-2.
- Gameson, A. L. H.**, 1957. Weirs and aeration of rivers. Journal of the Institution of Water Engineers, Vol. 11.
- Gameson, A. L. H., Vandyke, K. G., and Ogden, C. G.**, 1958. The effect of temperature on aeration, Water and Water Engineering, November.
- Gökgöz, A., Güneş, M. C., Akkoyunlu, Y., Ergün, Ö., ve Ünsal, M.**, 2014. Dairesel konduitlerde delik yerinin hava giriş performansına etkisi, KSU, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1), 22-30.
- Gongchun C. and Chupei Z.**, 1987. Some problems concerning two ways aeration in open pipe flow behind gates, Proceedings of the 22nd IAHR Congress, Lausanne, Switzerland, 196–202.
- Gulliver J.S., Rindels A.J.**, Measurement of air–water oxygen transfer at hydraulic structures, J. Hydraul. Eng. ASCE, 1993, 119 (3), 327
- Gulliver, J. S., Thene, J. R., and Rindels, A. J.**, 1990. Indexing gas transfer in self-aerated flows, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 3, pp. 503-523
- Gulliver, J. S., Wilhelms, S. C. And Parkhill, K. L.**, 1998. Predictive capabilities in oxygen transfer at hydraulic structures. Journal of hydraulic engineering, Vol. 124, No. 7 paper no. 15189.
- Hager, W.H., Bremen, R.** (1989). Classical hydraulic jump: sequent depths. J. Hydraulic Res. 27(5), 565–585.
- Hager, W.H., Bremen, R., Kawagoshi, N.** (1990). Classical hydraulic jump: length of roller. J. Hydraulic Res. 28(5), 591–608.
- Haindl, K. And Sotornik, V.**, 1957. Quantity of air drawn into a conduit by the hydraulic jump and its measurement by gamma-radiation. Kongres IHR, Lissabo, D 31/1-7.
- Holler, A. G.**, 1971. The mechanism describing oxygen transfer from the atmosphere to discharge through hydraulic structures, Proc., XIV Congr., International Association for Hydraulic Research, Paris, France, pp. 373-382.

- İlçin, E.**, 2005. Basamaklı dolusavaklarda oksijen transferi. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 54s.
- Jahani, M.**, 2011. Cavitation effects on stability, economic life and erformance of hydraulic structures, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Doktora Tezi.
- Jones, B.**, 2011. Oxygen-the most important water quality parameter Vol.23, No:1 Water Column.
- Kalinske, A. A., and Robertson, J. W.**, 1943. Closed conduit flow. ASCE Transactions 108: 1435-1447.
- Kısa, H. G.**, 2016. İçme su arıtma tesisi işletme ve bakımı. Bitirme tezi, Ondokuz mayıs üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
- Markofsky, M., and Kobus, H.**, 1978. Unified presentation of weir aeration data, J. Hyd. Div. ASCE, 104(4), 462-468
- McKeogh and Ervine** 1981 Air entrainment rate and diffusion pattern of plunging liquid jets. Chem. Eng. Sci. 36:1161–1172.
- McWhirter, J. R. & Hutter, J. C.**, 1989. Improved Oxygen Mass Transfer Modeling for Diffused/Subsurface Aeration Systems. American Institute of Chemical Engineers Journal, vol. 35, no. 9, pp 1527-1534.
- Morthensen J. M., Barfuss, S. J. And Tullis, B. P.**, 2014. Effects of hydraulic jump location on air entrainment in closed conduits, Journal of Hydraulic Research, 50:3, 298-303.
- Morthensen J. M., Barfuss, S. L., and Johnson, M. C.**, 2014. Scale effects of air entrained by hydraulic jumps within closed conduits, Journal of Hydraulic Research, 49:1, 90-95.
- Mossa M., Petrillo, A. and Chanson, H**, 2003. Tailwater kevel effects on flow conditions at an abrupt drop. Journal of Hydraulic Research, Vol.41, No:1
- Najafi, M. R., Roshan, R., Zarrati, A. R. And Kavianpour, M. R.**, 2008. Numerical modeling of flow condition in a bottom outlet, 16 th IAHR-APD & 3 rd IAHR_ISHS, Hohaia University Nanjing, China
- Nakasone, H.** 1987. Study of aeration at weirs and cascades. J. Envir. Engrg., ASCE, 113(1), 64-81
- Neto, I. E. L., Zhu, D. Z., and Rajaratnam, N.**, 2008. Air injection in water with different nozzles, Journal of Environmental Engineering, ASCE.

- Oveson, D. P.**, 2008. Air demand in free flowing gated conduits, Master of Science, Utah State University, Logan, Utah.
- Özkan, F., Kaya, T. and Baylar, A.**, 2009. Study of the influence of venturi weir type on air bubble entrainment, *Scientific Research and Essays Vol.*, 4 (11), pp. 1184–1193.
- Özkan, F., Öztürk, M., Baylar, A.**, 2006. A experimental investigations of air and liquid injections by venturi tubes. *Water and Environment Journal*, 20 (3), s.114-122.
- Özkan, F., Tuna, M. C., Baylar, A., and Öztürk, M.**, 2014. Optimum air-demand ratio for maximum aeration efficiency in high head gated circular conduits, *Water Science and Technology*, 70(5):871-7.
- Preul, H. C. And Holler, A. G.**, 1969. Reaeration through low dams in the Ohio River. *Proc. Industrial Waste Conf.*, Purdue Univ., South Bend, Ind., 1249-1270
- Rajaratnam, N.** (1962). "An experimental study of air entrainment characteristics of the hydraulic jump." *J. Hydr. Div. (India)*, 42(7), 247-273.
- Rindels, A. J., and Gulliver, J. S.**, 1991. Oxygen transfer at spillways air water mass transfer, *Proc., 2nd Int. Symp. On Gas transfer at water surfaces*, Steven Wilhelms and John Gulliver, eds., ASCE, Reston, Va., 524-533
- Safavi, K., Zarrati, A. R. And Attari, J.**, 2007. Experimental study of air demand in high head gated tunnels, *Institution of Civil Engineering, Water Management, Proceedings of the institution of Civil Engineering*, pages 105-111.
- Shamsai A. and Soleymanzadeh R.** (2006) Numerical simulation of Air-Water flow in bottom outlet. *International Journal of Civil Engineering*. Vol.4, No.1
- Sharma, H. R., 1976.** "Air- entrainment in high head gated conduits", *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, 102(HY 11), pp. 1629-1646.
- Sikora, A.**, 1965. Air Entrainment in Shaft Spillways, *Czechoslovakia, Prace a studie* 37, p. 112.
- Speerli J.** 1999. Air entrainment of free-surface tunnel flow. *Proceedings of the 28th IAHR Congress, Graz, Austria.*
- Speerli J. and Volkart P.**, 1997. Air entrainment in bottom outlet tailrace tunnels. *Proceedings of the 27th IAHR Congress, San Francisco, Theme D*, 613–618.
- Speerli, J., Willi H.** 2000. Air-water flow in bottom outlets. *Canadian Journal of Civil Engineering* 27, 454-462.

- Thene, J. R.** 1988. Gas transfer at weirs using the hydrocarbon gas tracer method with headspace analysis, MS thesis, Univ of Minnesota, Minneapolis, Minn.
- Toombes, L. and Chanson, H.,** 2005. Air Entrainment and velocity redistribution in a bottom outlet jet flow, XXXI IAHR Congress 2717, Seoul, Korea.
- Tsivoglou, E. C., and Wallace, J. R.,** 1972. Characterization of stream reaeration capacity. USEPA Rep. No. R3-72-012, U.S. Envir. Protection Agency, Washington, D. C.
- Tullis, J. Paul.** 1989. Hydraulics of pipelines. John Wiley and Sons, Inc., Canada. 266 p.
- Tuna, M. C., Ozkan, F. & Baylar, A.** 2014 Experimental investigations of aeration efficiency in high head gated circular conduits. Water Science and Technology 69 (6), 1275–1281.
- UNESCO and WMO,** 2003. Water for People, Water for Life, The United Nations World Water Development Report
- Ünsal, M., Baylar, A. Ve Özkan, F.,** 2012. Dipsavaklarda serbest yüzeyle akım durumunda hava giriş oranının deneysel olarak incelenmesi, DSİ Teknik Bülteni, Ankara, Sayı:114, s 1-6.
- Ünsal, M., Tuğal, M., Özkan, F.,** 2005. Kapaklı Konduitlerde Boy Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi DAUM (Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi), Cilt No:3, Sayı No:3, 132-137.
- URL-1,** www.dünya.com Kullanılabilir Su Kaynakları. 2 Nisan 2011
- URL-2,** <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> Türkiye’de suyun durumu, 2014
- URL-3,** http://water.me.vccs.edu/courses/enu115/Lesson5_print.htm, August 22, 2015
- URL-4** <http://www.snm.com.tr>
- URL-5** http://www.bayar.edu.tr/besergil/6_gaz_absorbsiyonu.pdf
- URL-6;** <http://scv.cwea.org/wp-content/uploads/2014/09/CWEA-Sanitaire-Aeration-Systems-7.17.14-for-distr.pdf>
- USACE (United States Army Corps of Engineers),** 1964. Air demand-regulated outlet works, Hydraulic Design Criteria, Sheet 050-1/2/3, 211-1/2, 255-1.
- Wilhelms, S. C.,** 1988. Reaeration at low-head gated structures: Preliminary results. Water operations Tech. Support Information Exchange Bull. No. E-88-1, U.S. Army Engrs. Wtrwy. Experiment station, Vicksburg, Miss.

- Wilhelms, S. C., and Smith, D. R.,** 1981. Reaeration through gated conduit outlet Works. Tech. Rep. No. E-81-5, U.S. Army Corps of Engrs. Wtrwy. Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- Wisner, P.,** 1965. "On the role of the froude criterion for the study of air entrainment in high velocity flows", Proceedings of 11th IAHR Congress, Vol. 1, Leningrad, USSR.
- Yılmaz, A. S., Ünsal, M., ve Yücel, P.,** 2016. Dairesel konduitlerde hava delik çapının hava giriş oranına etkisinin yapay sinir ağları ile modellenmesi, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(3), 99-102.



ÖZGEÇMİŞ

Alp Buğra AYDIN, 1989 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlk ve orta öğretimini Özel Harput okullarında tamamlamıştır. 2006 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında ikincilikle mezun olmuştur. Aynı yıl güz döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Yüksek Lisans eğitimine devam ederken, 2011 yılının Ağustos Ayı'nda Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim dalına araştırma görevlisi olarak atanmıştır. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim dalına araştırma görevlisi olarak atanmıştır. 2013 yılı güz döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başlamıştır. Halen araştırma görevlisi görevini sürdürmekte olan AYDIN, evli ve bir çocuk babasıdır.