



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAİRESEL KONDUİTLERDE HAVA DELİK
ÇAPININ HAVALANDIRMA PERFORMANSINA
ETKİSİ**

PELİN YÜCEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2016

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRESEL KONDUİTLERDE HAVA DELİK
ÇAPININ HAVALANDIRMA PERFORMANSINA
ETKİSİ

PELİN YÜCEL

Bu tez,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2016

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Pelin YÜCEL tarafından hazırlanan “Dairesel Konduitlerde Hava Delik Çapının Havalandırma Performansına Etkisi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 31 / 08 / 2016 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet ÜNSAL (DANIŞMAN)

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yakup CUCİ (ÜYE)

.....

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yavuz DEMİRCİ (ÜYE)

.....

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Adıyaman Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....

Pelin YÜCEL

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

DAİRESEL KONDUİTLERDE HAVA DELİK ÇAPININ HAVALANDIRMA PERFORMANSINA ETKİSİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

PELİN YÜCEL

ÖZET

Doğal su kaynaklarındaki çözünmüş oksijen miktarı, suyun kirlilik derecesini gösteren önemli bir su kalite parametresidir. Aynı zamanda, sudaki canlı yaşamı açısından da büyük bir önem taşımaktadır. Su içerisinde doğal olarak meydana gelen birçok biyolojik olay ve kimyasal reaksiyon, çözünmüş oksijen miktarının azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda, havalandırma yapılarak oksijenin yeniden suya kazandırılması gerekmektedir. Hidrolik yapılar, akarsu ile kısa bir süre temas halinde olmalarına rağmen; çözünmüş oksijen miktarını artırmada etkin bir role sahiptirler. Akarsuda doğal ortamda uzun mesafede ve sürede meydana gelebilecek oksijen transferi, yapılacak olan bir hidrolik yapı ile kısa mesafede ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu hızlandırılmış oksijen transferi, oksijenin çok sayıda kabarcık halinde akım içerisine aktarılmasıyla meydana gelmektedir. Bu hava kabarcıkları sayesinde, kütle transferinin gerçekleşeceği mevcut yüzey alanı önemli miktarda artar.

Bu çalışmada, dairesel kesitli yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin hava delik çapının havalandırma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için bir dizi deneysel çalışma yürütülmüştür. 5 mm, 10 mm ve 15 mm hava delik çaplarının; 75 cm, 100 cm ve 125 cm konduit uzunlukları; konduit alanının %20, %35 ve %50'sine karşılık gelen daralma oranları; farklı su debileri ile bağlantılı olarak hava giriş oranları belirlenmiştir. Daralma oranı değerleri ve konduit uzunluğu sabit tutulduğunda; en büyük hava giriş oranı, 15 mm hava delik çapında elde edilmiştir. Delik çapı ve konduit uzunluğu sabit tutulduğunda; en büyük hava giriş oranı, mevcut alanın %20'sine karşılık gelen daralma değerinde yani $\beta = \%20$ 'de meydana gelmiştir. Daralma oranı ve delik çapı sabit tutulduğunda ise; konduitteki boy artışının hava giriş oranı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Deneyler sonucunda, dairesel kesitli yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde hava delik çapının oksijen transferinde etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çözünmüş Oksijen, Havalandırma, Oksijen Transferi, Konduit

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 08 / 2016

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ÜNSAL

Sayfa sayısı: 51

**EFFECT OF AIR HOLE DIAMETER FOR AERATION
PERFORMANCE IN CIRCULAR CONDUIT
(M.Sc. THESIS)**

PELİN YÜCEL

SUMMARY

Dissolved oxygen quantity in the natural sources of water is an important water quality parameter indicating pollution. Meanwhile, it is of great importance in terms of aquatic life. Several biological processes and chemical reactions occurring naturally in the water cause decreased dissolved oxygen quantity. In this case, the aeration process should be used to increase the oxygen content of the water. Hydraulic structures have an active role in increasing the amount of dissolved oxygen, despite the contact with the stream flow for a short time. In the natural environment like stream flow, the oxygen transfer may require long time and distance. After the construction of a hydraulic structure shorter distances and less time are possible for the transfer process. This accelerated oxygen transfer is formed by transferring a great number of oxygen bubbles into the stream. The available surface area where the mass transfer will occur is significantly increased through these air bubbles.

In this study, the effect of the air hole diameter of the circular conduit for aeration performance is investigated. Series of experimental studies were conducted for this purpose. The air hole diameters of 5 mm, 10 mm and 15 mm; the conduit lengths of 75 cm, 100 cm and 125 cm; the narrowing ratios of the conduit areas with 20%, 35% and 50% and air demand ratios in relation with different water discharges are determined. When the narrowing ratios and the conduit lengths are kept constant, the greatest air demand ratio is obtained with the air hole diameter of 15 mm. When the hole diameter and the length of conduit are kept constant; the greatest air demand ratio is obtained with the 20% narrowing ratios of the conduit areas, that occurred with $\beta = 20\%$. When the narrowing ratio and the hole diameter are kept constant, the increase in the length of conduit has been found to have no significant effect over the air demand ratio. As a consequence of the experimental studies, the air hole diameter has been found to be effective in the oxygen transfer for the high-head gated conduits with circular cross.

Key Words: Dissolved Oxygen, Aeration, Oxygen Transfer, Conduit

University of Kahramanmaraş Sutcu Imam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, 08 / 2016

Supervisor: Doç. Dr. Mehmet ÜNSAL

Page number: 51

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı önererek tezimin tüm aşamalarında her zaman bana yardımcı olan, her konuda bana ışık tutan, bilgi birikimlerinden ve deneyimlerinden büyük ölçüde yararlandığım ve yararlanmayı da sürdüreceğim danışman hocam sayın Doç. Dr. Mehmet ÜNSAL'a teşekkür eder, saygılar sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince hidrolik laboratuvarında bana yardımlarını esirgemeyen lisans öğrencileri Çağan Kiraz ve Ümit Altan'a da teşekkür ediyorum.

Lisans ve Lisansüstü eğitimim süresince, üzerimde emeği olan Hidrolik Anabilim Dalındaki hocalarım başta olmak üzere diğer tüm hocalarıma da teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca bana her türlü destek ve anlayış gösteren aileme, ayrıca amcam Doç. Dr. Aykan Yücel'e de teşekkürlerimi sunuyorum.

Pelin YÜCEL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. GAZ TRANSFERİ	3
2.1. Çift Film Teorisi	3
3. SULARDA HAVALANDIRMA AMAÇLI KULLANILAN HİDROLİK YAPILAR	7
3.1. Serbest Yüzeyli Akım Sistemleri ile Suların Havalandırılması	9
3.1.1. Savaklar	10
3.1.2. Basamaklı kaskatlar	13
3.1.3. Serbest yüzeyli konduitler	15
3.2. Basınçlı Akım Sistemleri ile Suların Havalandırılması	15
3.2.1. Su jetleri	15
3.2.2. Venturiler	16
3.2.3. Basınçlı konduitler	17
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
5. MATERYAL VE METOT	27
5.1. Materyal	27
5.2. Metot	30
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
6.1. Hava Girişi Deney Sonuçları	32
6.1.1. Konduit uzunluklarına göre hava giriş oranları	32
6.1.2. Daralma değerlerine göre hava giriş oranları	37
6.1.3. Delik çaplarına göre hava giriş oranları	42
7. SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. (a-b) Gaz transferine ilişkin çift film teorisinin mekanizması ve grafiksel gösterilişi	4
Şekil 3.1. (a-b) Savaklar	8
Şekil 3.2. (a-b) Dolusavaklar	8
Şekil 3.3. Kapaklı eşik (batmış akım durumu)	9
Şekil 3.4. Kapaklı dipsavak	9
Şekil 3.5. (a-e) Şekil bakımından ince kenarlı savak tipleri	11
Şekil 3.6. (a-d) Şekil bakımından kalın kenarlı savak tipleri	12
Şekil 3.7. Savak akımı	12
Şekil 3.8. Savaklarda hava giriş mekanizmaları	13
Şekil 3.9. (a-c) Basamaklı kaskatlarda akım tipleri	14
Şekil 3.10. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım	15
Şekil 3.11. Su jeti tipleri	16
Şekil 3.12. Bir venturi aygıtının görünümü	16
Şekil 3.13. Basınçlı kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım	17
Şekil 3.14. (a-g) Kapaklı konduit içerisindeki iki fazlı akım tipleri	18
Şekil 5.1. Deney düzeneği	27
Şekil 5.2. Deneylerde yer alan su tankı	28
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan konduit	29
Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan ekleme parçaları	29
Şekil 5.5. Hava girişini ölçmede kullanılan anemometre cihazı	30
Şekil 5.6. (a-c) Daralma oranları	31
Şekil 6.1. (a-ı) Farklı konduit boylarında Re sayısı ile Q_A / Q_W değişimi	36
Şekil 6.2. (a-ı) Farklı daralmalarda Re sayısı ile Q_A / Q_W değişimi	41
Şekil 6.3. (a-ı) Farklı delik çaplarında Re sayısı ile Q_A / Q_W değişimi	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\frac{dC}{dt}$	: Konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s)
$\frac{A}{V}$	: Özgül ara kesit yüzeyi
$\frac{dm}{dt}$	: Kütle transfer hızı (g/s)
A	: Kütle transfer alanı (m ²)
A_A	: Konduitin hava deliği alanı (m ²)
b	: Savak genişliği (m)
b_t	: Trapez savaklarda küçük tabanın genişliği (m)
C	: Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C_d	: Standart şartlarda mansapta bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C_g	: Gazın gaz ortamdaki konsantrasyonu (mg/L)
C_L	: Gazın sıvı fazdaki konsantrasyonu (mg/L)
C_s	: Sudaki çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
C_u	: Standart şartlarda membada bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
d	: Konduitin hava delik çapı
D	: Dairesel savağın çapı (m)
h	: Su yükü (m)
h_b	: Basamak yüksekliği (m)
K_g	: Kütle transfer katsayısı
$K_L a$	: Kütle transfer katsayısı
L	: Konduit uzunluğu (cm)
L_k	: Kanal uzunluğu (m)
L_w	: Savak genişliği (m)
l	: Basamak genişliği (m)
Q_A	: Hava debisi (m ³ /s)

Q_w	: Su debisi (m ³ /s)
r	: Oksijen eksiklik oranı
R	: Hidrolik yarıçap (m)
Re	: Reynolds sayısı
t	: Kütle transferinin meydana gelme süresi (s)
t_u ve t_d	: Kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği süreler (s)
V	: Transfer olunan gaz hacmi (m ³)
V_A	: Hava hızı (m/s)
V_w	: Su hızı (m/s)
v	: Akışkanın kinematik viskozitesi (m ² /s)
W	: Kret yüksekliği (m)
α	: Basamaklı kaskatlarda kanal eğim açısı (derece)
β	: Konduit alanının %20, %35 ve %50'sine karşılık gelen daralma oranları
θ	: Üçgen savaklarda tepe açısı (derece)

1. GİRİŞ

Oksijen, canlıların hayatlarını devam ettirebilmeleri için gerekli olan en önemli unsurdur; havada bulunabileceği gibi su içerisinde de çözünmüş halde bulunabilir [1]. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu; akarsu, göl ve rezervuarlarda en önemli su kalite parametrelerinden biridir. Suda, doğal olarak birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyon meydana gelir. Bu biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle de sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır [2]. Azalan bu çözünmüş oksijen konsantrasyonunu limit değerlerine yükseltmek için atmosferden oksijen absorbe edilmeye çalışılır [3]. Fiziksel olarak oksijen transfer işlemi, atmosferde bulunan oksijenin alınarak suya yeniden kazandırılmasıdır. Buna hidrolikte havalandırma adı verilmektedir [2]. Havalandırma ile gerekli gazların suya aktarılması, su içinde istenmeyen gazların da sulardan uzaklaştırılması mümkün olmaktadır [4]. Suların havalandırılması, artım veya niteliklerin iyileştirilmesi bakımından aşağıdaki amaçlarla yapılmaktadır [5]:

- Oksijen kazandırmak: Sudaki çözünmüş Demir (Fe^{++}) ve Manganezin (Mn^{++}) oksidasyonu veya Amonyumun (NH_4^+) giderilmesi, biyolojik tasfiye, nehir veya göllerde çözünmüş oksijen standartlarına ulaşabilmek için.
- Karbondioksit gidermek veya kazandırmak: Sudaki karbondioksit (CO_2) dengesini sağlayabilmek için karbondioksitin bazen sudan giderilmesi bazen de suya karbondioksit verilmesi gereklidir.
- Hidrojen sülfür gidermek: Sudaki istenmeyen koku ve tadın giderilmesi, suyun metallere verdiği korozyon etkisinin azaltılması, çimentonun ayrışmasının önlenmesi için.
- Metanın giderilmesi: Anaerobik ayrışma ürünü olan metan gazının sudan ayrılmasının sağlanması için.
- Uçucu yağlar ve kimyasal maddelerin giderilmesi: Sağlığa zararlı oldukları bilinen, ayrıca suda kötü koku ve tatlara neden olan bu maddelerin sudan uzaklaştırılması için.

Akarsularda, çeşitli sebeplerle meydana gelen çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliği ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir. Ekolojik dengeyi koruyabilmek amacıyla, akarsular için gereken çözünmüş oksijen konsantrasyonu (5 mg/L) sağlanmalıdır. Bu hususta, akarsular üzerine inşa edilecek olan hidrolik yapılar aracılığıyla havalandırma yapılarak gerekli çözünmüş oksijen suya kazandırılabilir. Oksijenin suya

transferinde; ince veya kalın kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolusavaklar, kapaklı eşikler, kapaklı dipsavak çıkış ağızları gibi hidrolik yapılar kullanılmakta ve havalandırma kolay bir şekilde yapılabilir [2].

Sudaki çözünmüş oksijen miktarının hızlı bir şekilde artırılması konusunda havalandırma işlemi önemli bir yere sahiptir. Bu hızlandırılmış oksijen transferi, havanın çok sayıda kabarcık biçiminde su içerisine aktarılması ile meydana gelir [6]. Hava kabarcıkları sayesinde, kütle transferi için mevcut yüzey alanı büyük ölçüde artar. Bunun sonucunda, su içerisine transfer edilen oksijen miktarı da artış gösterir. Hidrolik yapılar ile bir düşü yüksekliği kazandırılmış suyun, mansap kısmındaki su yüzeyine çarptırılması sonucu atmosferden absorbe edilen hava suya iletilir. Böylelikle, suda hızlı bir şekilde oksijen kazanımı gerçekleşmiş olur. Hidrolik yapılarla gerçekleştirilen oksijen transferinin verimi (havalandırma verimi); su kalitesi, su sıcaklığı, mansap su derinliği, suyun düşme (düşü) yüksekliği, debi, çözünmüş oksijen eksikliği ve hidrolik yapının tipi gibi ana parametrelere bağlıdır [7].

Bu çalışmada, hidrolikte havalandırma işleminde kullanılan mevcut sistemlere alternatif olarak gösterilen ve yüksek hava giriş verimine sahip olan dairesel konduit havalandırıcılar incelenmiştir. Dairesel konduitlerde, farklı hava delik çaplarının havalandırma performansı üzerinde nasıl bir etkisi olduğu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, hava delik çapının etkili olduğu gözlemlenmiştir.

2. GAZ TRANSFERİ

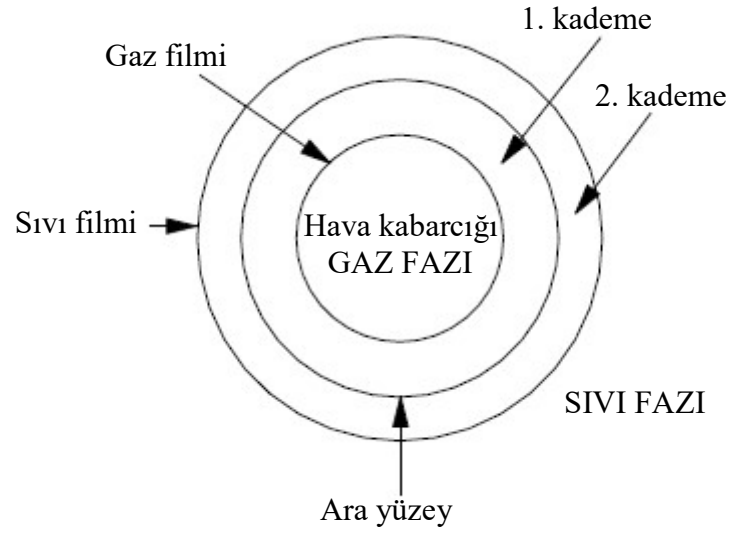
Gaz transferi basitçe, herhangi bir gazın akışkanda çözünmesini veya tam tersi olarak akışkanda çözülmüş halde bulunan bir gazın akışkandan ayrılmasını sağlamak anlamına gelmektedir [8]. Sularda gaz transferi yapılmasının amacı; suya klor, çözülmüş oksijen vb. gazları vermek veya CO₂, H₂S gibi gazları sulardan uzaklaştırmaktır. Bir gazın sudaki çözünürlüğü; gazın cinsine, suyun sıcaklığına ve sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Bir sıvı ortam, bir gaz veya gaz karışımları ile temas halinde olduğunda; gaz molekülleri, gaz ortamdan sıvıya veya sıvıdan gaz ortamına geçerler [2]. Bu durum gaz ile sıvı fazı arasında denge oluşuncaya kadar sürer. Denge oluşunca sıvı içindeki gaz konsantrasyonu doygunluğa ulaşmış olur [1].

Sıvıların havalandırılması, gaz ile sıvı arasındaki bir kütle transferi işlemidir. Burada itici kuvvet; gaz fazda genellikle kısmi basınç farkı, sıvı fazda ise konsantrasyon farkı ($C_s - C$) ile ifade edilir. Kütle transfer işlemi, gaz ile sıvının temas ettiği ara yüzeyin her iki tarafından film içerisinde gerçekleşir [2].

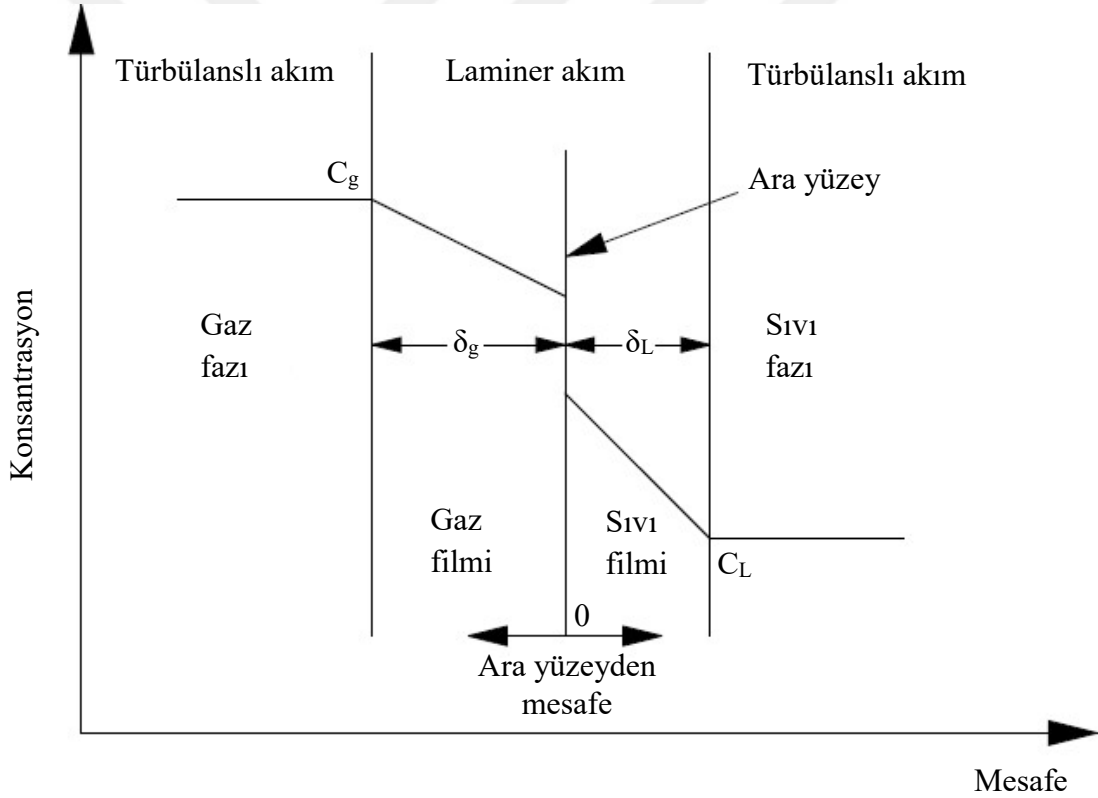
Gaz transferinin mekanizmasına teorik bir yaklaşım getirmek için çift film teorisi, penetrasyon teorisi ve yüzey yenilenme teorisi gibi yaklaşımlar ileri sürülmüştür. Bu yaklaşımlar içinde en çok yaygın olanı, Lewis ve Whitman'ın "çift film teorisi" dir [9]. Bu teori aşağıdaki kısımda incelenmiştir.

2.1. Çift Film Teorisi

Bu teori; gaz ve sıvı fazları ara yüzeyinde, biri gaz ve diğeri de sıvı olmak üzere iki çok ince film tabakası olduğunu öngörür. Tabakaların dışında da sıvı ve gaz fazları yer alır. Bu iki film tabakası, gaz ve sıvı fazları arasındaki kütle transferine karşı belirli bir oranda direnç gösterir [8]. Gaz molekülleri gaz fazdan sıvı faza geçerken; sıvı içerisinde çözünürlüğü az olan gazlar esas direnci sıvı filminden görürken, çözünürlüğü çok olan gazlar da esas direnci gaz filminden görürler. Sıvıdaki çözünürlüğü orta düzeyde olan gazlar ise her iki film tabakasında da önemli ölçüde geçiş direnci ile karşılaşılır [2].



a) Çift film teorisinin mekanizması



b) Çift film teorisinin grafiksel gösterilişi

Şekil 2.1. (a-b) Gaz transferine ilişkin çift film teorisinin mekanizması ve grafiksel gösterilişi [2]

Suların havalandırılmasında karşılaşılan sistemlerde genel olarak suda az çözünen gazlar söz konusudur [2]. Gaz konsantrasyonu doygunluğa ulaşana dek, havalandırma

süresi ya da bekletme süresi arttıkça transfer edilen gaz miktarı da artacaktır. Gaz transfer hızı; gazın doymuşluk konsantrasyonu ve mevcut konsantrasyonu arasındaki farkla, gaz ve sıvı faz arasındaki temas yüzeyi ile doğru orantılıdır [8]. Bu tip sistemlerde gaz transfer hızı aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir [2].

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_s - C) \quad (2.1)$$

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 (m²)

C_s : Sudaki çözünmüş oksijenin doymuşluk konsantrasyonu (mg/L)

C : Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)

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

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} \quad (2.2)$$

Burada;

V : Transfer olunan gaz hacmi (m³)

Bu ifade (2.1) nolu denklemde yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dC}{dt} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (2.3)$$

elde edilir. Suların havalandırılması işlemlerinde gaz transferine esas direnç sıvı taraf filmi içerisinde. Bu sebeple 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 (2.3) nolu denklem,

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (2.4)$$

şeklinde yazılır. Burada;

$\frac{dC}{dt}$: Konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s)

$K_L a$: Kütle transfer katsayısı

C_s : Sudaki öznmş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

C : Sudaki öznmş oksijen konsantrasyonu (mg/L)

$K_L a$ zamanın fonksiyonu olup denklem (2.4) hidrolik yapının membasındaki bir noktadan mansaba doğru integre edildiğinde řu denklem elde edilir [2]:

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a \, dt \right] \quad (2.5)$$

Burada;

C_u ve C_d :Sırasıyla memba ve mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)

r : Oksijen eksiklik oranı

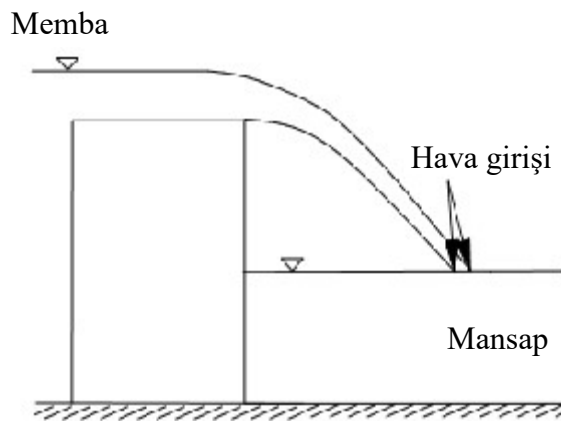
t_u ile t_d : Sırasıyla kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği süreler (s)

C_u ile C_d deneysel olarak llş; C_s ise literatürdeki denklemler ya da tablolar yardımıyla bulunur.

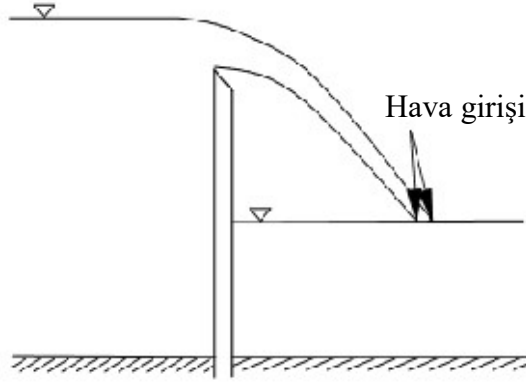
3. SULARDA HAVALANDIRMA AMAÇLI KULLANILAN HİDROLİK YAPILAR

Akarsular dünyanın hemen her yerinde, insanların dolaylı ya da dolaysız olarak yapmış oldukları aktiviteler sonucunda kirlenmektedir. Çok az sayıda akarsu kirlenmeye maruz kalmamaktadır. Kirletici unsurlarla doldurulan akarsular, yıl içerisinde ve uzunluğu boyunca oksijen kazanarak kendi kendini temizlemeye çalışır. Kirlenmeye maruz bırakılan akarsuların bir kısmı, kendi kendini temizlemeyi tam olarak oluşturamaz ve akarsu boyunca su içerisine girmesi beklenen çözünmüş oksijen miktarı yetersiz kalabilir [10]. Diğer yandan, birçok akarsuda doğal ortamda oksijen transferi için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç vardır. Aynı zamanda, oksijen transferi yavaş ve uzun sürede gerçekleşmektedir. Bu akarsular üzerinde yapılacak olan bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok kısa bir mesafede, hızlı bir şekilde ve düşük bir maliyetle sağlanabilir. Hidrolik yapılarla yapılan havalandırmadan farklı olarak uygulanan diğer havalandırma yöntemlerinde; su ve basınçlı hava pompalamak için kullanılacak elektrik enerjisi, işletme maliyetini arttıracak için hidrolik yapılar ile havalandırmanın daha ekonomik olduğu söylenebilir [7].

Hidrolik yapılar sayesinde su içerisinde çok büyük oranda oksijen transferi meydana gelmektedir. Meydana gelen oksijen transferi ise hidrolik yapıdan kilometrelerce uzak mesafeyi etkileyebilecek düzeydedir [10]. Havalandırma ile akarsulardaki çözünmüş oksijen miktarını arttıran hidrolik yapılar; ince veya kalın kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolusavaklar, kapaklı eşikler ve kapaklı dipsavak çıkış ağızları olmak üzere dört çeşittir (Şekil 3.1-3.4). Bu hidrolik yapılar akarsu şartları (büyüklüğü, yeri vs.) ve akım tipine bağlı olarak yapılmalıdır [7]. Hidrolik yapının cinsine göre havalandırmanın oranı ve oksijen transferi miktarı değişebilir [10].

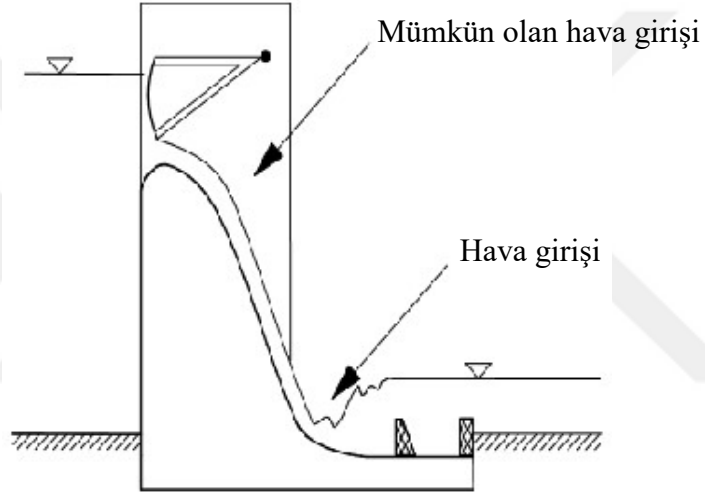


a) Kalın kenarlı savak

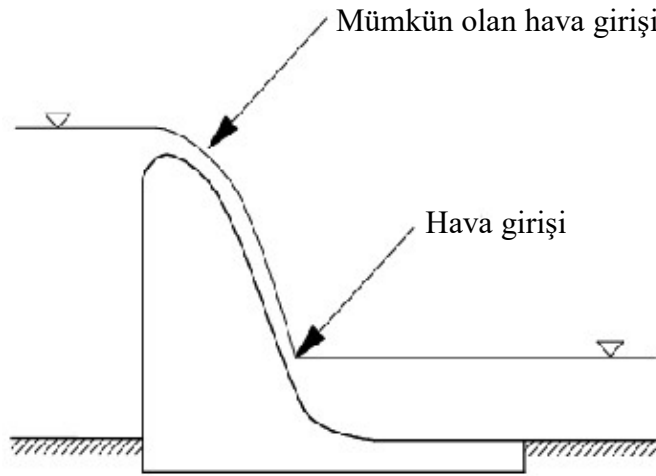


b) İnce kenarlı savak

Şekil 3.1. (a-b) Savaklar [7]

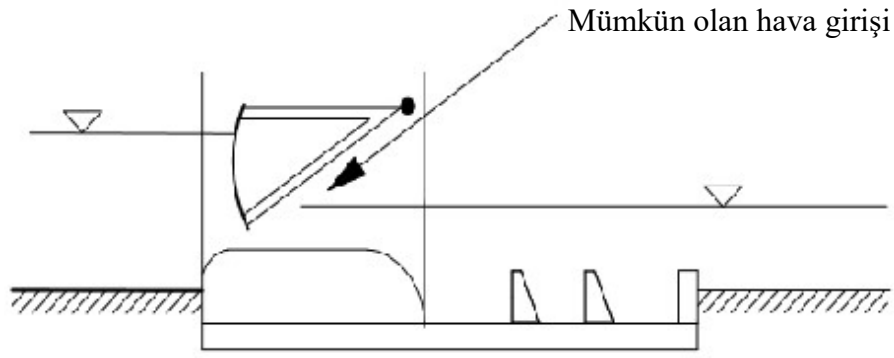


a) Kapaklı dolusavak

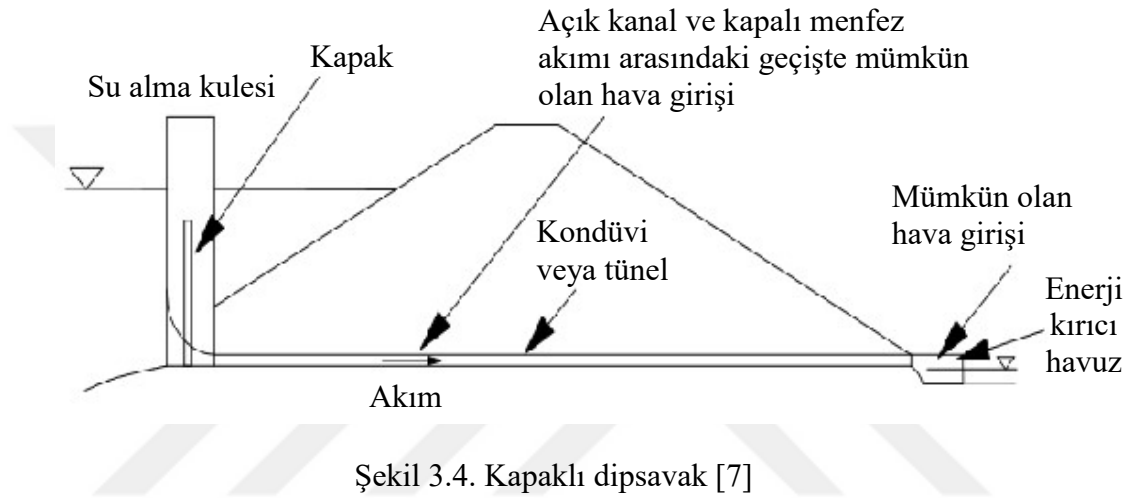


b) Kapaksız dolusavak

Şekil 3.2. (a-b) Dolusavaklar [7]



Şekil 3.3. Kapaklı eşik (batmış akım durumu) [7]



Şekil 3.4. Kapaklı dipsavak [7]

Havalandırma sistemlerinin tasarımında; su ve hava sıcaklıkları, sudan giderilmesi ya da suya kazandırılması amaçlanan maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, hava-su oranı, hava ile su arasındaki temas süresi, mevcut ara yüz alanı, gaz ve sıvı fazlardaki türbülans hususlarına dikkat edilmelidir [11].

Suların havalandırılmasında kullanılan serbest yüzeyli ve basınçlı akım sistemleri aşağıdaki kısımda açıklanmıştır.

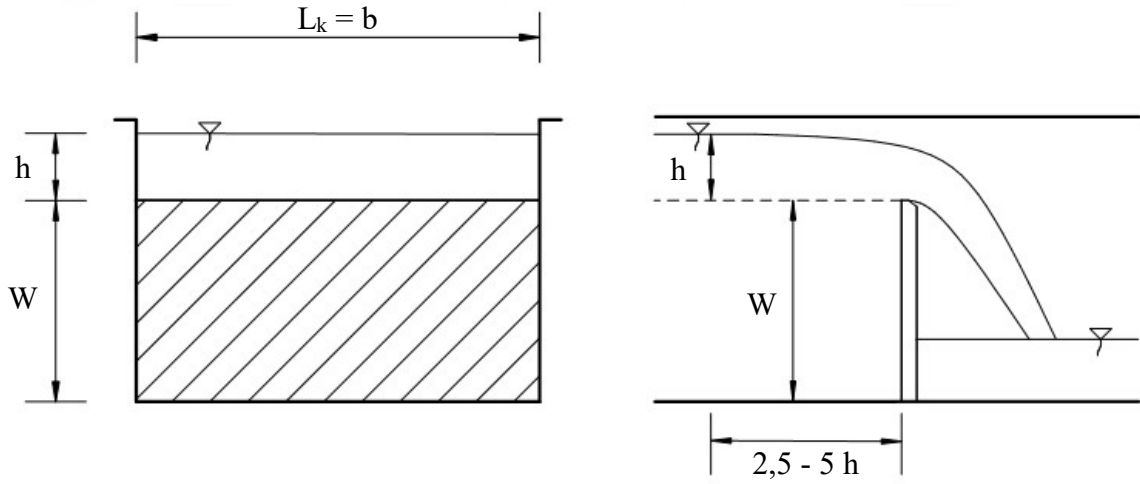
3.1. Serbest Yüzeyli Akım Sistemleri ile Suların Havalandırılması

Akımı sınırlayan yüzeylerden birine sabit bir basınç etki ederse, bu akım serbest yüzeyli olarak adlandırılır. Bu sabit basınç, genellikle atmosfer basıncıdır. Serbest yüzeyli akımlara örnek olarak; kanal akımları, nehir akımları ve kapalı yatakları tamamen doldurmayan, yani sıvı üst yüzeyine sadece atmosfer basıncının etki ettiği akımlar verilebilir [12].

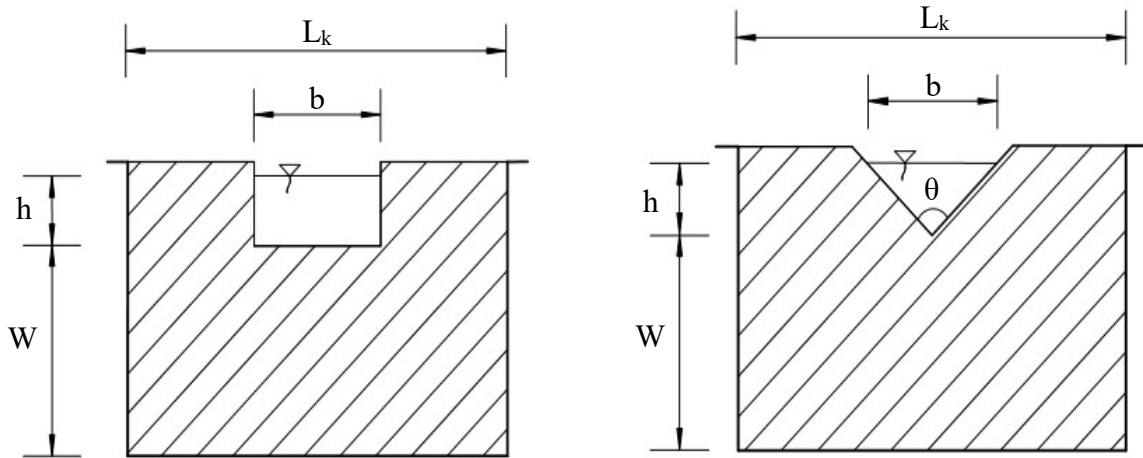
Savaklar, basamaklı kaskatlar ve konduitler gibi serbest yüzeyli akım sistemleri hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

3.1.1. Savaklar

Açık bir kanal aksine dik olarak yerleştirilen ve üzerinden akan suyun mansapta serbest hareketli bir akım sağlayabildiği yapılara savak adı verilmektedir [13-14]. Başka bir ifadeyle; düşey vaziyetli bir çeperde açılan, üst kısmı serbest ve atmosferle temas halinde bulunan bir orifise savak denir. Savaklar genel olarak ince ve kalın kenarlı olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil bakımından ise dikdörtgen, üçgen, trapez ve daire şeklinde olabilmektedir (Şekil 3.5, 3.6) [14].

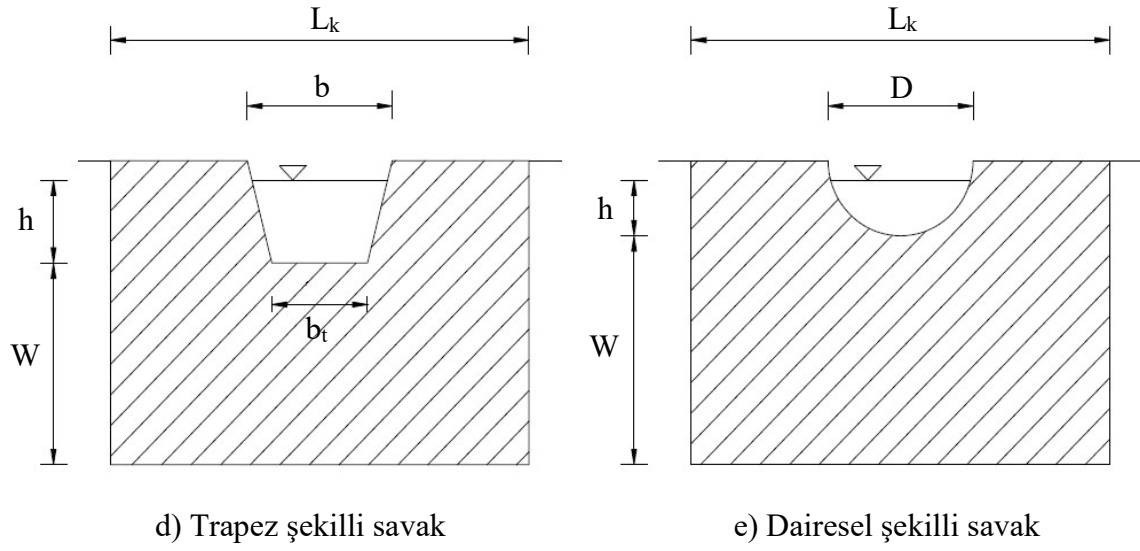


a) Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak

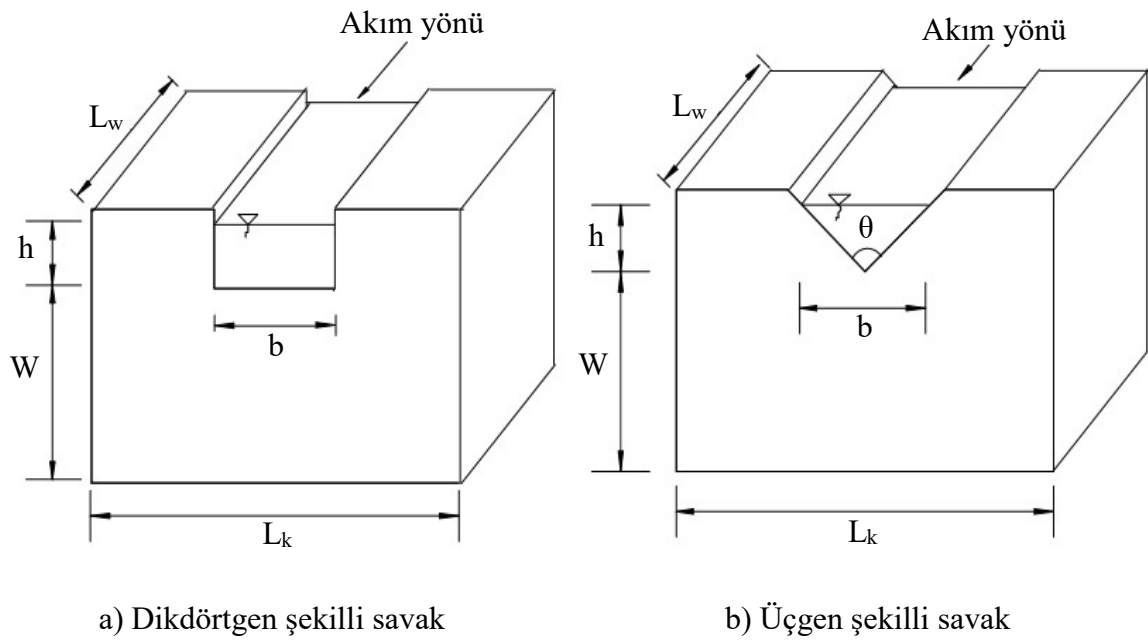


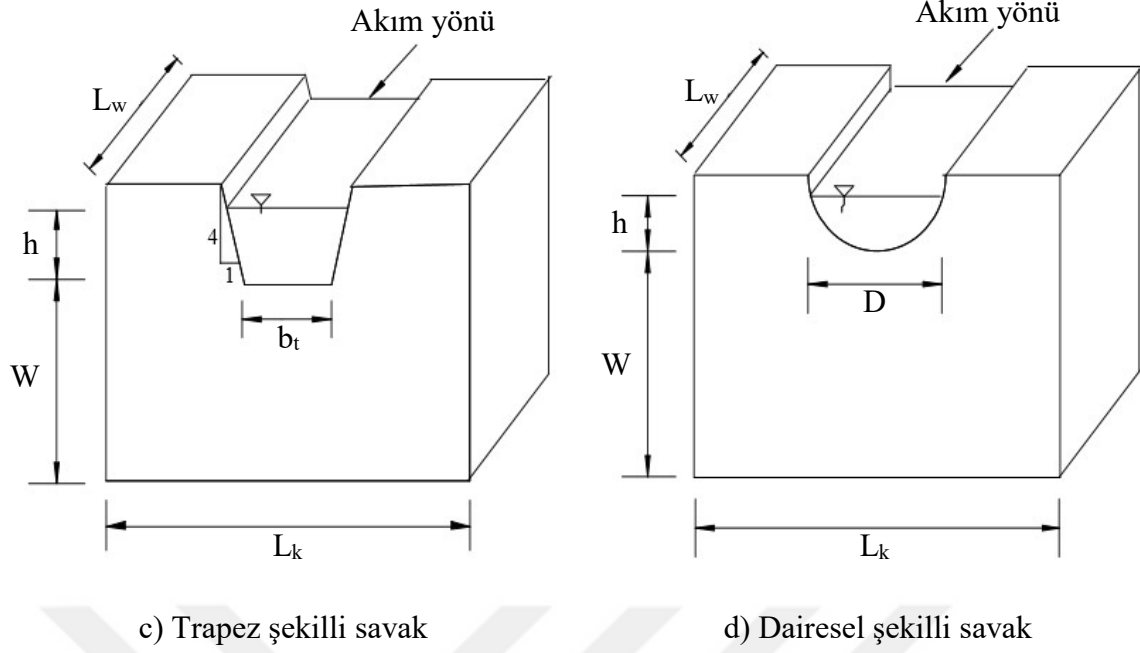
b) Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak

c) Üçgen şekilli savak



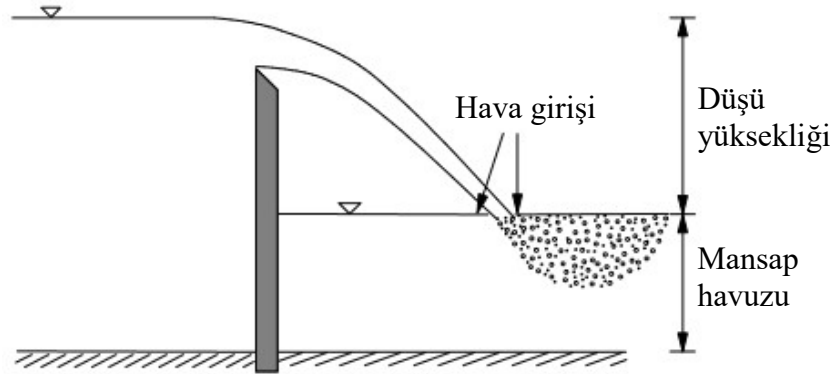
Şekil 3.5. (a-e) Şekil bakımından ince kenarlı savak tipleri [14]





Şekil 3.6. (a-d) Şekil bakımından kalın kenarlı savak tipleri [14]

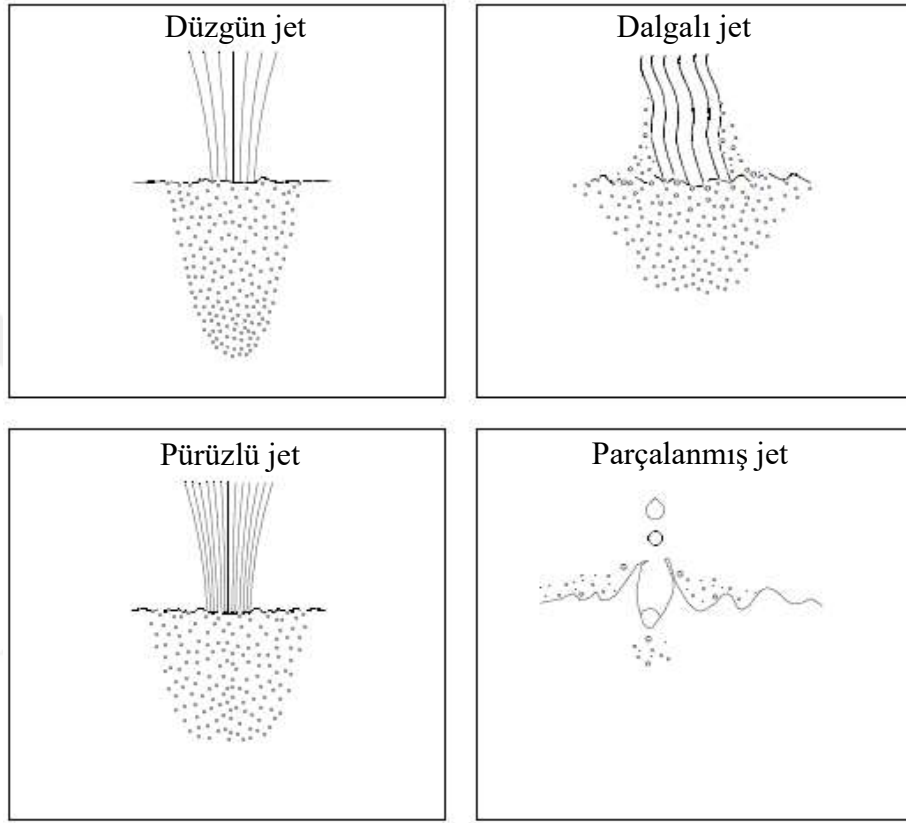
Savaklarda hava girişi; suyun savak üzerinden mansap havuzuna dökülmesi esnasında, atmosferdeki havanın suyla beraber mansap havuzuna sürüklenmesi ile meydana gelmektedir (Şekil 3.7) [12].



Şekil 3.7. Savak akımı [12]

Kabarcıklar halinde mansap havuzuna giren hava, belirli bir derinliğe kadar inerek mansap havuzu içerisinde iki fazlı akım bölgesi oluşturmaktadır. Kabarcıkların indiği bu derinlik ile su yüzeyi arasındaki düşey mesafe penetrasyon derinliği olarak adlandırılır. Penetrasyon derinliği; debi, düşme yüksekliği, savak tipi ve şekline göre değişim göstermektedir [12-14].

Mansap havuzuna sürüklenen kabarcıklar, kütle transferi için gereken yüzey alanını arttırarak oksijen transferinin gerçekleşmesini sağlar. Savaklardaki oksijen transfer verimi, Şekil 3.8’deki hava giriş mekanizmalarına bağlı olarak değişmektedir. Şekilden görüleceği üzere, jetteki kırılma ve parçalanmalar penetrasyon derinliğinin azalmasına ve mansap havuzuna çok daha az hava kabarcığının girmesine neden olmaktadır [12-14].



Şekil 3.8. Savaklarda hava giriş mekanizmaları [12]

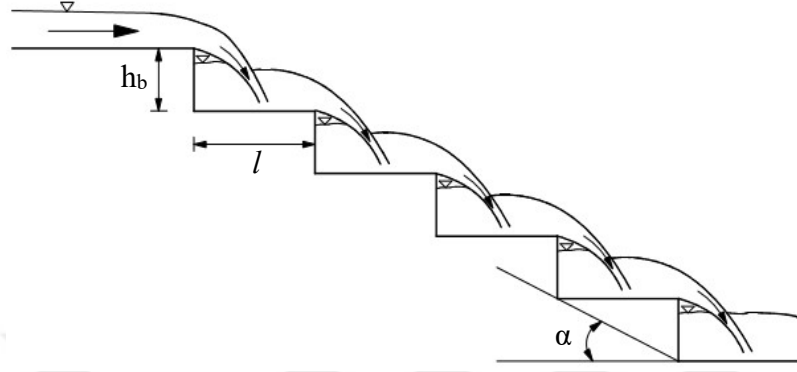
3.1.2. Basamaklı kaskatlar

Basamaklı kaskatlar, akımın enerjisinin büyük bir bölümünün kaskat boyunca sönmüldüğü yapılardır. Enerji sönmüleme amacından başka, havalandırma amacıyla da kullanılmaktadır [6]. Basamaklı yapı sistemleri, uzun yıllardan beridir enerji sönmüleme ve havalandırma yapıları olarak kullanıla gelmiştir [14].

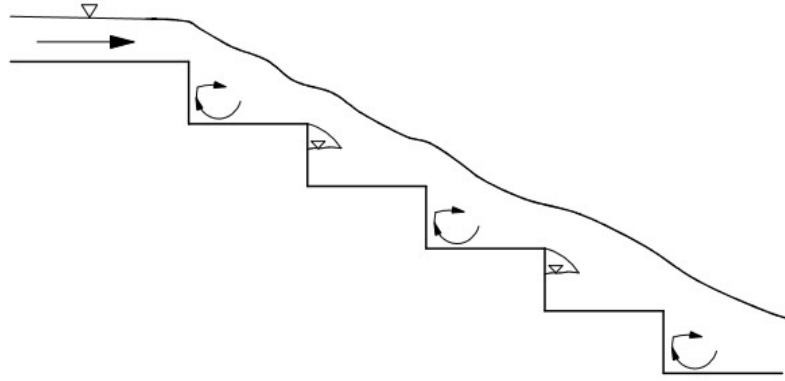
Basamaklı kaskat yapılar, mühendislikte havalandırma yapıları olarak bilinir. Bu havalandırıcılar; nap akım durumunda yeterli hava kabarcığı girişi, uzun bekleme zamanı ve türbülanslı karışım özelliklerinden dolayı etkili havalandırma yapılarından biridir [14].

Basamaklı kaskatlarda, su membadan mansaba doğru iletilirken her basamakta oluşan türbülans nedeniyle suya hava girişi sağlanır. Hava giriş miktarı ise basamaklı

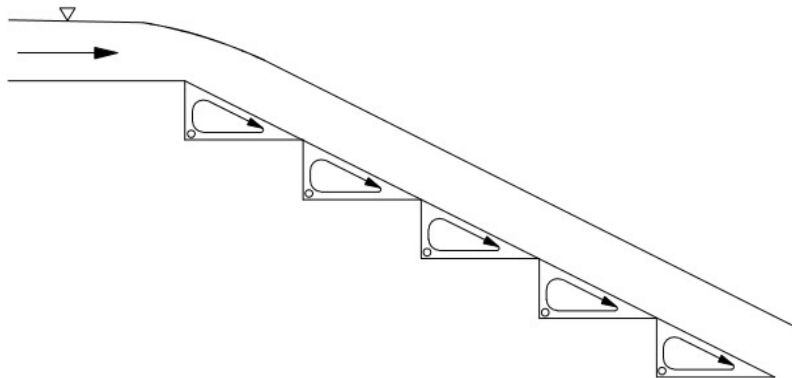
kaskatlar üzerindeki akım tipine bağılı olarak değişmektedir. şekil 3.9’da görüldüğü üzere basamaklı kaskatlar üzerinde nap, geçiş ve sııramalı olmak üzere üç farklı akım tipi meydana gelmektedir. Oluşan akım tipiyle beraber oksijen transfer verimi farklılık gösterecektir [12].



a) Nap akımı



b) Geçiş akımı

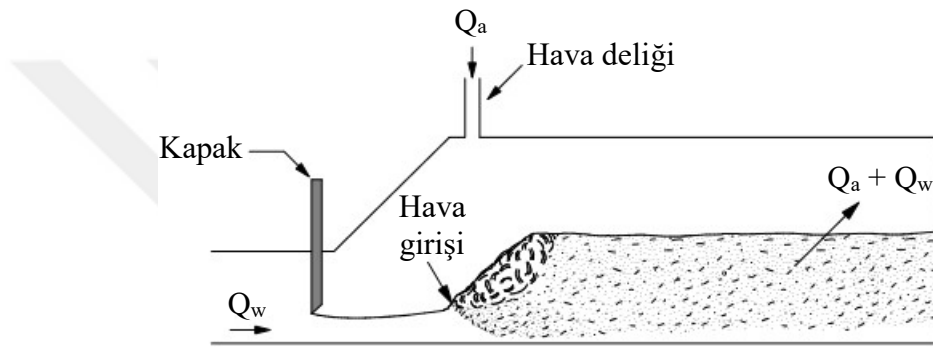


c) Sııramalı akım

şekil 3.9. (a-c) Basamaklı kaskatlarda akım tipleri [12]

3.1.3. Serbest yüzeyli konduitler

Kapaklı konduitlerde, serbest yüzeyli akım şartlarında hidrolik sıçrama ve türbülans oluşumuyla havanın suya karışması mümkün olmaktadır. Su akımına hava girişini sağlamak için pompa kullanılıp suyun basınç değeri yükseltilir [3]. Kapağın kısmi olarak açılmasıyla meydana gelen yüksek hızdan dolayı, kapak mansabındaki hava deliğinde açık hava basıncından daha düşük bir basınç ortaya çıkar. Bu düşük basıncın etkisiyle hava deliğinden hava vakumlanır. Vakumlanan hava konduit içerisinde iki fazlı akımın oluşmasına yol açar. Gerçekleşen iki fazlı akım sebebiyle hızlandırılmış bir oksijen transferi sağlanmış olur (Şekil 3.10) [12].



Şekil 3.10. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım [12]

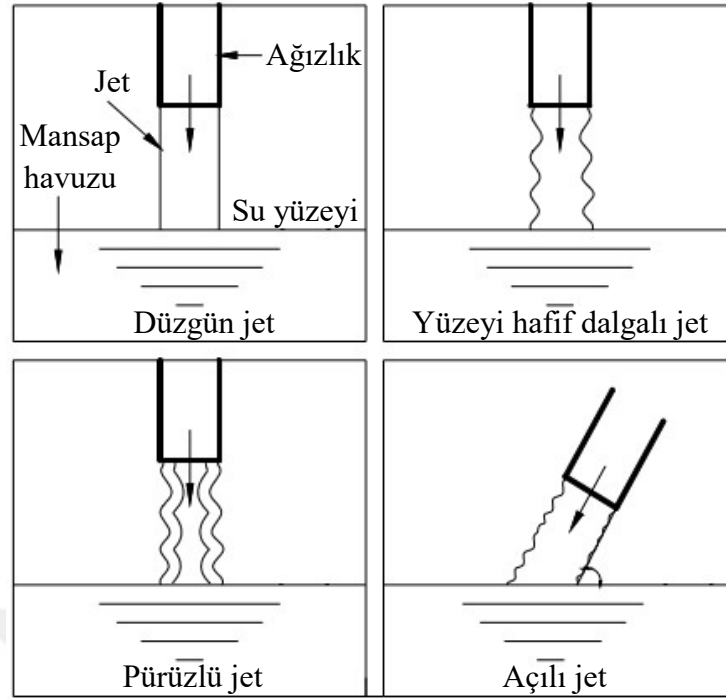
3.2. Basınçlı Akım Sistemleri ile Suların Havalandırılması

Su taşıyan bir hidrolik yapının içindeki akımın; tamamen dolu şekilde, atmosferle teması olmadan akmasına basınçlı akım denir. Bu tür akımlar; boru, tünel, galeri, kuyu ve benzeri yapılarda meydana gelebilir. Basınçlı akımların meydana geldiği hidrolik yapılar; herhangi bir yerinden delinecek olursa, içerisindeki su basınçlı olarak dışarı çıkar [15].

Su jetleri, venturiler ve konduitler gibi basınçlı akım sistemleri hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

3.2.1. Su jetleri

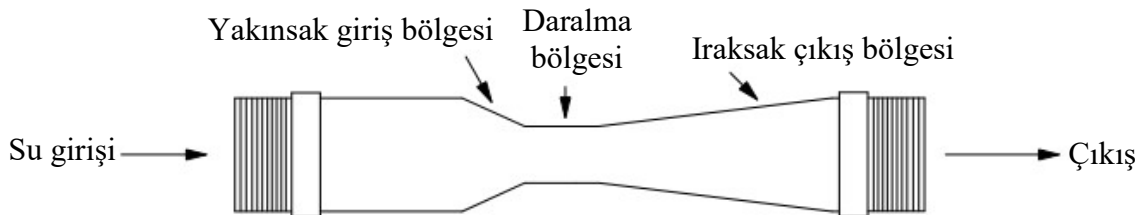
Bir ağızlıktan çıkan yüksek hızlı akışkan akımına su jeti adı verilmektedir. Hava ortamından geçip sonrasında su havuzuna çarpan su jeti, önemli miktarda havayı su kütlesi içerisine taşır ve iki fazlı (gaz-sıvı) bir bölge oluşturur. Böylelikle, havuz içerisine giren hava kabarcıkları ve havuz suyu arasında oksijen transferi meydana gelir. Oksijen transferinde su jeti tipleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir [15].



Şekil 3.11. Su jeti tipleri [15]

3.2.2. Venturiler

Venturi, bir boru boyunca deşarj edilen akışkan akımının debisini ölçmek için uzun yıllardan beri kullanılan bir ayardır. Boru içindeki akışkan akımının hızını arttırmak amacıyla, girişteki borunun kesit alanından daha küçük kesit alanına sahip olan boğaz bölgesinde daralma yapılmıştır (Şekil 3.12). Bu bölgede akışkan hızının artmasına paralel olarak basınç düşüşü meydana gelmektedir. İki kesit arasındaki basınç farkından yararlanılarak akışkan akımının debisi hidrolik olarak hesaplanmaktadır [3]. Burada atmosfer basıncından daha düşük bir basınç oluşmakta ve bu basınç azalması nedeniyle boğaz bölgesindeki hava deliğinden hava girişi olmaktadır. Venturiler bu özelliklerinden dolayı, ağızlık olarak su jeti sistemlerinde ve sisteme havayı temin eden araç olarak da borulu havalandırma sistemlerinde kullanılmaktadır [15].



Şekil 3.12. Bir venturi aygıtının görünümü [3]

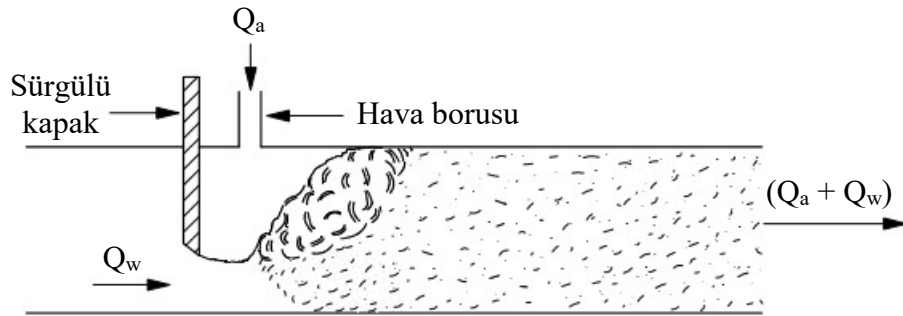
İçme suyu ve atık su tesislerinin havalandırma ünitelerinde kullanılan klasik havalandırıcılara göre venturi aygıtı ile havalandırma daha verimli, daha ekonomik ve işletim bakımından daha kolay olmaktadır [3].

3.2.3. Basınçlı konduitler

Kapaklı konduitlerde su kapağın altından geçerken daraltma nedeniyle kazandığı hız, kapağın mansabında düşük bir basıncın oluşmasına yol açar. Bu düşük basınçtan dolayı, kapağın hemen mansabında açılan hava borusundan konduit içerisine hava girişi olur. Atmosferden vakumlanan hava, kabarcıklar halinde suya karışmış olur. Akım içerisine alınan hava:

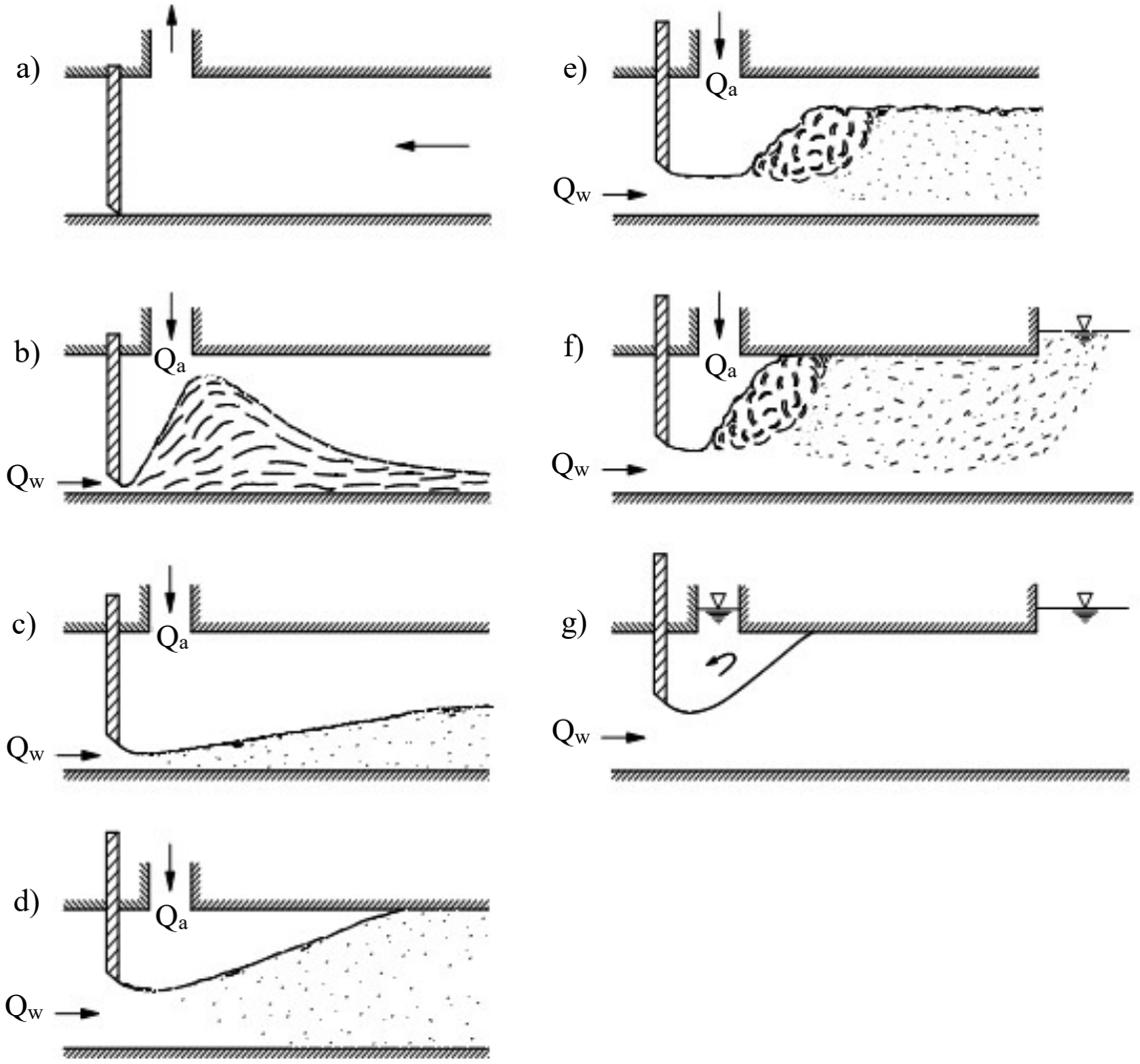
- Kavitasyon hasarlarını azaltmak,
- Vibrasyon etkisi ve kararlı akım şartlarını limit değerlere çekmek,
- Oksijen transferini hızlandırmak

için kullanılır [16]. Basınçlı kapaklı konduitin mansabında meydana gelen iki fazlı akım aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Basınçlı kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım [3]

Kapaklı konduitlerde savaklama kapağı mansabında oluşabilecek iki fazlı akım tipleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir [17].



Şekil 3.14. (a-g) Kapaklı konduit içerisindeki iki fazlı akım tipleri; a) sadece hava akışı b) sprey (püskürme şeklinde) akım c) serbest yüzeyli akım d) köpüklü akım e) hidrolik sıçrama-1 f) hidrolik sıçrama-2 g) sadece su akışı [17]

4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hidrolik yapılarda havalandırma işlemi ve oksijen transferi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılmış olan bu çalışmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Nakasone [18], savaklardaki ve kaskatlardaki havalandırma üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda; savak havalandırıcılarda düşü yüksekliği, debi ve mansap suyu derinliği parametrelerinin önemli olduğunu belirtmiştir. Penetrasyon derinliğinin oksijen kazanımında önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamış ve deneylerinde buna dikkat ettiğini ifade etmiştir. Burada; mansap suyu derinliğinin, düşü yüksekliğinin 2/3'ü kadar olmasını önermiştir. Bunun yanı sıra; penetrasyon derinliğinin ve serbest düşen jetin genişliğinin, her bir savak tipi ve şekli için farklı olacağını bildirmiştir. Penetrasyon derinliğini, sadece düşü yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak vermenin doğru olmayacağını ileri sürmüştür.

Wormleaton ve Soufiani [19], üçgen şekilli labirent savakların havalandırma performansını nasıl etkilediğini deneysel olarak incelemişlerdir. Üçgen şekilli labirent savakların havalandırma veriminin genellikle eşit uzunluktaki doğrusal savaklardan daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Bu avantajın; daha küçük savak tepe açısı, aynı zamanda daha düşük serbest düşü yükseklikleri ve daha yüksek debiler olması halinde daha belirgin duruma geldiğini belirtmişlerdir. Sonuçlardan; hidrolik ve havalandırma performansı optimize edilmesi gereken durumlarda, bu savak tipinin olası bir avantajı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Baylar [2], tez çalışmasında farklı savak tiplerinin oksijen transfer verimi üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu geri devirsiz ve geri devirli sistemlerde deneysel olarak incelemiştir. Geri devirsiz sistemlerde; üçgen enkesitli savakların, diğer enkesitli savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte, üçgen savaklarda savak tepe açısının artması ile oksijen transfer veriminin azaldığını saptamıştır. Geri devirli sistemlerde ise; dikdörtgen, dairesel ve trapez savağın oksijen transfer verimlerinin birbirine yakın değerlerde olduğunu görmüştür. 90° üçgen savakta, küçük düşme yüksekliklerinde ve küçük debilerde diğer savaklardan daha iyi oksijen transfer verimi elde etmiştir. Buradan, 90° üçgen savağın genellikle diğer savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Baylar [20], suların havalandırılmasında kullanılabilecek yeni bir savak tipi olarak venturi savağı geliştirmiştir. Yaptığı deneysel çalışmada, venturi ve dikdörtgen

savaklardan serbest düşen jetlerin hava giriş oranı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Serbest düşen jetin akım hızını artırmak ve dolayısıyla hava girişini artırmak için memba tarafındaki kanal ucuna bir venturi savak yerleştirmiştir. Venturi savaktaki hava giriş oranının, dikdörtgen savaktan çok daha iyi olduğunu belirlemiştir. Bu avantaj, venturi savağın boğaz genişliği azaldıkça daha belirgin bir hal almıştır. Ayrıca, venturi savaklar için hava giriş oranına ilişkin ampirik bir denklem geliştirmiştir. Ölçülen hava giriş oranları ve denklemden hesaplanan değerler arasında iyi bir uyum elde etmiştir.

Ünsal ve ark. [21], serbest yüzeyli akım durumunda kapaklı dipsavaklardaki hava giriş oranını belirlemek amacıyla bir dizi deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Su debisindeki artışa paralel olarak akıma giren hava debisinde de artışın meydana geldiğini, fakat dipsavaktaki boy değişiminin hava girişi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, hava giriş oranını belirlemek için Froude sayısına bağlı bir denklem geliştirmişlerdir. Geliştirilen denklemin; yüksek korelasyon değerine sahip olduğunu, serbest yüzeyli akım durumunda kapaklı dipsavaklardaki hava giriş oranını belirlemek için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

İlçin [1], tez çalışmasında basamaklı dolusavaklarda oksijen transfer verimini deneysel olarak incelemiştir. Yaptığı deneylerde, basamaklara dikdörtgen ve trapez enkesitli eşikler yerleştirerek farklı debilerde oksijen transfer veriminin nasıl değiştiğini araştırmıştır. Oksijen transfer veriminin; küçük debilerde arttığını, debi değerinin belirli bir değeri aşması ile azaldığını gözlemlemiştir. Küçük debilerde nap akımı, büyük debilerde de sıçramalı akım görüldüğünü belirtmiştir. Bu sebeple; nap akımında düşük oksijen transfer verimi, sıçramalı akımda ise yüksek oksijen transfer verimi elde etmiştir. Eşikli basamaklı dolusavakların, klasik dolusavaklara göre oksijen transfer verimi açısından oldukça etkin olduğu sonucuna varmıştır. Basamaklı dolusavaklarda; basamakların bir dolu, bir boş şekilde eşiklerle düzenlenmesi halinde oksijen transfer veriminin daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Özellikle trapez kesitte, bunun daha da fazla olduğunu belirlemiştir.

Tuna [22], yaptığı deneysel çalışmada basamakların sonuna yerleştirilen eşiklerin boyut ve geometrilerinin, oksijen transferine ve akım rejimlerine olan etkisini laboratuvarında hazırlanan bir basamaklı dolusavak modelinde farklı eşik boyutları ve geometrilerinde araştırmıştır. Küçük debilerde daha fazla olan havalandırma veriminin, debi büyüdükçe düştüğünü belirtmiştir. Büyük debilerde genellikle sıçramalı akım gözlemlemiştir. Nap akımı rejiminde havalandırma veriminin, geçiş akımı ve sıçramalı

akıma göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Trapez kesitli eşikli dolusavakların havalandırma verimi değerlerinin, test edilen diğer tiplerden daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Basamaklı düşülerde, eşik boyut ve geometrisinin oksijen transferinde etkin bir rol oynadığı sonucuna varmıştır.

Emiroğlu ve Baylar [23], düz ve basamaklı şütlerin havalandırma verimini nasıl etkilediğini deneysel olarak araştırmışlardır. Basamaklı şütlerin; güçlü türbülanslı karışım, uzun bekleme süresi ve çok miktarda hava kabarcığı sürüklenme özelliklerinden dolayı havalandırmada çok etkili bir yöntem olduğunu tespit etmişlerdir. Basamaklı şütte, aşağı doğru akışta yüksek derecede türbülans nedeniyle düz şütlerden çok daha fazla havalandırma yapıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, nap akımının havalandırma veriminin, geçiş akımına ve sıçramalı akıma göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Baylar ve ark. [24], basamaklı kaskatlarda farklı akış rejimlerinin havalandırma verimine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çıkan sonuçlardan, nap akış rejiminin diğer akış rejimlerinden daha büyük havalandırma verimine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra; sıçramalı, geçiş ve nap akış rejimlerine bağlı olarak basamaklı kaskatlarda havalandırma verimini belirleyebilmek için denklemler geliştirmişlerdir. Ölçülen havalandırma verimi değerleri ve denklemden hesaplanan değerler arasında iyi bir uyum olduğunu belirtmişlerdir.

Baylar ve ark. [6], basamaklı kaskatlarda havalandırma verimi tahmininde kullanılabilecek alternatif modeller konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, öncelikle literatürde var olan formülleri kullanarak basamaklı kaskatlarda akım rejimlerine göre enerji sönümlenme oranlarını hesaplamışlardır. Elde ettikleri enerji sönümlenme oranlarının havalandırma verimleriyle ilişkilerini incelemişlerdir. Hem nap akımı hem de sıçramalı akım rejiminde, enerji sönümlenme oranının artması ile havalandırma veriminin de arttığını tespit etmişlerdir. Nap akım rejiminde, enerji sönümlenme oranının daha büyük olduğunu ve buna bağlı olarak havalandırma veriminin de daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca; kanal eğimi, enerji sönümlenme oranı ve akım rejimi parametrelerini dikkate alarak EK-DVM (En Küçük Kareler-Destek Vektör Makinesi), YSA (Yapay Sinir Ağları) ve USBA (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Ağ) metotları yardımıyla basamaklı kaskat havalandırıcılarda havalandırma veriminin tahmini için modeller geliştirmişlerdir. Havalandırma verimi datalarını ise Baylar ve ark. [24] tarafından yapılan çalışmadan almışlardır. Deneysel sonuçlar ve geliştirilen modeller yardımıyla tahmin edilmiş sonuçlar arasındaki uyumun, modellerin uygunluğunu

gösterdiğini belirtmişlerdir. En iyi sonucu, EK-DVM metodu yardımıyla geliştirilen model ile elde etmişlerdir.

McKeogh ve Ervine [25], sıvıya dalan jetlerin yayılışı ve hava sürüklenme oranları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar çalışmalarının birinci bölümünde, jetlerin sürüklediği havanın oranını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Bunlar; jetin hızı, jetin çapı, jetin türbülans seviyesi (düz türbülans, çok pürüzlü türbülans) ve ağızlığın ucundan jetin düştüğü yüksekliktir. Bu faktörlerin, hava sürüklenme oranını hesaplamada önemli olduğu kadar jet yüzeyi pürüzlülüğünün ve jetin dağılma eğiliminin derecelerini hesaplamada da önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, deneylerin yapıldığı şartlarda gaz sürüklenme oranını hesaplayabilmek için deneysel bir bağıntı geliştirmişlerdir. Yazarlar, ikinci bölümde ise pürüzlü ve düz jetlerin çift fazlı akım ortamında yayılma bölgelerinin kapsamını incelemişlerdir. İki jetin de mansap havuzunda çok farklı sürüklenme modelleri oluşturduklarını göstermişlerdir. Sonuç olarak; derinliği, kapsamı ve havalandırılmış bölgenin hava konsantrasyonunu veren iki grup açıklama sunmuşlardır.

Cummings ve Chanson [26-27], yaptıkları çalışmada suya dalan jetlerin oluşturduğu akım alanındaki hava sürüklenmesini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Suyu dalan jetlerin hava sürüklenme mekanizmalarını, yeni deneysel bulgular ışığında tartışmışlardır. Tüm deneysel sonuçlardan, sürüklenen hava kabarcıkları ve momentum transfer mekanizmaları arasında güçlü etkileşimler olduğunu belirtmişlerdir. Daha sonra, suya dalan dairesel ve iki-boyutlu jetlerin yakın akım alanında hava kabarcıklarının yayılmasını analitik olarak analiz etmişlerdir. Teorik gelişmeler ile suya dalan dairesel ve iki-boyutlu jetlerle yapılan deneylerin verilerini karşılaştırmışlardır. Yazarlar, bu çalışma ile jetin çarpma hızına bağlı olarak dalma noktasındaki hava sürüklenmesine ışık tutmuşlar ve sonuçlarla, kesme tabakasının içindeki hava kabarcıklarının yayılmasının esasen bir advectif yayılma işlemi olduğunu göstermişlerdir.

Emiroğlu ve Baylar [28], dairesel ağızlık üzerine yerleştirdikleri hava delikleri ile farklı ağızlık tipleri geliştirmişlerdir. Hava delikli ve deliksiz dairesel ağızlıkların hava sürüklenme oranını deneysel bir çalışma ile incelemişlerdir. Yazarlar, dairesel ağızlıklar üzerindeki hava delikleri nedeniyle negatif bir basıncın oluştuğunu ve bu negatif basıncın hava sürüklenmesini etkilediğini belirtmişlerdir. Su jeti şeklinin, dairesel ağızlıklar üzerindeki hava deliklerinin sayı ve konumlarına bağlı olarak değiştiğini; aynı zamanda bu durumun test edilen tüm deneylerde hava sürüklenme oranını etkileyen önemli bir

parametre olduğunu gözlemlemişlerdir. Hava delikli dairesel ağızlıkların hava sürüklenme oranının, hava deliksiz dairesel ağızlıklardan daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Baylar ve ark. [29], hava delikli ve hava deliksiz venturi ile dairesel ağızlıklardan çıkan düşey su jetlerinin oksijen transfer verimlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kullanılan ağızlıkların hava deliklerinde negatif bir basıncın meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu negatif basınç sebebiyle hava deliklerinden ağızlık içerisine çekilen havanın; ağızlıktan çıkan su jetinin genişlemesini, şeklini, hava kabarcığı penetrasyon derinliğini ve dolayısıyla oksijen transfer verimini etkilediğini belirtmişlerdir. Hava delikli venturi ağızlığın, test edilen diğer ağızlıklardan daha yüksek oksijen transfer verimine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Baylar ve Emiroğlu [30], yaptıkları çalışmada boğaz kısmında hava delikleri olan bir venturi aygıtının hava giriş oranı ve oksijen transfer verimini incelemişlerdir. Özellikle, değişen hava delik sayıları ve konumlarının ve de deliklerin açık/kapalı olma durumunun etkisini araştırmışlardır. Yazarlar, aynı çıkış çaplarına sahip olan venturi aygıtı ve dairesel ağızlığın hava giriş oranı ve oksijen transfer verimi değerlerini bulmak için bir dizi laboratuvar deneyleri yapmışlardır. Venturi aygıtının boğaz kısmındaki deliklerden, oluşan negatif basınçtan dolayı hava çekildiğini belirtmişlerdir. Ağızlıktan çıkan su jeti genişlemesinin, şeklinin; hava giriş oranı, kabarcık penetrasyon derinliği ve dolayısıyla oksijen transfer verimini etkilediğini saptamışlardır. Hava giriş oranı ve oksijen transfer verimindeki değişimin su jeti genişlemesi ile yakından ilişkili olduğuna ulaşmışlardır. Test edilen tüm koşullarda, artan su jeti genişlemesinin yüksek hava giriş oranlarına yol açtığını gözlemlemişlerdir. Venturi aygıtının hava giriş oranı ve oksijen transfer verimi değerlerinin, dairesel bir ağızlığa göre önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Özkan ve ark. [31], borulu havalandırma sistemlerine venturi monte edilip hava giriş ve oksijen transfer verimlerindeki değişimleri incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışma ile venturi borusunun giriş ve boğaz çaplarının, çıkış boru uzunluğunun, boğaz kısmındaki hava emme borusunun çapının, çıkış boru açısının, giriş kısmındaki akım hızının ve venturi borusu içerisine enjekte edilen sıvının yoğunluğu ve viskozitesinin hava-sıvı enjeksiyon oranı üzerine etkisini araştırmışlardır. Venturi mansabındaki boru uzunluğunun azalması ile hava giriş ve oksijen transfer verimlerinin artış gösterdiğini, venturi borusunun çıkışındaki boru açısının artması ile hava enjeksiyonunun da arttığını belirtmişlerdir.

Sonuçlardan, venturi borularının yüksek hava enjeksiyonu verimleri olduğunu gözlemlemişlerdir.

Baylar ve ark. [32], venturi borularında hava giriş deliği çapının hava enjeksiyonu üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Venturi borusunun hava giriş deliği çapının hava enjeksiyonunda önemli bir rol oynadığını ve ideal bir hava giriş deliği çapı olduğunda, hava enjeksiyonunun maksimuma çıktığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, hava ve su akımı ile Reynolds sayısı, giriş çapı ve hava giriş deliği çapı arasında birden çok doğrusal olmayan regresyon denklemleri elde etmişlerdir.

Baylar ve Özkan [33], su havalandırma sistemlerinde venturi aygıtının uygulamaları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında; venturi ağızlığın, venturili boru sistemlerinin ve venturi savağın havalandırma özelliklerini analiz etmişlerdir. Venturi ile havalandırmanın, hava sürüklenmesine ve havalandırma verimine önemli derecede katkıda bulunabildiğini tespit etmişlerdir. Bu yüzden, venturi aygıtının havalandırma işlemlerinde oldukça etkili bir havalandırıcı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Ünsal ve ark. [34], dikdörtgen kesitli kapaklı konduitlerde farklı kapak açıklıkları, debi değerleri ve konduit uzunlukları için havalandırma performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Küçük kapak açıklığı değerlerinde boru boyu arttıkça hava emme performansının da arttığını, kısa borularda ise kapak açıklığının artırılmasıyla en yüksek hava emme performansının meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Farklı boru boyları için kapak açıklıklarına bağlı olarak hava emme performanslarını incelediklerinde, bütün kapak açıklığı değerlerinde hızın artması ile birlikte hava emme performansının da arttığını tespit etmişlerdir.

Ünsal [35], yaptığı tez çalışmasında yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli olmak üzere iki tip kapaklı konduit kullanmış, bu konduitlerde hava girişi ve oksijen transfer verimlerinin değişimini deneysel olarak incelemiştir. Yapmış olduğu çok sayıda deneyle her iki tip dikdörtgen kesitli kapaklı konduitte de farklı kapak açıklıkları, farklı debi değerleri ve farklı konduit uzunluklarına bağlı olarak hava girişi ve oksijen transfer verimlerini belirlemiştir. Bu incelemelerde, yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde hava girişi ve oksijen transfer verimini etkileyen parametreler olarak; su sıcaklığı, konduit kapak açıklığı, konduit boy uzunluğu, kapak altındaki Froude sayısı ve çözünmüş oksijen eksikliğini dikkate almıştır. Yaptığı çalışma ile yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin, sudaki çözünmüş oksijen değerini neredeyse

doymunluk değeri derecesine çıkardığını göstermiştir. Serbest yüzeyli ve yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde, Froude sayısı arttıkça hava girişi ve oksijen transfer verimi değerlerinin arttığını; Froude sayısının 15'ten büyük değerlerinde ise oksijen transfer veriminin maksimum doymunluğa ulaştığını tespit etmiştir. Kapak açıklığı ve konduit boyunun oksijen transfer verimi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlemiştir. Ayrıca yaptığı deneyler neticesinde elde ettiği sonuçlardan faydalanarak nonlinear analiz yapıp formüller geliştirmiştir. Geliştirilen formüller ile deney sonuçları arasında bir uyum olduğunu ifade etmiştir.

Oveson [36], yaptığı tez çalışmasında serbest yüzeyli dairesel kapaklı konduitlerde hava girişini deneysel olarak araştırmıştır. Kapak açıklığının, konduit boyunun, kapak ve su yüzey pürüzlülüğünün konduitte hava deliği aracılığıyla ölçülen hava girişi ile ilgili önemli değişkenler olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, hava-su arayüzeyi üzerinde fark edilemeyen bir hava hızı profili olduğunu saptamıştır. Konduit geometrisi sabit kaldığında, hava debisinin su debisine oranı (hava giriş oranı) ve kapak açıklığı oranı arasında doğrusal bir ilişki tespit etmiştir. Artan kapak pürüzlülüğünün, su yüzeyi pürüzlülüğünü ve buna bağlı olarak hava giriş oranını artırdığını gözlemlemiştir. Boyu ile orantılı olmamasına rağmen, konduit boyunun hava giriş deliğinde ölçülen hava girişini önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde, hava girişini tanımlamak için Froude sayısının kullanılabileceğini, fakat konduit geometrileri benzer değilse sonuç karşılaştırmaları yapılmaması gerektiğini ifade etmiştir.

Ünsal ve ark. [37], yüksek basınçlı konduit akım sistemlerinin havalandırma verimini incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, kapaktaki Froude sayısının, kapak açıklığının ve konduit boyunun havalandırma verimine etkilerini dikkate almışlardır. Sonuçlardan, yüksek basınçlı konduit akım sistemlerinin büyük havalandırma verimine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Neredeyse, doymunluk değeri kadar tam oksijen transferine ulaşmışlardır. Hava deliğinden sürüklenen havanın, su içerisine küçük hava kabarcıkları halinde aktarıldığını; bunun yanı sıra yüksek konduit basıncının su içerisindeki oksijen çözünürlüğünü kolaylaştırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, havalandırma verimi ile Froude sayısı karakteristiği arasında bir regresyon denklemi elde etmişlerdir.

Demirel [38], tez çalışmasında dairesel kesitli kapaklı konduitlerde serbest yüzeyli akım durumunda maksimum hava girişi için en uygun tasarımı deneysel araştırmıştır. Bu maksatla kapak mansabına belirli aralıklarla hava delikleri açarak her bir deliğin havalandırma performansını incelemiştir. Farklı kapak açıklıkları ve konduit boy

uzunlukları için debi değerlerine bağlı olarak havalandırma performanslarını belirlemiştir. Tüm havalandırma deliklerinde Froude sayısının artması ile hava girişi oranlarının da arttığını, ancak delik yerinin havalandırma üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını görmüştür. Hava deliklerinden emilen havanın, suyun sürüklenme etkisiyle oluştuğunu ifade etmiştir. Tüm kapak açıklığı oranları için havalandırma deliklerinin hemen hemen tamamında, boru boylarının artmasıyla hava giriş oranlarının da arttığını tespit etmiştir. Bütün havalandırma deliklerinin açık olması halinde ise her bir deliğin hava emme performansının değişmediğini gözlemlemiştir.

Özkan ve ark. [39], yüksek basınçlı kapaklı dairesel konduitlerde maksimum havalandırma verimliliği için optimum hava giriş oranını deneysel olarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlardan, havalandırma veriminin belli bir noktaya kadar hava giriş oranı ile arttığını ve daha sonra hava giriş oranının artması ile havalandırma veriminde değişiklik olmadığını gözlemlemiştir. Böylece, hava giriş oranı için Froude sayısına bağlı optimum bir değer olduğunu, bu değer maksimum havalandırma verimini sağlayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca, havalandırma verimi ile hava giriş oranı ve Froude sayısı arasında tasarım bir bağıntı geliştirmişlerdir.

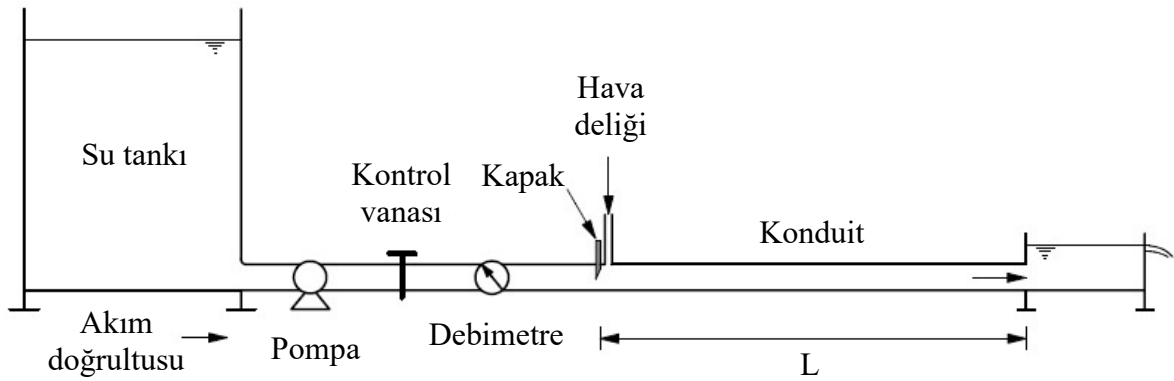
Özkan ve ark. [16], yaptıkları deneysel çalışmada yüksek basınçlı kapaklı konduit ve venturi havalandırma sistemlerinin hava giriş ve havalandırma performanslarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak 100.000'den daha küçük Reynolds sayılarında venturilerin, Reynolds sayısının artması ile de yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin hava giriş ve havalandırma performansı açısından daha uygun olduğunu gözlemlemiştir. Yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde 250.000'den daha büyük Reynolds sayılarında, havalandırma performansının maksimum değere ulaşmasının önemli bir sonuç olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin, yüksek hava giriş performansları sebebiyle diğer havalandırma işlemlerinde de kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

Bu çalışmada, dairesel kesitli yüksek basınçlı kapaklı konduit kullanılmış olup bu konduitlerde hava delik çapının havalandırma performansına etkisi araştırılmıştır. Konduitte; farklı hava delik çapları, farklı daralma oranları, farklı debi değerleri ve farklı konduit uzunluklarına bağlı olarak hava girişi oranları belirlenmiştir.

Deneyde kapaklı konduit olarak 27,7 mm çapında dairesel kesitli metal bir boru kullanılmıştır. Konduit boyu 75, 100 ve 125 cm; hava delik çapı ise 5, 10 ve 15 mm olarak değişmektedir. Konduitin kapak kısmında, mevcut alanın %20, %35 ve %50'sine karşılık gelecek şekilde daralma yapılmıştır. Kapak mansabında açılan delik aracılığıyla dış ortamdaki havanın sistem içerisine girmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneği

Deneylerin yapılabilmesi amacıyla memba kısmında bulunan bir tonluk bir su deposu, suyu depodan alarak konduite ulaştıran ve su deposu tabanı seviyesinde bulunan pompa, istenilen debi değerlerini ayarlamak için kontrol vanası, sistemden geçen debi değerlerini belirlemek için dijital göstergeli boru çapı ile aynı çap değerinde elektromanyetik debimetre ve açılan delikten konduite giren havanın hızını ölçmek için anemometre cihazı kullanılmıştır. Deneylerde yer alan bir tonluk su deposu Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Deneylerde yer alan su tankı

Sistemde, suyu temin etmek için su tankına dışarıdan devamlı su girişi sağlanmış ve tank doldukça akım bağlanmıştır. Su, pompa vasıtasıyla çekilerek sisteme verilmiştir. Konduit üzerindeki hava deliğinde oluşan düşük basınç etkisiyle dış ortamdan alınan havanın sistemdeki suya aktarılması sağlanmıştır.

Deneylerde yer alan farklı boy uzunluğundaki konduitlerin, boy uzunluklarını değiştirebilmek için konduit ile aynı çapta ve aynı malzemedan yapılmış olan ekler kullanılmıştır. Bu eklerin bağlantısı dört adet vida ile yapılmıştır. Konduit ile eklerin başlıkları arasına su sızdırmaması için conta yerleştirilmiştir. Kullanılan konduit ve ekler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan konduit



Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan ekleme parçaları

Konduitte sıvı akımı olduğu sırada, hava deliğinden sisteme giren havayı ölçmek için kullanılan anemometre cihazı Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

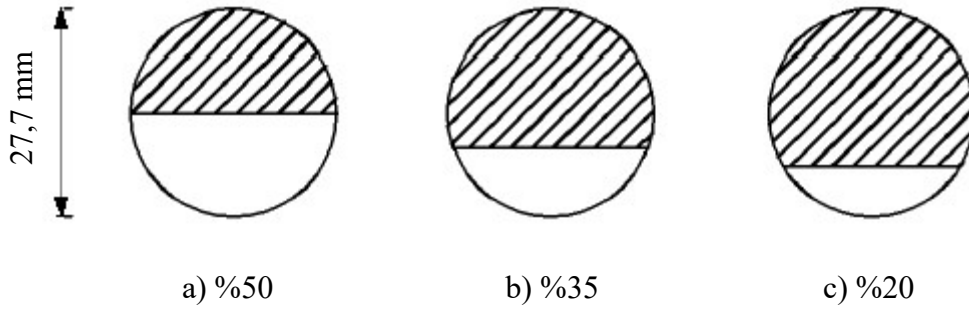


Şekil 5.5. Hava girişini ölçmede kullanılan anemometre cihazı

5.2. Metot

Hava giriş oranının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylere, öncelikle 5 mm hava delik çapı için 75 cm uzunluğundaki ilk parça ile başlanmıştır. 75 cm'lik boyağı ilk parçadan giren havanın debisi; açılan delikten giren havanın hızının anemometre ile ölçülmesi sonucunda saptanmış değerin, hava deliğı alanı ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Ölçüm işlemleri ise altı farklı debi değerine göre yapılmıştır. Bu debi değerleri 0,9; 1,8; 2,7; 3,6; 4,5 ve 5,4 m³/sa'tir. Bu ölçümler yapıldıktan sonra, konduite 25 cm'lik ikinci parça takılarak 100 cm uzunluğundaki konduite giren havanın debisi altı farklı debi değeri için belirlenmiştir. 100 cm uzunluğundaki konduit için ölçümler tamamlandıktan sonra 50 cm'lik üçüncü parça takılarak 125 cm uzunluğundaki konduite giren havanın debisi tespit edilmiştir. 125 cm konduit uzunluğu için de yine altı farklı debi değeri kullanılmıştır. Daha sonra sırasıyla 10 mm ve 15 mm hava delik çapları için aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Su tankına dışarıdan su girişı sağlanarak her deney seti başlangıcında, tankın musluk suyuyla tam hacimde dolu olmasına dikkat edilmiştir. Su tankından pompalanan su ise debisinin kontrol vanası ile ayarlanmasından sonra konduitlerden geçirilmiştir. Konduite giren havanın debisi bulunurken anemometre ile 30 saniyelik ölçüm yapılarak giren hava hızının ortalaması alınmıştır. Alınan bu ortalama hız, giren havanın girdiğı deliğın çapı kullanılıp elde edilen delik alanı ile çarpılarak hava debisi hesaplanmıştır. Deneyler yapılırken tüm konduit boyları için konduit alanının %20, %35 ve %50'sine karşılık gelen daralma oranları kullanılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. (a-c) Daralma oranları

Konduite giren hava debileri aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$Q_A = V_A \cdot A_A \quad (5.1)$$

Burada;

Q_A : Hava debisi (m^3/s)

V_A : Hava hızı (m/s)

A_A : Hava deliği alanı (m^2)

Bu deneyler yapılırken farklı debi değerleri kullanılmış ve bu debilere bağlı olarak farklı su hızları tespit edilmiştir. Su hızları kullanılarak daralmanın olduğu yerde Reynolds sayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$Re = \frac{V_W \cdot 4R}{\nu} \quad (5.2)$$

Burada;

Re : Reynolds sayısı

V_W : Su hızı (m/s)

R : Hidrolik yarıçap (m)

ν : Akışkanın kinematik viskozitesi (m^2/s)

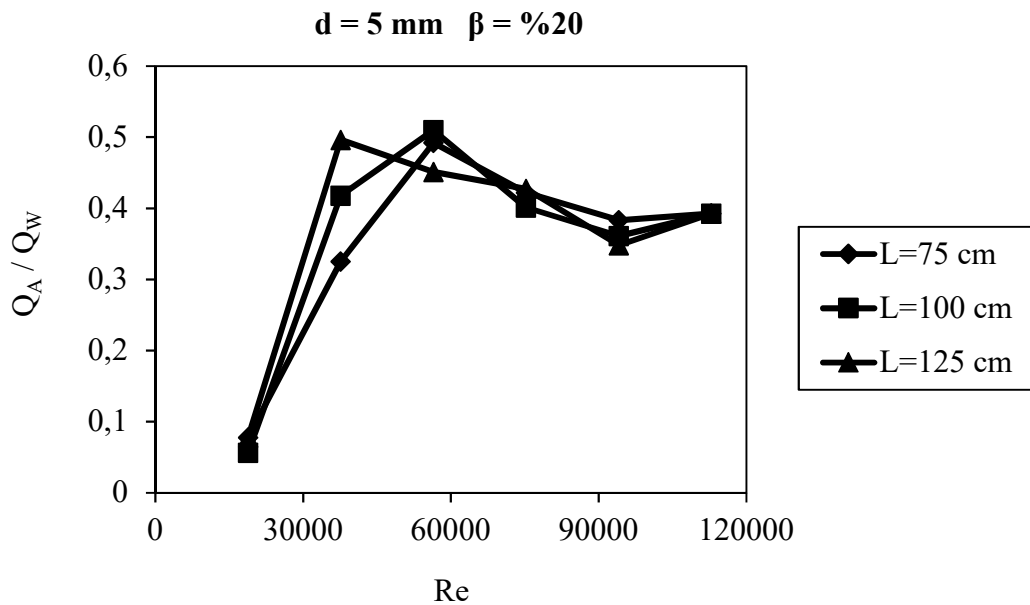
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Hava Giriş Deney Sonuçları

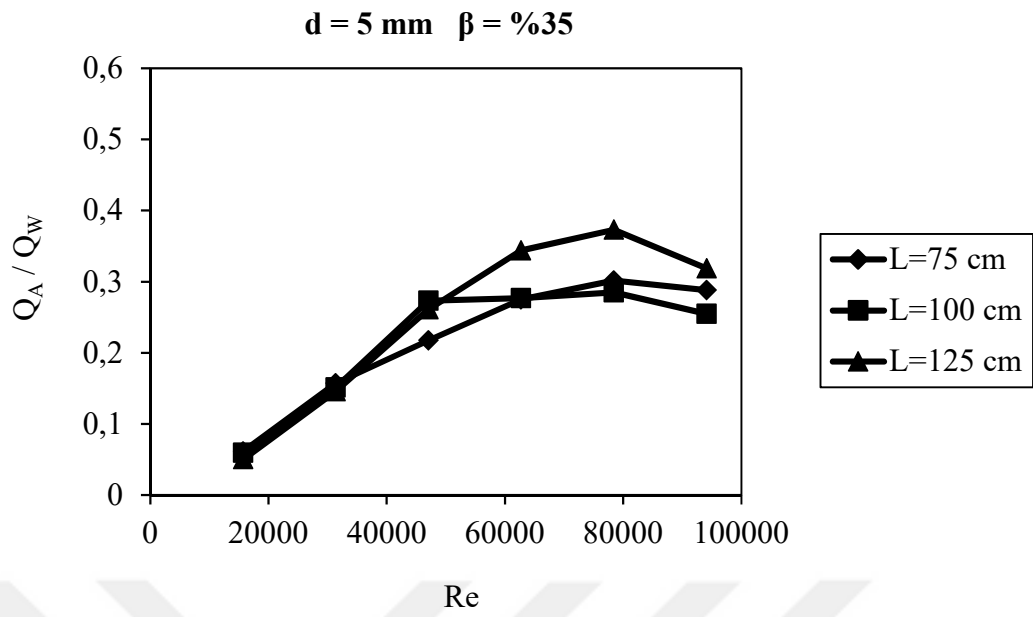
6.1.1. Konduit uzunluklarına göre hava giriş oranları

Uzunlukları $L = 75$ cm, 100 cm ve 125 cm olan konduitlerin, daralma oranı (konduit alanının $\beta = \%20$, $\%35$ ve $\%50$ 'sine karşılık gelen daralma değerlerinde) ve delik çapına göre hava giriş oranları Şekil 6.1 a-ı'da verilmiştir. Daralma oranı ve delik çapı sabit tutulup üç farklı konduit uzunluğunun hava giriş oranları incelendiğinde; konduit boyundaki artışın hava giriş oranı (Q_A / Q_W) üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve hava giriş oranları değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Konduit boyunun artması ile hava giriş oranları arasında önemli farklar oluşmamıştır.

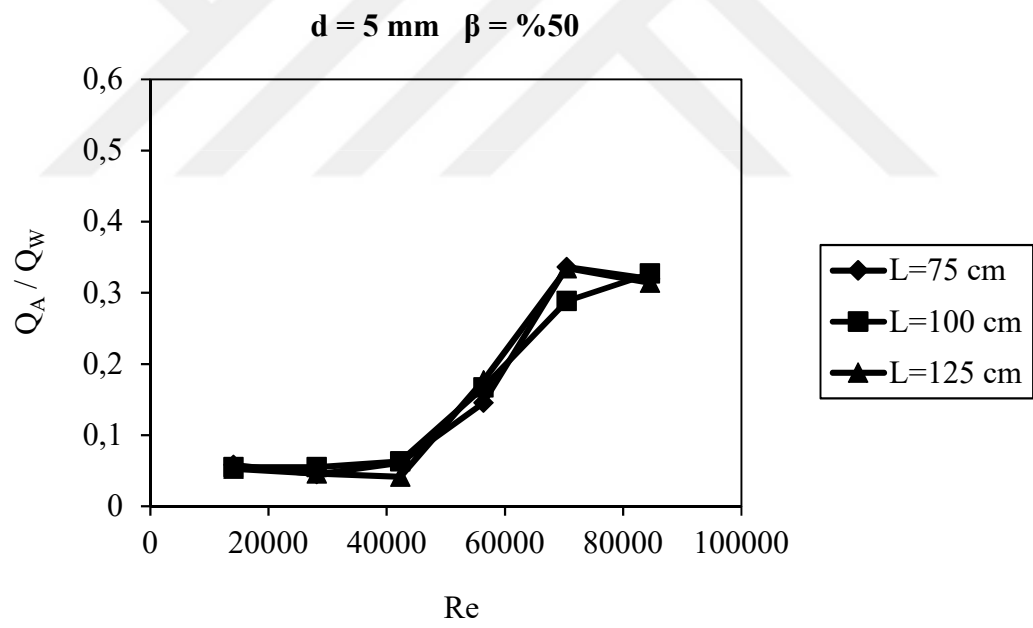
Şekiller incelendiğinde; Şekil 6.1 b ve 6.1 g'de $L = 75$ cm boyunda, Şekil 6.1 c ve 6.1 h'de $L = 100$ cm boyunda, Şekil 6.1 f'de $L = 75$ cm ve $L = 125$ cm boylarında, Şekil 6.1 ı'da ise tüm konduit boylarında Re sayısının artışına bağlı olarak Q_A / Q_W değerleri de artış göstermiştir. Meydana gelen bu artış, su hızındaki artışa paralel olarak daralma bölgesinin memba ve mansabı arasındaki basınç farkının artmasıyla ifade edilebilir. Bunların haricindeki diğer konduit boylarında; hava giriş oranları belirli bir değere kadar artış göstermiş, bu değerden sonra azalma eğilimine girmiştir.



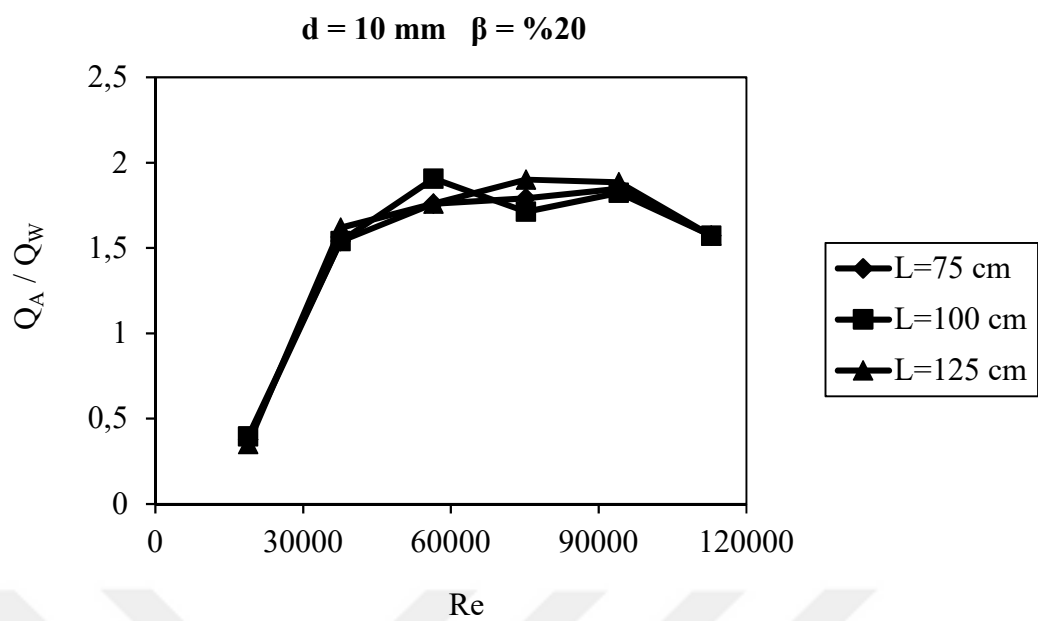
(a)



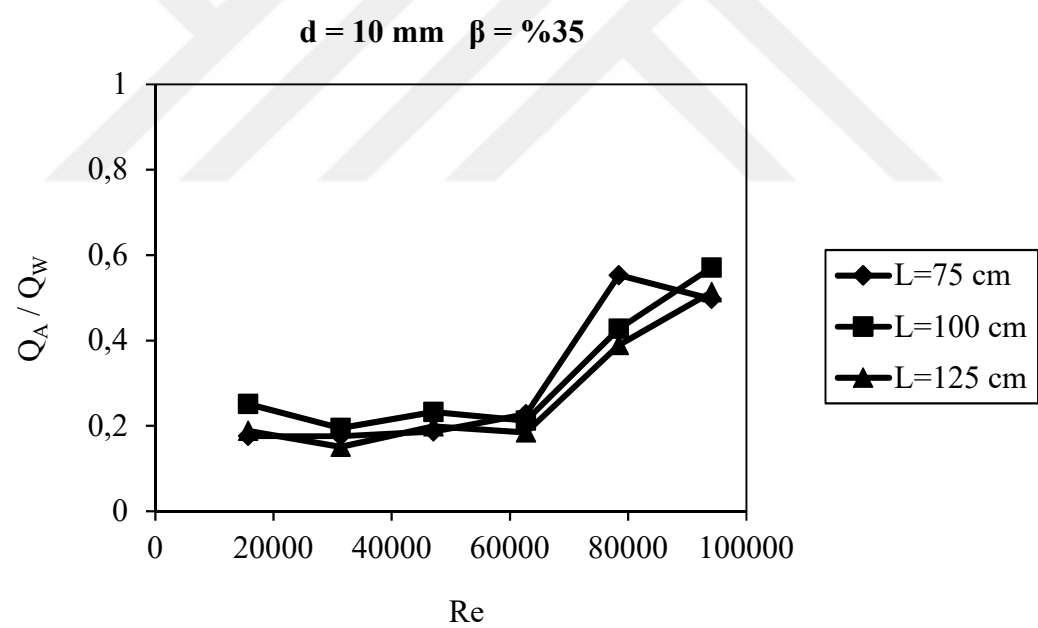
(b)



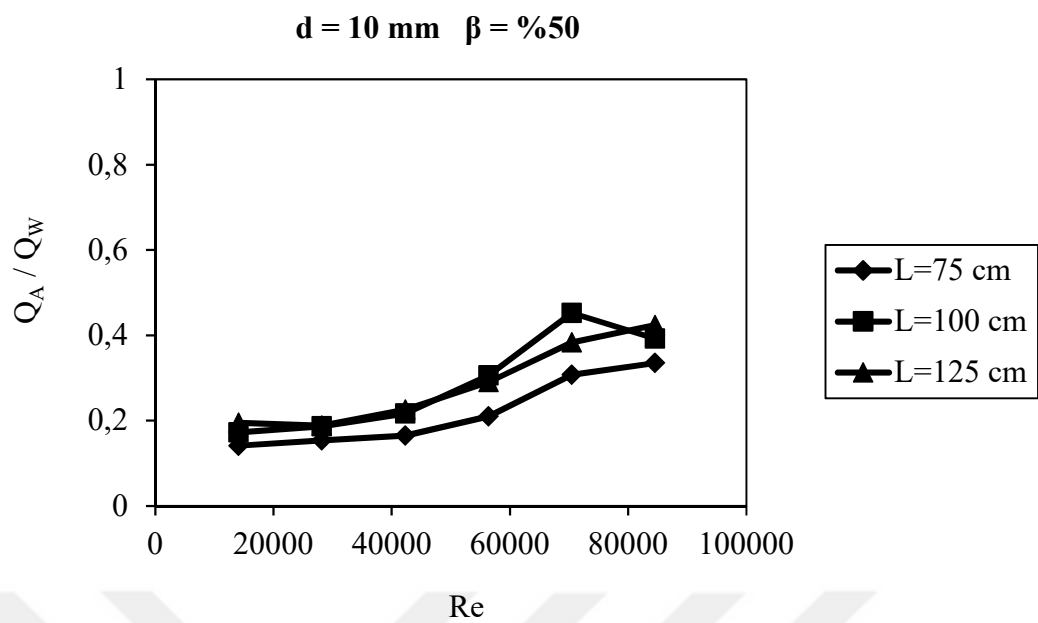
(c)



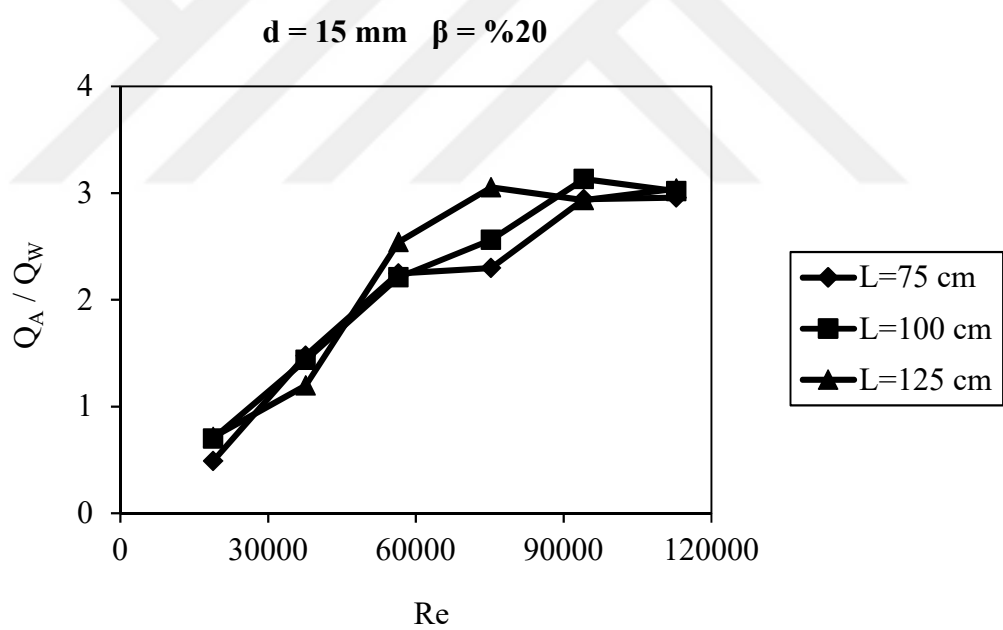
(d)



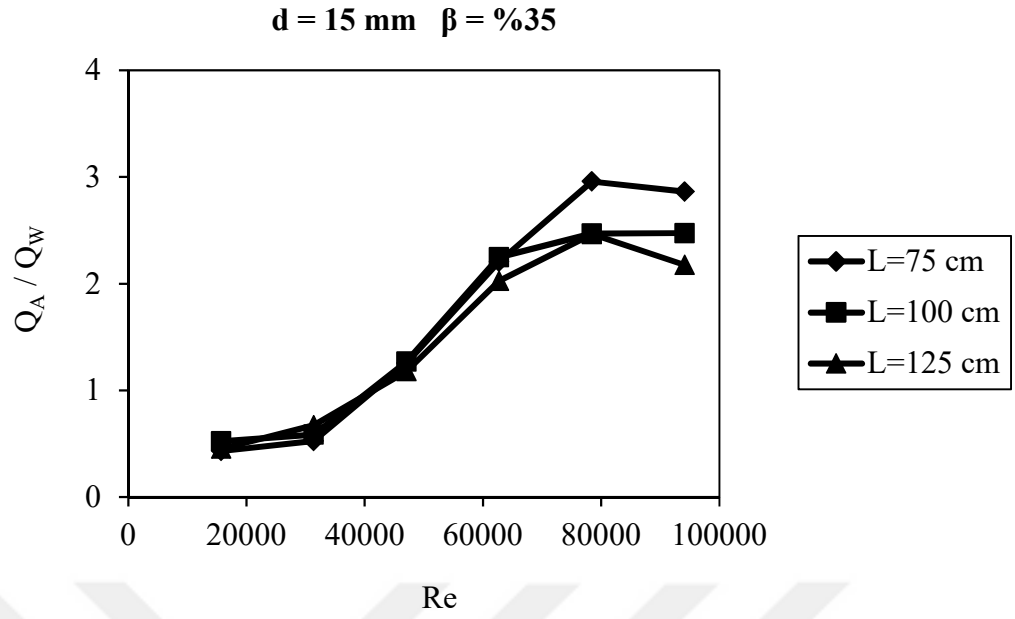
(e)



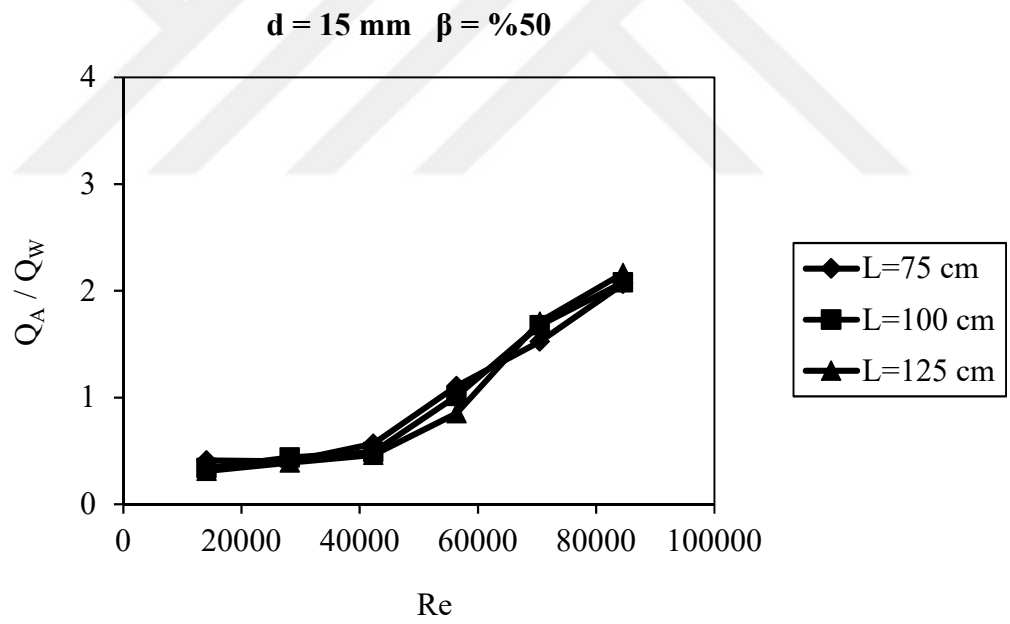
(f)



(g)



(h)



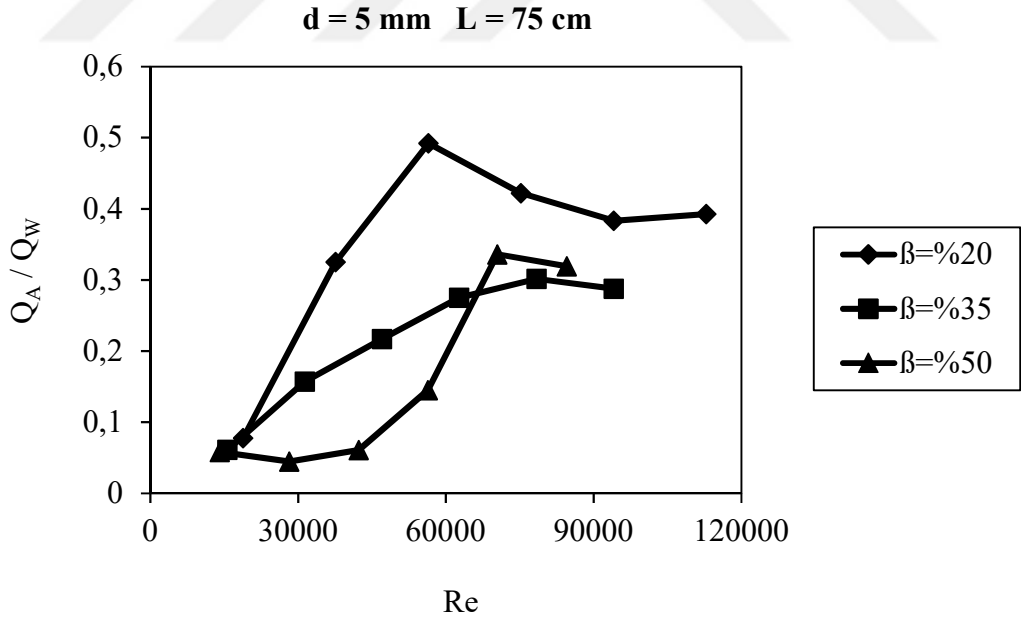
(i)

Şekil 6.1. (a-1) Farklı konduit boylarında Re sayısı ile Q_A / Q_W değişimi

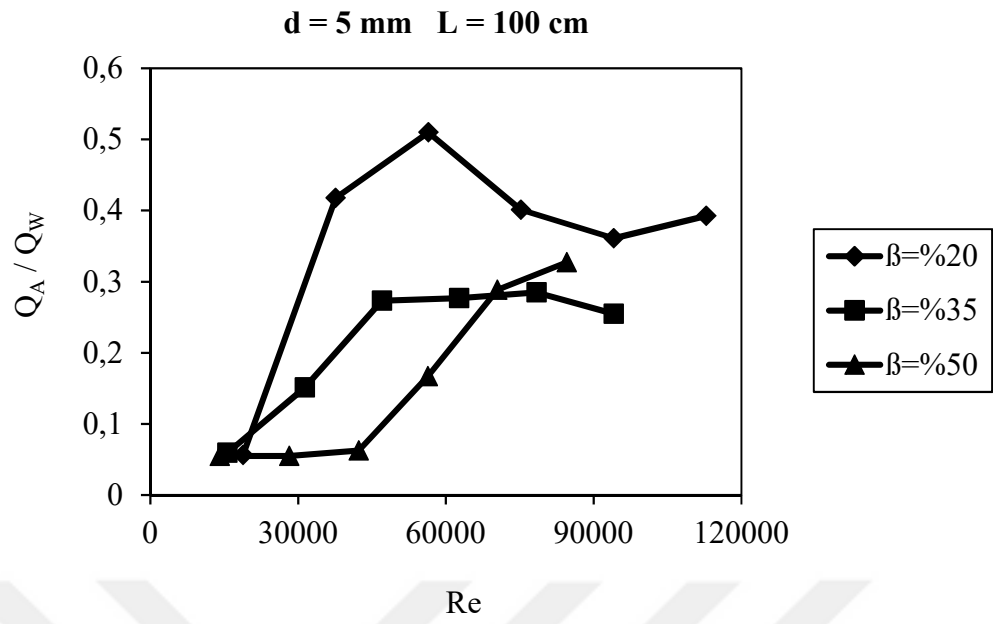
6.1.2. Daralma değerlerine göre hava giriş oranları

$\beta = \%20$, $\%35$ ve $\%50$ daralma değerlerinin, delik çapı ve konduit uzunluğuna göre hava giriş oranları Şekil 6.2 a-ı'da verilmiştir. Delik çapı ve konduit uzunluğu sabit tutulup üç farklı β değeri için hava giriş oranı incelendiğinde, β 'nın artmasıyla hava giriş oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Bütün delik çapları ve konduit uzunlukları içerisinde en büyük hava giriş oranı, mevcut alanın $\%20$ 'sine karşılık gelen daralma değerinde, yani $\beta = \%20$ 'de elde edilmiştir. Düşük olan daralma oranında, daralma bölgesinin memba ve mansabı arasındaki basınç farkının yüksek olması nedeniyle vakumlanan hava miktarı artmıştır. Daralma oranının artması ile memba ve mansap arasındaki basınç farkı azaldığı için vakumlanan hava miktarı da azalmıştır.

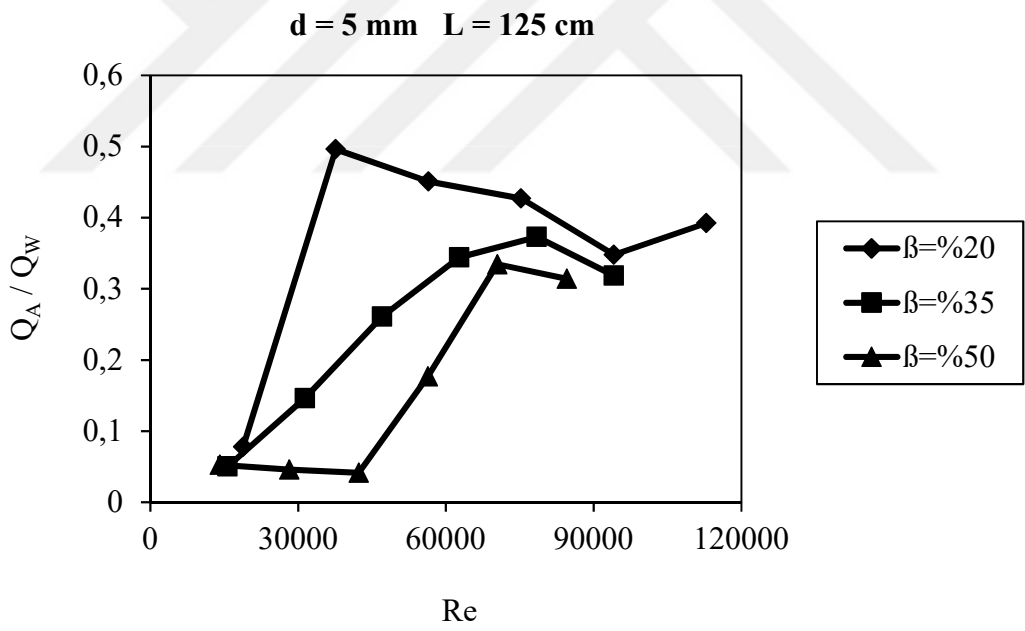
Su hızındaki artışa paralel olarak Şekil 6.2 b'de, 6.2 d'de, 6.2 f'de ve 6.2 ı'da $\beta = \%50$ 'de; Şekil 6.2 g'de $\beta = \%20$ ve $\beta = \%50$ 'de; Şekil 6.2 h'de ise $\beta = \%35$ ve $\beta = \%50$ 'de Q_A / Q_W artış göstermiştir. Bunların dışındaki diğer daralma değerlerinde; hava giriş oranları belirli bir değere kadar artış göstermiş, bu değerden sonra azalma eğilimine girmiştir.



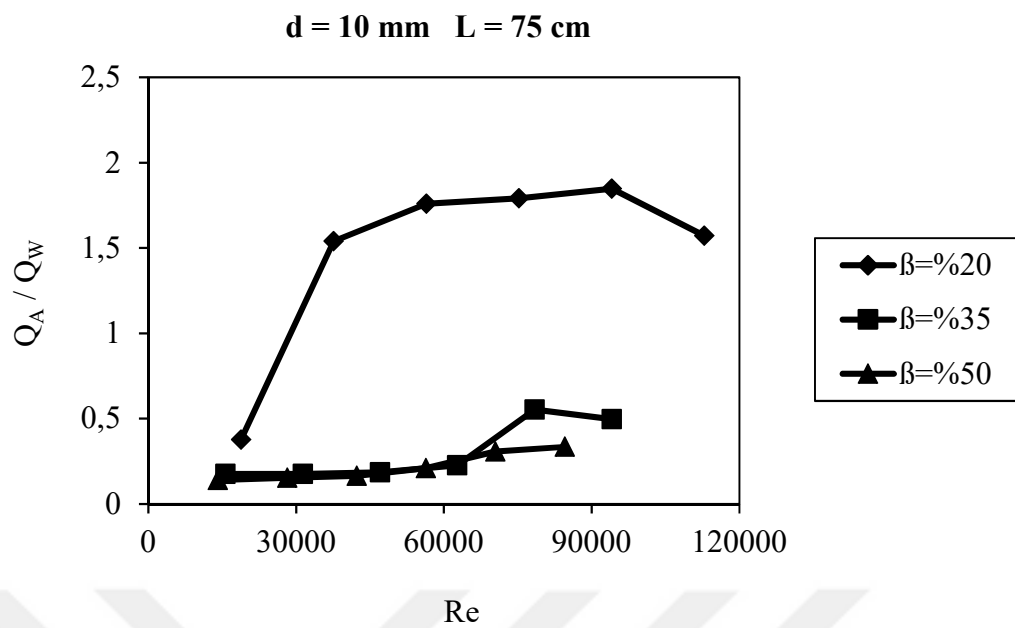
(a)



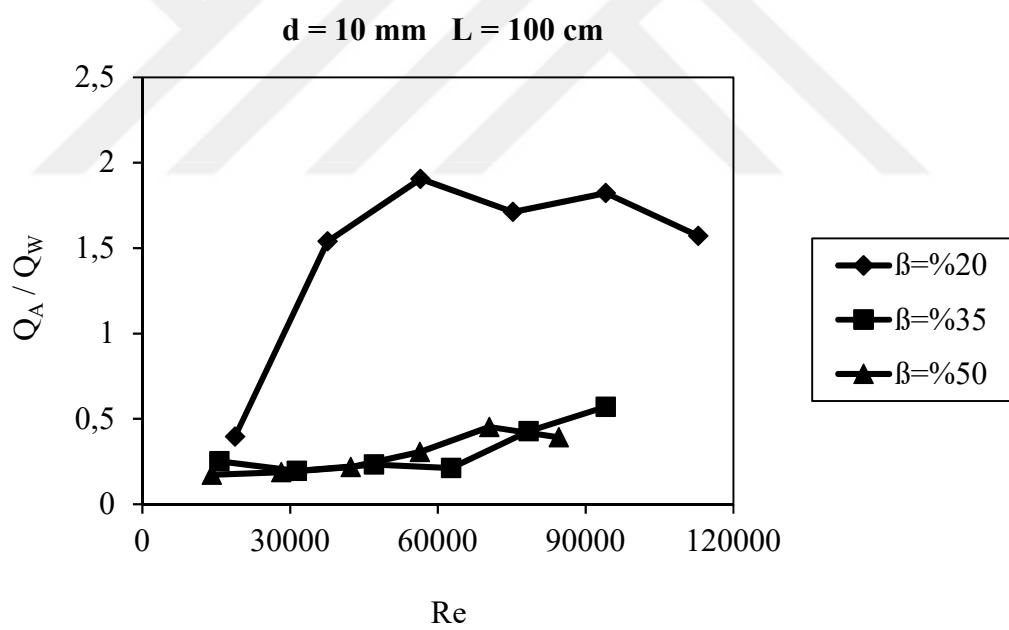
(b)



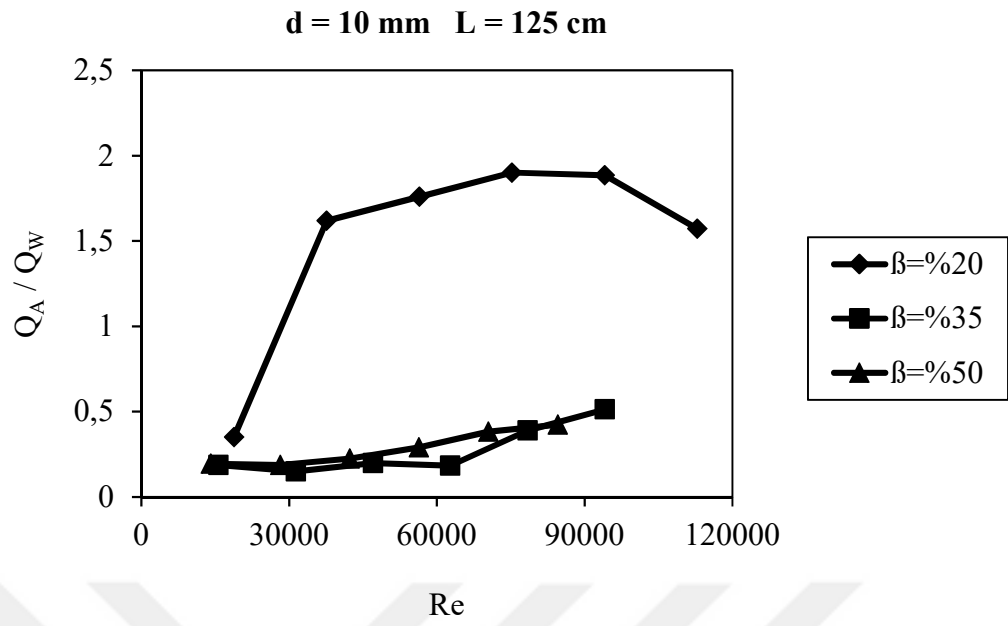
(c)



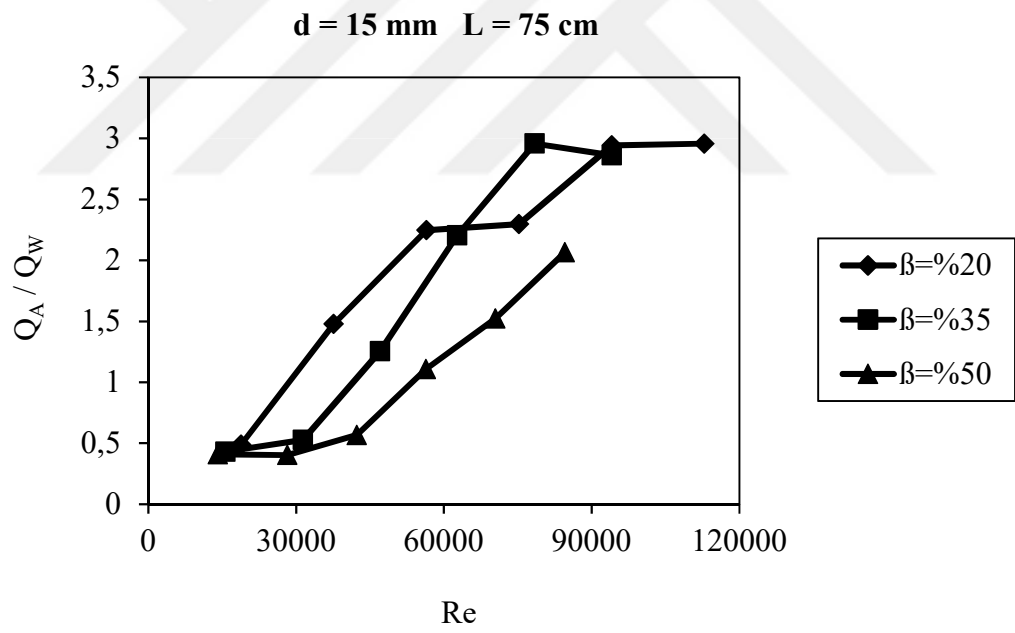
(d)



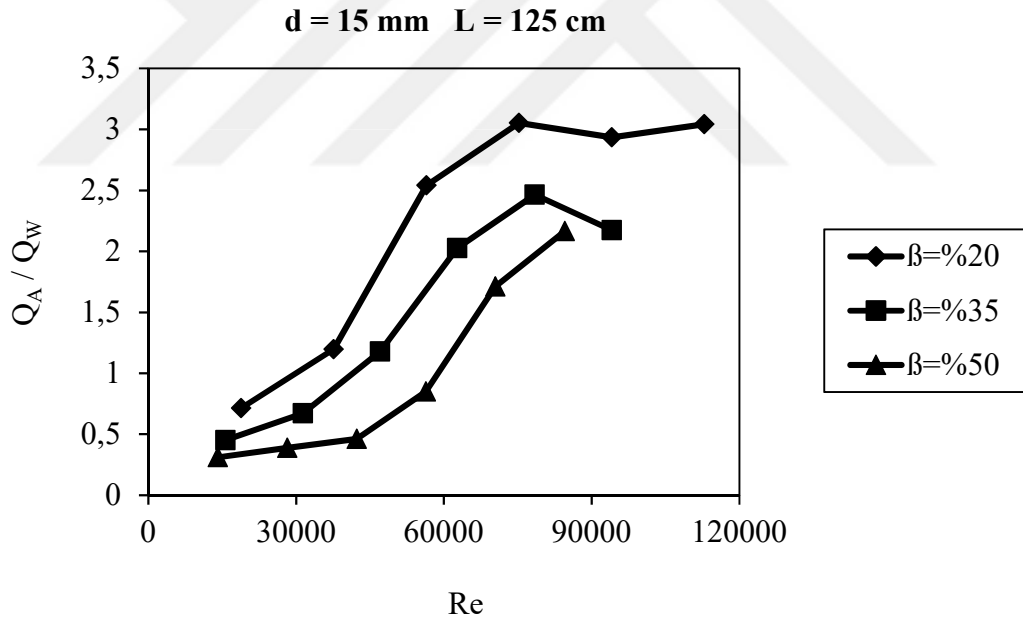
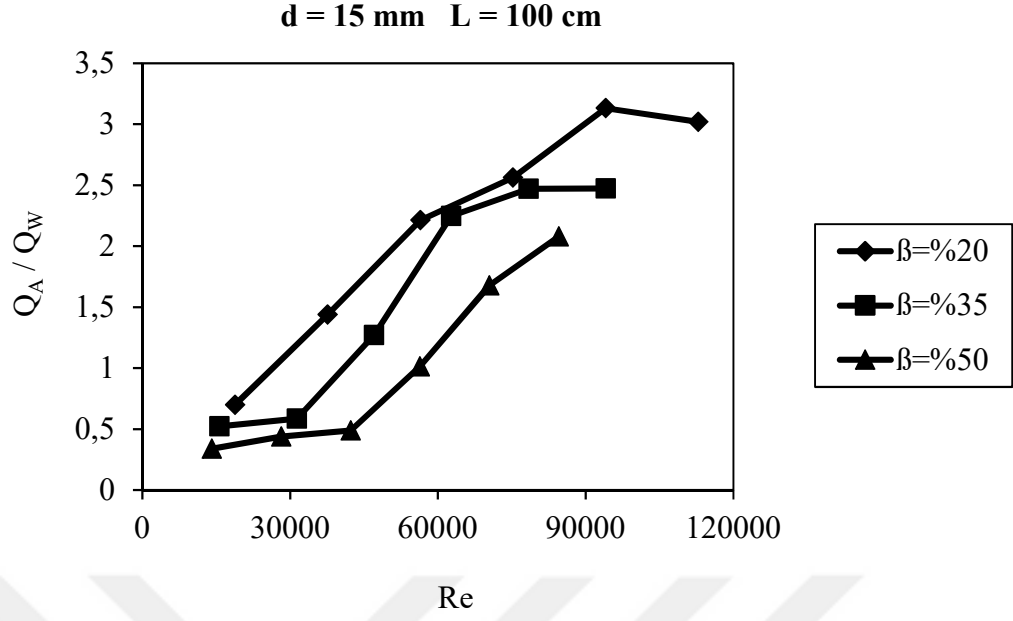
(e)



(f)



(g)



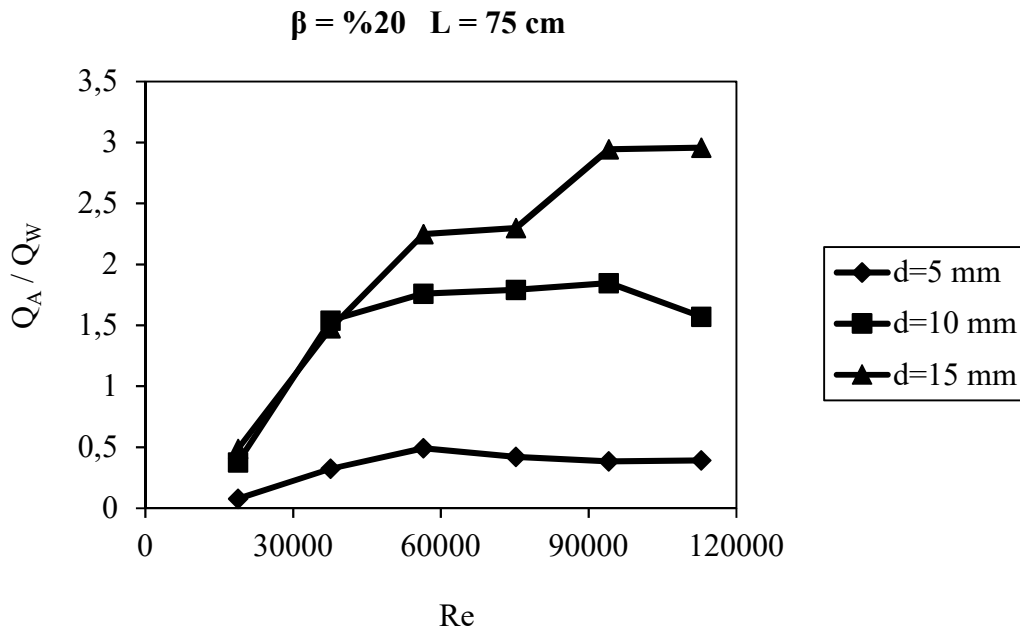
Şekil 6.2. (a-ı) Farklı daralmalarda Re sayısı ile Q_A / Q_W değişimi

6.1.3. Delik çaplarına göre hava giriş oranları

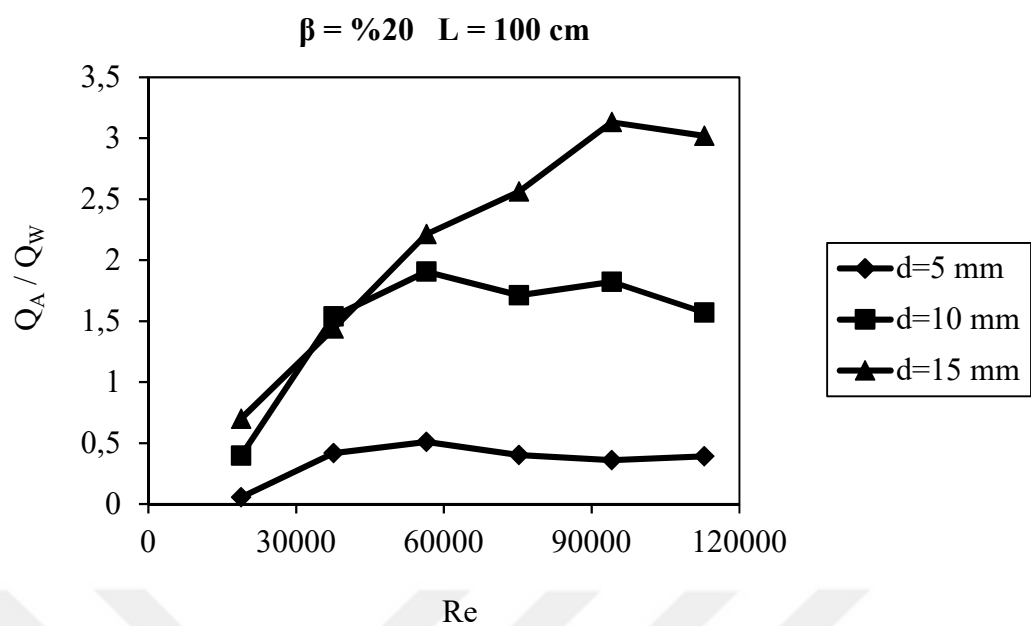
Çapları $d = 5$ mm, 10 mm ve 15 mm olan deliklerin, β daralma değerleri ve konduit uzunluğuna göre hava giriş oranları şekil 6.3 a-ı'da verilmiştir. β değerleri ve konduit uzunluğu sabit tutulup üç farklı delik çapı için hava giriş oranı incelendiğinde, delik çapının artması ile deliğin alanı artmış ve böylece giren hava debisi (Q_A) de artış göstermiştir. Giren havanın artması ise, hava giriş oranının artmasını sağlamıştır. Böylece, $d = 15$ mm delik çapında en büyük hava giriş oranı elde edilmiştir.

$\beta = \%20$ 'de, delik çapındaki değişim ile birlikte Q_A / Q_W değeri de değişim göstermiştir. $d = 5$ mm delik çapında en küçük Q_A / Q_W değeri elde edilirken $d = 10$ mm delik çapında daha büyük Q_A / Q_W değeri elde edilmiştir. Ancak $d = 15$ mm delik çapında en yüksek Q_A / Q_W değeri tespit edilmiştir. Burada memba ve mansap arasındaki büyük basınc farkı etkili olmuştur. Q_A / Q_W değerinin; $\beta = \%35$ ve $\%50$ 'de, $d = 15$ mm delik çapında en yüksek olduğu, $d = 5$ mm ve $d = 10$ mm delik çaplarında ise birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir.

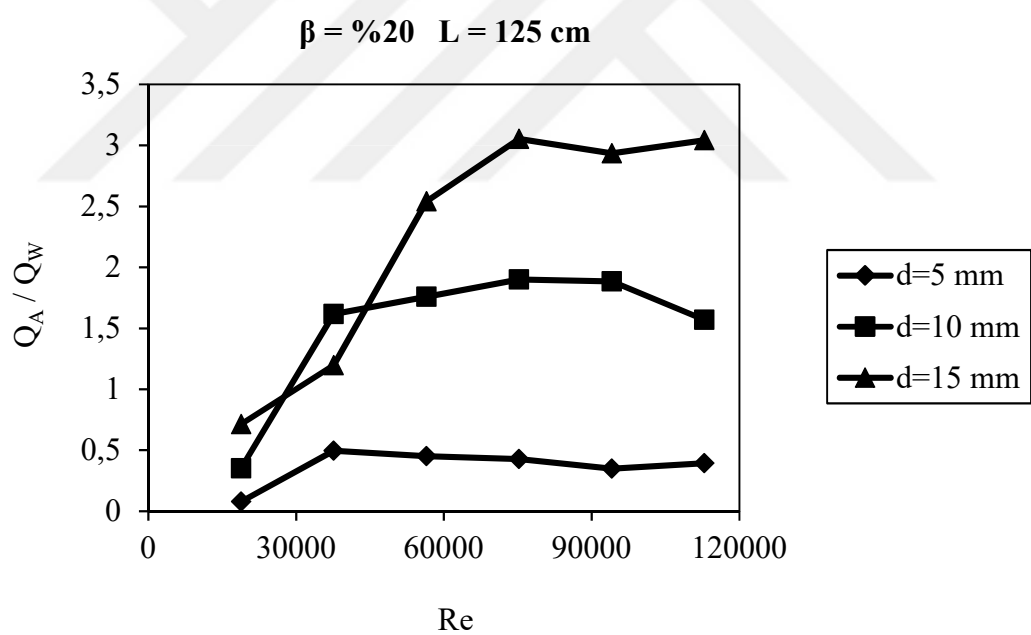
Su hızındaki artışa paralel olarak şekil 6.3 a'da ve 6.3 e'de $d = 15$ mm'de, şekil 6.3 g'de ve 6.3 ı'da $d = 10$ ve $d = 15$ mm'de, şekil 6.3 h'de ise $d = 5$ ve $d = 15$ mm'de hava giriş oranları artış göstermiştir. Bunların haricindeki diğer delik çaplarında; hava giriş oranları belirli bir değere kadar artış göstermiş, bu değerden sonra azalma eğilimine girmiştir.



(a)

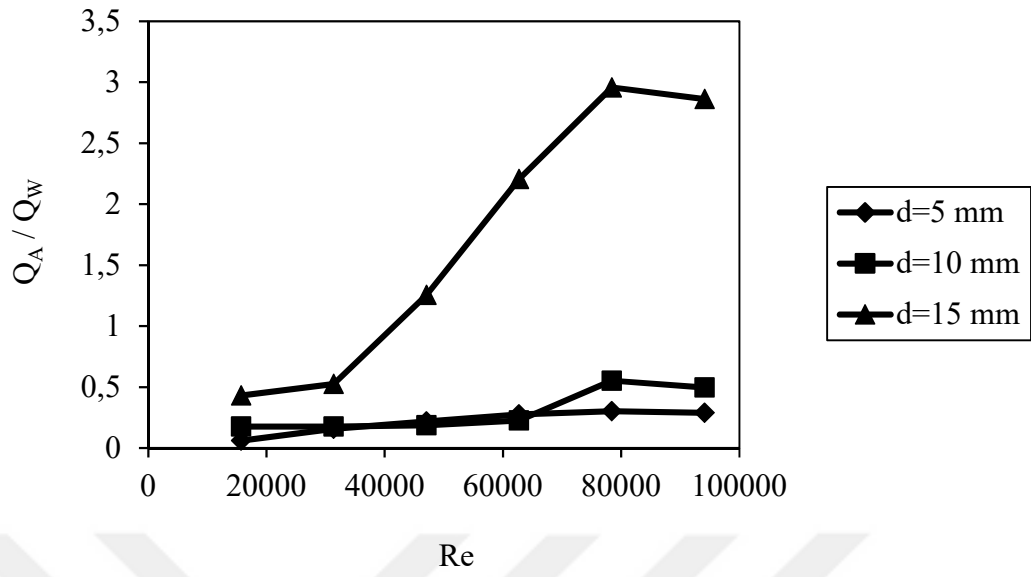


(b)



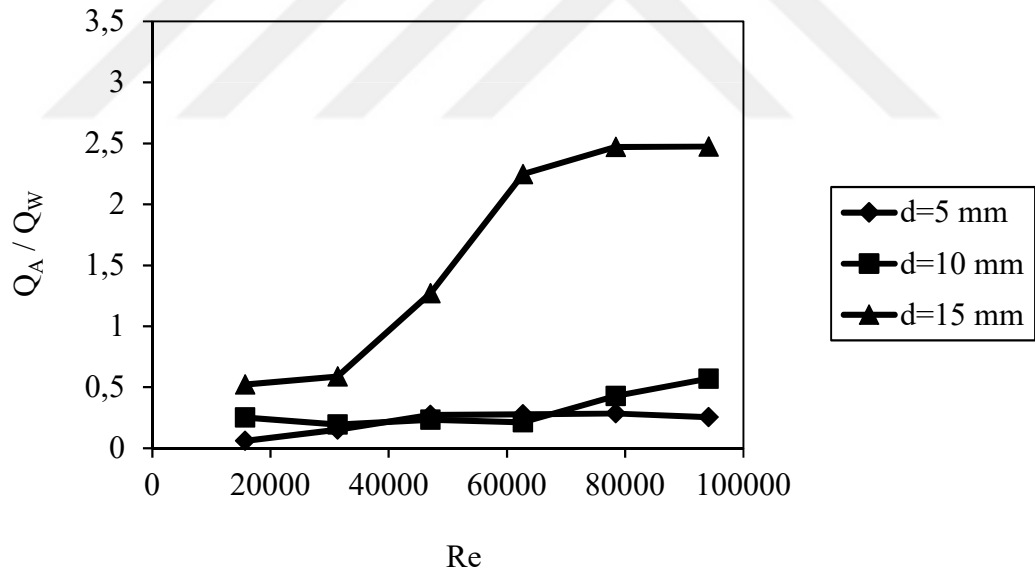
(c)

$\beta = \%35$ $L = 75$ cm



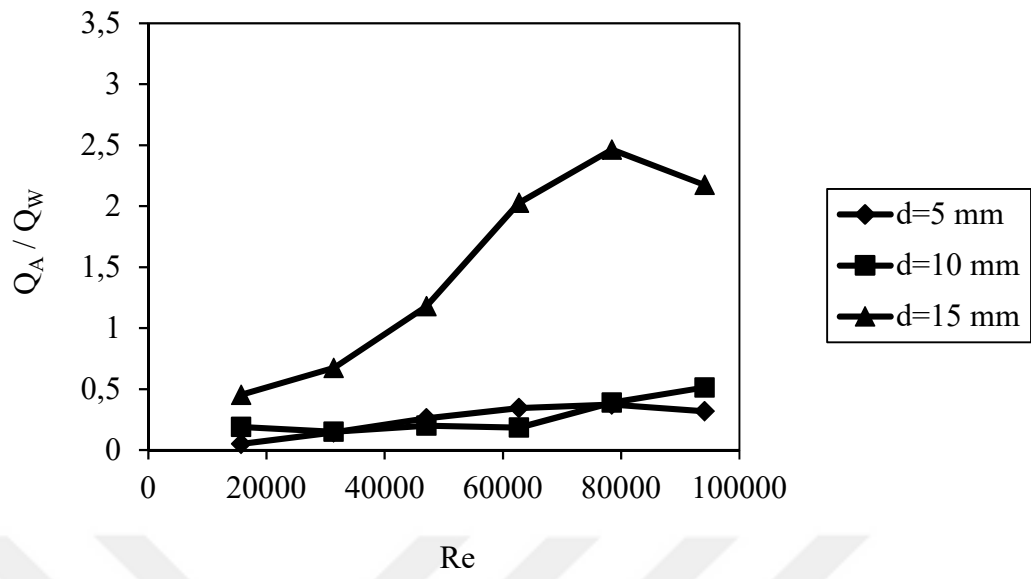
(d)

$\beta = \%35$ $L = 100$ cm



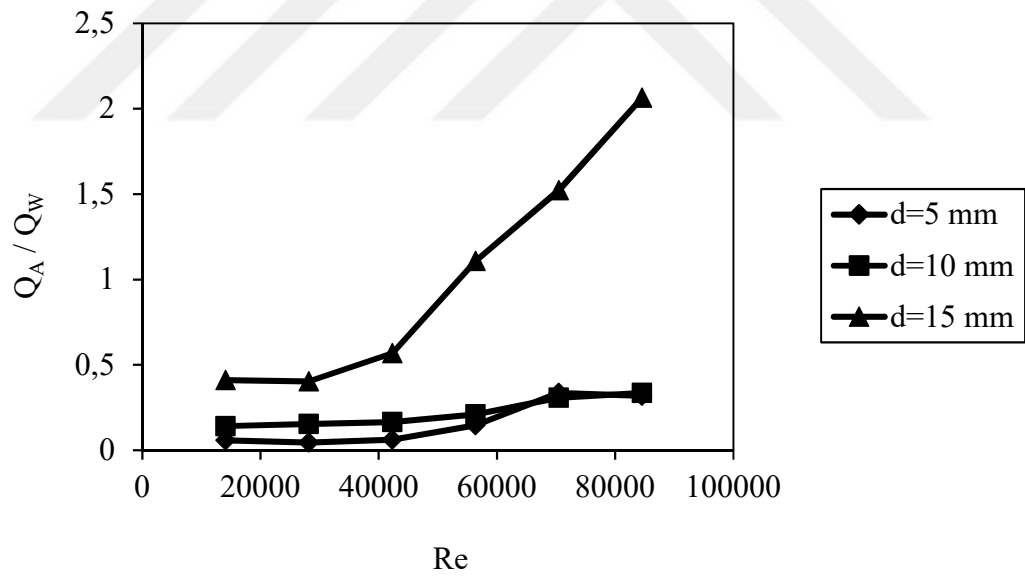
(e)

$\beta = \%35$ $L = 125$ cm

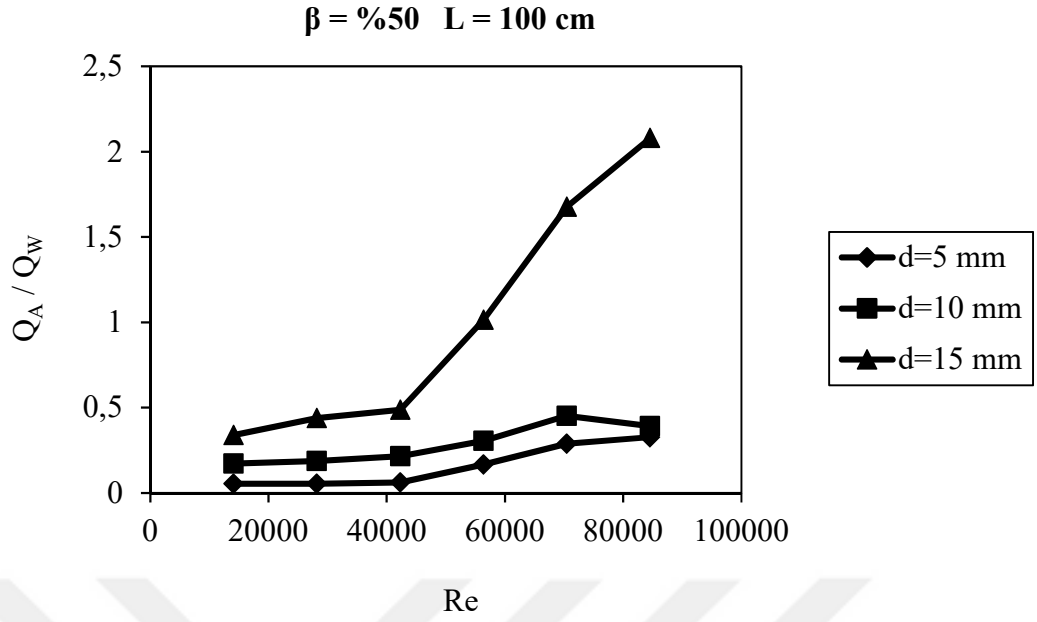


(f)

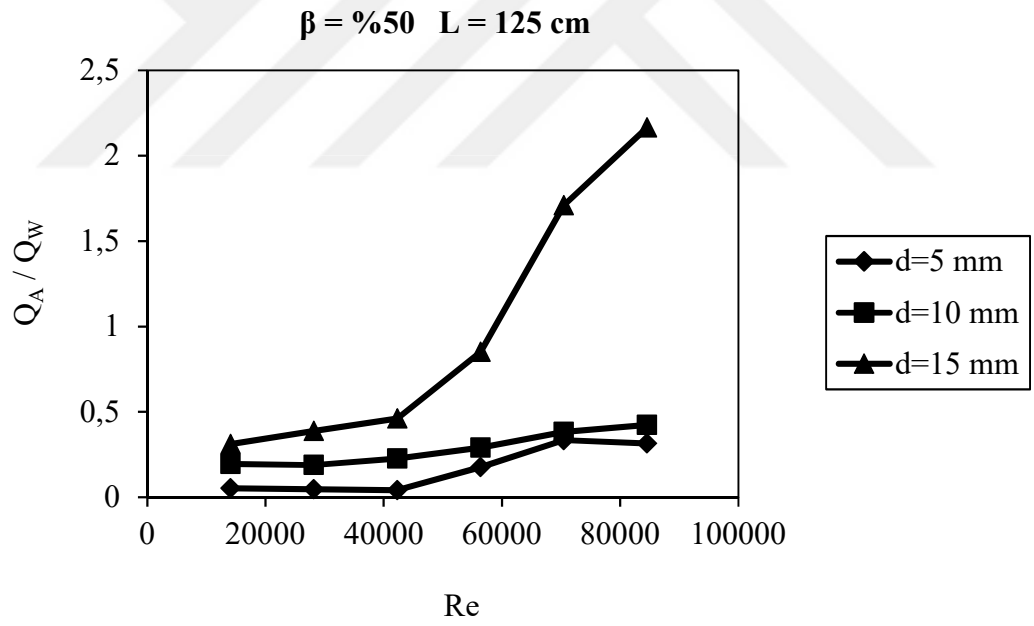
$\beta = \%50$ $L = 75$ cm



(g)



(h)



(i)

Şekil 6.3. (a-1) Farklı delik çaplarında Re sayısı ile Q_A / Q_W değişimi

7. SONUÇLAR

Kapaklı konduitler, havalandırma işleminde kullanılan hidrolik yapılardan biridir. Kapağın memba ve mansabı arasında oluşan basınç farkı nedeniyle açılan hava deliğinde bir vakumlama etkisi meydana gelir. Bu basınç farkı aracılığıyla atmosferdeki hava baloncuklar halinde suya karışmış olur. Bu çalışmada, dairesel kesitli yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde hava delik çapının hava girişi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılmış olan çok sayıda deneyle dairesel kesitli yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin hava giriş oranları belirlenmiştir. Bu incelemelerde; konduitteki hava girişini etkileyen parametreler olarak hava delik çapı, daralma oranı, konduit boy uzunluğu, su debisi ve kapak altındaki Reynolds sayısı dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Daralma oranı ve delik çapı sabit tutulduğunda, tüm konduit boylarında birbirlerine çok yakın hava giriş oranı değerleri elde edilmiştir. Boy artışıyla birlikte Q_A / Q_W oranları arasında önemli farklar oluşmamıştır. Konduitteki boy artışının Q_A / Q_W üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.
- Delik çapı ve konduit uzunluğu sabit tutulduğunda, β daralma oranının artması hava giriş oranının azalmasına sebep olmuştur. Bütün delik çapları ve konduit uzunlukları içerisinde en büyük Q_A / Q_W oranı; mevcut alanın %20'sine karşılık gelen daralma değerinde, yani $\beta = \%20$ 'de meydana gelmiştir. Kapağın memba kısmındaki su hızının düşmesine paralel olarak kapağın memba ve mansabı arasındaki basınç farkının düşmesi ile atmosferden vakumlanan hava miktarı azalmıştır.
- β değerleri ve konduit uzunluğu sabit tutulduğunda, delik çapının artmasıyla hava giriş oranı artış göstermiştir. Delik çapının artması neticesinde deliğin alanı arttığından, giren hava debisi (Q_A) de artmıştır. Giren havanın artması ise, hava giriş oranının artmasına neden olmuştur. Bu durumda en büyük Q_A / Q_W oranı, $d = 15$ mm delik çapında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] İlçin, E., Basamaklı Dolusavaklarda Oksijen Transferi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 54s. (2005).
- [2] Baylar, A., Savak Havalandırıcılarda Tip Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 85s. (2002).
- [3] Özkan, F., Basınçlı Su Borularında Hava İletimi ve Oksijen Transferinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 64s. (2005).
- [4] Coşkun, T., Su Arıtma Tesislerinde Havalandırma. URL (erişim tarihi: 18.07.2015) http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/tcoskun_6b7fef721c7dcd8249de69e91ed81a39.pdf (2012).
- [5] Eroğlu, V., Su Tasfiyesi. T.C. İTÜ Yayınları Sayı:1439, İstanbul, 314s. (1991).
- [6] Baylar, A., Ünsal, M., Hanbay, D. Basamaklı Kaskatlarda Havalandırma Verimi Tahmininde Kullanılabilecek Alternatif Modeller. Sigma, 29 (4), s.372-382 (2011).
- [7] Baylar, A., Bağatur, T., Tuna, A. Hidrolik Yapılarla Havalandırma. 9-19. URL (erişim tarihi: 20.07.2015) http://www2.dsi.gov.tr/kutuphane/dsi_teknik_bulten/96/index.html (2000).
- [8] Duran, A., Tosun, O. Gaz Aktarımı. URL (erişim tarihi: 23.07.2015) <https://prezi.com/t5-fnksjhbfbw/gaz-aktarimi/> (2014).
- [9] Bağatur, T., Baylar, A. Su Jetleri ile Havalandırma ve Pratik Uygulamaları. 17-29. URL (erişim tarihi: 25.07.2015) http://www2.dsi.gov.tr/kutuphane/dsi_teknik_bulten/92/index.html (1998).
- [10] Aras, E., Hidrolik Yapılar Üzerinde Gerçekleşen Havalanmanın Nehirlerdeki Çözünmüş Oksijen Dengesi ve Atık Su Arıtma Sistemlerinin Optimizasyonu Üzerine Etkileri. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 208s. (2009).
- [11] Akyüz, B., Dağlaroğlu, Ö., Dede, K., Necipoğlu, U. Havalandırma Sistemleri. URL (erişim tarihi: 02.08.2015) <https://prezi.com/4t2bge7mokpz/havalandirma-sistemleri/> (2014).
- [12] Baylar, A., Ünsal, M., Özkan, F. Serbest Yüzeyli Akım Sistemleri ile Sularda Hızlandırılmış Oksijen Transferi. III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 10-14 Eylül 2007, Gümüşhacıköy/İzmir, Türkiye. s.37-48 (2007).
- [13] Ünsal, F. Z., Savakların Akım Karakteristiklerinin ve Mansap Havuzunda Oluşturdukları Penetrasyon Derinliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 56s. (2005).
- [14] Kaya, T., Farklı Tip Venturi Savaklarda Hava Giriş Oranlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 65s. (2010).

- [15] Baylar, A., Özkan, F., Ünsal, M. Suların Havalandırma Veriminin Arttırılmasında Kullanılabilecek Basınçlı Akım Sistemleri. III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 10-14 Eylül 2007, Gümüşdör/İzmir, Türkiye. s.25-36 (2007).
- [16] Özkan, F., Baylar, A., Ünsal, M., Tuğal, M. Konduit ve Venturilerin Havalandırma Performanslarının Karşılaştırılması. DSİ Teknik Bülteni, Ankara. Sayı: 106, s.31-37 (2009).
- [17] Chaudhry, M. H., Yevjevich, V. Closed-Conduit Flow. Water Resources Publications, Michigan, USA, 416s. (1981).
- [18] Nakasone, H., Study of Aeration at Weirs and Cascades. Journal of Environmental Engineering, ASCE, 113 (1), s.64-81 (1987).
- [19] Wormleaton, P. R., Soufiani, E. Aeration Performance of Triangular Planform Labyrinth Weirs. Journal of Environmental Engineering, ASCE, 124 (8), s.709-719 (1998).
- [20] Baylar, A. An Investigation on the Use of Venturi Weirs as an Aerator. Water Quality Research Journal of Canada, 38 (4), s.753-767 (2003).
- [21] Ünsal, M., Baylar, A., Özkan, F. Dipsavaklarda Serbest Yüzeyli Akım Durumunda Hava Giriş Oranının Deneyisel Olarak İncelenmesi. DSİ Teknik Bülteni, Ankara. Sayı: 114, s.1-6 (2012).
- [22] Tuna, M. C. Eşikli ve Basamaklı Düşülerde Eşik Geometrisinin Akım Tipi ve Oksijen Transferine Etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Kayseri. 27 (3), s.260-264 (2011).
- [23] Emiroğlu, M. E., Baylar, A. Self-Aeration in Smooth and Stepped Chutes. International Journal of Science and Technology, 1 (2), s.105-113 (2006).
- [24] Baylar, A., Bağatur, T., Emiroğlu, M. E. Prediction of Oxygen Content of Nappe, Transition and Skimming Flow Regimes in Stepped-Channel Chutes. Journal of Environmental Engineering and Science, 6 (2), s.201-208 (2007).
- [25] McKeogh, E. J., Irvine, D. A. Air Entrainment Rate and Diffusion Pattern of Plunging Liquid Jet. Chemical Engineering Science, 36 (7), s.1161-1172 (1981).
- [26] Cummings, P. D., Chanson, H. Air Entrainment in the Developing Flow Region of Plunging Jets-Part 1: Theoretical Development. Journal of Fluids Engineering, 119 (3), s.597-602 (1997).
- [27] Cummings, P. D., Chanson, H. Air Entrainment in the Developing Flow Region of Plunging Jets-Part 2: Experimental. Journal of Fluids Engineering, 119 (3), s.603-608 (1997).
- [28] Emiroğlu, M. E., Baylar, A. Role of Nozzles with Air Holes in Air Entrainment by a Water Jet. Water Quality Research Journal of Canada, 38 (4), s.785-795 (2003).

- [29] Baylar, A., Emiroğlu, M. E., Öztürk, M. The Development of Aeration Performance with Different Typed Nozzles in a Vertical Plunging Water Jet System. *International Journal of Science and Technology*, 1 (1), s.51-63 (2006).
- [30] Baylar, A., Emiroğlu, M. E. Air Entrainment and Oxygen Transfer in a Venturi. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water and Maritime Engineering*, 156 (3), s.249-255 (2003).
- [31] Özkan, F., Öztürk, M., Baylar, A. Experimental Investigations of Air and Liquid Injection by Venturi Tubes. *Water and Environment Journal*, 20 (3), s.114-122 (2006).
- [32] Baylar, A., Özkan, F., Ünsal, M. Effect of Air Inlet Hole Diameter of Venturi Tube on Air Injection Rate. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14 (4), s.489-492 (2010).
- [33] Baylar, A., Özkan, F. Applications of Venturi Principle to Water Aeration Systems. *Environmental Fluid Mechanics*, 6 (4), s.341-357 (2006).
- [34] Ünsal, M., Tuğal, M., Özkan, F. Kapaklı Konduitlerde Boy Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi. *DAUM*, 3 (3), s.132-137 (2005).
- [35] Ünsal, M., Suların Havalandırılmasında Yüksek Basıncılı ve Serbest Yüzeyli Konduitlerin Kullanılması. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 71s. (2007).
- [36] Oveson, D. P., Air Demand in Free Flowing Gated Conduits. Master of Science Thesis. Utah State University School of Graduate Studies. Logan, Utah. 82s. (2008).
- [37] Ünsal, M., Baylar, A., Tuğal, M., Özkan, F. Increased Aeration Efficiency of High-Head Conduit Flow Systems. *Journal of Hydraulic Research*, 46 (5), s.711-714 (2008).
- [38] Demirel, İ. H., Kapaklı Konduitlerde Serbest Yüzeyli Akım Durumunda Maksimum Hava Girişi için En Uygun Tasarım. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 49s. (2013).
- [39] Özkan, F., Tuna, M. C., Baylar, A., Öztürk, M. Optimum Air-Demand Ratio for Maximum Aeration Efficiency in High-Head Gated Circular Conduits. *Water Science and Technology*, 70 (5), s.871-877 (2014).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Pelin YÜCEL
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 31.08.1988 Kahramanmaraş / Merkez
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (535) 983 30 66
e-posta : pelinyucel0027@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ / İnşaat Mühendisliği	2016
Lisans	MKÜ / İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	K.Maraş Atatürk Lisesi	2005

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yücel, P., İşliyen, K., Tekin, E., Akgün, İ., Ünsal, M. Kahramanmaraş'taki Barajlar ve Kullanım Amaçları. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2 (1), s.109-118 (2013).