



**KONDUİTLERDE BATIK AKIM KOŞULLARI İÇİN
HAVALANMA PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Faruk DEMİRBAŞ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Hidrolik
Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Cihat TUNA

ARALIK-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONDUİTLERDE BATIK AKIM KOŞULLARI İÇİN

HAVALANMA PERFORMANSI

Yüksek Lisans Tezi

Faruk DEMİRBAŞ

122115108

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Danışman: Yrd.Doç.Dr.M.Cihat TUNA

Prof.Dr.Mualla ÖZTÜRK

Prof.Dr.Mehmet ÜNSAL

ARALIK-2017

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi süresince yaptığı öneriler ve yardımlarından dolayı başta danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Cihat TUNA olmak üzere kıymetli meslektaşlarım Alp Buğra AYDIN ve Nurbanu DEMİRBAŞ'a teşekkürü borç biliyorum.

Faruk DEMİRBAŞ
ELAZIĞ - 2017



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	1
2. HAVALANDIRMA AMACIYLA KULLANILAN HİDROLİK YAPILAR	2
2.1. Serbest Yüzeyli Hidrolik Yapılar.....	2
2.1.1. Savaklar.....	2
2.1.2. Basamaklı Kaskatlar	5
2.1.3. Serbest Yüzeyli Konduitler.....	6
2.2. Basınçlı Hidrolik Yapılar	7
2.2.1. Su Jetleri.....	7
2.2.2. Venturiler	8
2.2.3. Dipsavaklar	10
2.2.4. Basınçlı Konduitler	11
2.2.4.1. Basınçlı Konduitlerin Batmış Akım ve Batmamış Akım Koşulları.....	12
3. LİTERATÜR ÖZETİ	15
4. MATERYAL VE METOT	20
4.1. Materyal	20
4.1.1. Mansap Tankı.....	20
4.2. Deney Düzeneği.....	22
4.3. Deneyin Yapılışı	26
5. BULGULAR.....	28
5.1. Konduit Kapak Açıklık Oranlarının Havalandırma Verimine Etkisi	28
5.2. Konduit Boy Değişiminin Havalandırma Verimine Etkisi	33
5.3. Mansap Su Derinliğinin Havalandırma Verimine Etkisi	38

6.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	44
	KAYNAKLAR	45
	ÖZGEÇMİŞ.....	49



ÖZET

Bütün canlıların yaşamsal faaliyetleri için vazgeçilmez olan su, insanoğlu tarafından içme suyu, sulama, enerji ve sınai amaçlarla kullanılmaktadır. Bu gibi amaçlarla kullanılan su yine insanoğlu tarafından kirletilmektedir. Kirletilen bu suların tekrardan kullanılabilir hale getirilmesi bir zorunluluktur. Suyun kalitesini gösteren birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi içerdiği oksijen miktarıdır. Suların oksijen miktarının artırılması havalandırma ile mümkündür. Suların havalandırılması çeşitli su yapıları ve hidrolik prensipleri kullanılarak yapılabilir. Kapaklı konduitler tarafından yapılan havalandırma işlemi bunun bir örneğidir. Basınçlı konduitlerle sağlanan yüksek hızlı akış hava-su karışımı akışını içerir. Hava girişi, konduit kapağı ile sağlanan daralma sonucu artan hızın sebep olduğu düşük basıncın atmosfer basıncı ile dengelenmesinden kaynaklanmaktadır. Çok sayıda kabarcık şeklinde akıma sürüklenen hava, mansap kısmında havalanma sağlar ve dolayısıyla havalandırma verimliliğini artırır.

Bu çalışmada, suların havalandırılmasında basınçlı konduit kullanılarak bir mansap havuzuna hava girişinin sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca mansap havuzuna giren su jetinin üzerinde üç farklı su yükü teşkil edilerek batık akım koşulları sağlanmıştır. Bu amaçla teşkil edilen deney sisteminde konduit boyu, sisteme verilen su debisi, konduit kapaklarının daralma oranları ve mansap havuzu derinliğinin havalandırma performansına etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, dairesel kesitli basınçlı konduitlerde araştırılan bahse konu parametrelerin havalandırma ve hava kabarcıklarının sisteme girişi için oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel hidrolik, Havalandırma, Batmış akım, Konduit

SUMMARY

Aeration Performance for Conditions of Submerged Flow at the Conduits

Water, which is indispensable for the vital activities of all living things, is used by humans for drinking water, irrigation, energy and industrial purposes. The water used for such purposes is polluted by human beings. It is imperative that these polluted water be made available from scratch. There are many parameters showing water quality. The most important of these is the amount of oxygen it contains. Increasing the amount of oxygen in the water is possible by aeration. Aeration of water can be done by using various water constructions and hydraulic principles. Aeration by head conduits is an example of this. The high velocity flow provided by the pressure conduits involves the air-water mixture flow. The air inflow is due to the balance of the low pressure with the atmospheric pressure, which is caused by the increasing speed of the constriction resulting from the conduit cover. A large number of bubble-like airflow entrained air allows aeration downstream and thus increases aeration efficiency.

In this study, it was aimed to provide air inflow to a downstream pool using head conduit for aeration of water. In addition, three different water elevations were formed on the water jet entering the downstream pool to provide submerged flow conditions. For this purpose, the effect of conduit length, water flow to the system, contraction rates of conduit gate and depth of the downstream pool were investigated in this experimental system. The results show that the aeration and air bubbles of the subject parameters investigated in circular cross section pressure conduits are very effective for entering the system.

Keywords: Environmental hydraulics, Aeration, Submerged flow, Conduit

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. İnce kenarlı savak.....	3
Şekil 2.2. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak.....	3
Şekil 2.3. Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak.	3
Şekil 2.4. (a),(b),(c),(d) İnce kenarlı savak şekilleri.....	4
Şekil 2.5. (a),(b),(c),(d) Kalın kenarlı savak şekilleri.....	4
Şekil 2.6. (a),(b),(c),(d),(e),(f) Hidrolik yapılarda hava giriş yerleri.....	5
Şekil 2.7. (a),(b),(c),(d) Savaklarda hava giriş mekanizmaları.....	5
Şekil 2.8. Basamaklı kaskat örneği, Tahtalı İçme Suyu Arıtma Tesis-i-İzmir	6
Şekil 2.9. Nap akımı.....	6
Şekil 2.10. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım.....	7
Şekil 2.11. Turizm alanında kullanılan su jeti örneği.....	8
Şekil 2.12. Su jeti türleri	8
Şekil 2.13. Venturi düzeneği	9
Şekil 2.14. Venturi tüpünde ideal hava emiş kesiti	9
Şekil 2.15. Kuraklık nedeniyle açılan dipsavak örneği, Adatepe Barajı- Kahramanmaraş / Afşin	10
Şekil 2.16. Dipsavaklarda serbest yüzeyli akım.....	11
Şekil 2.17. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım.	11
Şekil 2.18. Kapaklı konduit içerisindeki iki fazlı akım rejimleri; 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.....	12
Şekil 2.19.a. Batmamış akım	13
Şekil 2.19.b. Kısmi batık akım.....	13
Şekil 2.19.c. Batık akım durumu.....	13
Şekil 2.19.d. Derin batmış akım durumu	14
Şekil 4.1. Mansap tankı	21
Şekil 4.2. (a),(b),(c). Mansap tarafında farklı batıklık yükseklikleri ve çalışılan farklı konduit uzunlukları.....	21
Şekil 4.3.a. Deney düzeneği kesit görünüşü	22
Şekil 4.3.b. Deney düzeneği plan görünüşü.....	23

Şekil 4.4.a. Devir-daim pompası.....	23
Şekil 4.4.b. Krohne debimetre cihazı	24
Şekil 4.5. (a),(b),(c) Farklı konduit kapak açıklık yüksekliklerine bağlı kesitler	24
Şekil 4.6.a. $D_3=\%60$ Kapak açıklıklı konduit	24
Şekil 4.6.b. $D_2=\%30$ Kapak açıklıklı konduit	25
Şekil 4.6.c. $D_1=\%15$ Kapak açıklıklı konduit	25
Şekil 4.7. Testo Aneometre hız ölçme cihazı	25
Şekil 4.8. Deney düzeneğinde hava giriş hızı ölçümü	27
Şekil 5.1.(a). $l_1=2$ m. ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	29
Şekil 5.1. (b). $l_1=2$ m ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	30
Şekil 5.1.(c). $l_1=2$ m ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	30
Şekil 5.1.(d). $l_2=4$ m. ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	31
Şekil 5.1.(e). $l_2=4$ m. ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	31
Şekil 5.1.(f). $l_2=4$ m. ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi.....	32
Şekil 5.1.(g). $l_3=6$ m. ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	32
Şekil 5.1.(h). $l_3=6$ m. ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	33
Şekil 5.1.(ı). $l_3=6$ m. ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi	33
Şekil 5.2.(a). $D_1=\%15$ kapak açıklığı ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde boy etkisi	34
Şekil 5.2.(b). $D_1=\%15$ kapak açıklığı ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde boy etkisi.....	35
Şekil 5.2.(c). $D_1=\%15$ kapak açıklığı ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde boy etkisi	35
Şekil 5.2.(d). $D_2=\%30$ kapak açıklığı ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde boy etkisi.....	36
Şekil 5.2.(e). $D_2=\%30$ kapak açıklığı ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde boy etkisi	36
Şekil 5.2.(f). $D_2=\%30$ kapak açıklığı ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde boy etkisi.....	37
Şekil 5.2.(g). $D_3=\%60$ kapak açıklığı ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde boy etkisi	37
Şekil 5.2.(h). $D_3=\%60$ kapak açıklığı ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde boy etkisi.....	38
Şekil 5.2.(ı). $D_3=\%60$ kapak açıklığı ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde boy etkisi	38
Şekil 5.3.(a). $D_1=\%15$ kapak açıklığı ve $l_1=2$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	39
Şekil 5.3.(b). $D_1=\%15$ kapak açıklığı ve $l_2=4$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	40
Şekil 5.3.(c). $D_1=\%15$ kapak açıklığı ve $l_3=6$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi	40
Şekil 5.3.(d). $D_2=\%30$ kapak açıklığı ve $l_1=2$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	41
Şekil 5.3.(e). $D_2=\%30$ kapak açıklığı ve $l_2=4$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi	41
Şekil 5.3.(f). $D_2=\%30$ kapak açıklığı ve $l_3=6$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	42
Şekil 5.3.(g). $D_3=\%60$ kapak açıklığı ve $l_1=2$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	42

Şekil 5.3.(h). $D_3=60$ kapak açıklığı ve $l_2=4$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	43
Şekil 5.3.(ı). $D_3=60$ kapak açıklığı ve $l_3=6$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi.....	43



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Deneye Etki Eden Parametreler.....	26
--	----



SEMBOLLER LİSTESİ

- β : Hava akışının su akışına hacimsel oranı,
 Fr : Froude sayısı,
 Q : Debi (m^3/s),
 Q_a : Hava debisi (m^3/s),
 Q_w : Su debisi (m^3/s),
 Q_{max} : Maksimum debi (m^3/s),
 Q_{min} : Minimum debi (m^3/s),
 V : Hız (m/s),
 y_e : Efektif su derinliği (m),
 D_t : Venturi boğaz çapı (m),
 D : Venturi çapı (m),
 d : Konduit hava delik çapı (m),
 γ : Suyun özgül ağırlığı (t/m^3),
 g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2),
 S : Eğim,
 $h_{1,2,3}$: Konduit mansap batıklık yüksekliği (m),
 $D_{1,2,3}$: Konduit kapak açıklık oranı ,
 $k_{1,2,3}$: Konduit kapak açıklık yüksekliği (m),
 $l_{1,2,3}$: Konduit boyu (m),
 V_c : Daralma bölgesindeki hız (m/s),
 h_c : Daralma bölgesinde akım derinliği (m),

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Yüksek hızlı ve bir ağızlıktan çıkan akışkan akımı olan su jetlerine, özellikle hidrolik ve çevre mühendisliği uygulamalarında çok sık rastlanır (Aytaç, 2017). Örneğin, açık denizlere ve göllere verilen atık sular (deşarjlar), termal ve nükleer santrallerden çıkan ve göllere verilen (sıcak) su jetleri, dinlenme yerlerinde inşa edilen havuzlardaki jetler, barajlarda su darbelerine maruz cebro borular üzerinde bulunan denge bacalarında oluşan jetler ve su temininde kullanılan dengeleme havuzlarındaki jetler vs. gibi. Jetler düşey yukarı, yatay veya eğimli olabilirler. Ya da bu jetler batık, kısmen batık veya tamamen serbest olabilirler.

Su kalitesini belirleyen önemli etkenlerden birisi çözünmüş oksijen konsantrasyonudur (Karpuzcu, 1991). Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yükselmesi, su kalitesi ile orantılıdır. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı suyun kalitesini yükseltmektedir. Su ve atmosfer içinde çözünmüş halde bulunabilen oksijen, doğal yaşamın sürdürülmesinde en önemli elementlerdendir. Dolayısı ile su kalite parametrelerinin değerlendirilmesinde sudaki çözünmüş oksijen miktarı belirleyici olmaktadır. Havalandırma miktarı bilgisi, havalandırma ve hava tahliye tasarımı için önemlidir. Hava sürüklenmesini etkileyebilecek birçok faktörden dolayı, fiziki model çalışmaları genellikle bir hidrolik sıçrama (veya atlamanın hava talebi) tarafından tutulan havanın miktarını tahmin etmek için gereklidir. Farklı uzunluklardaki konduitler arasında, boyut ölçeği etkilerinin önemini kararlaştırmak için çeşitli boyutlarda modeller gerekebilir.

Günümüzde inşaat mühendisliği prensipleri kullanılarak tasarlanan hidrolik yapılar ile havalandırma işlemi yapılmaktadır. Bu sayede atmosferdeki oksijenin suya kazandırılması mümkün olmaktadır (Bağatur vd ., 2002).

Yapılan bu çalışmada, kapaklı konduitlerin batmış akım koşulları altında havalandırma performansı için önemli olan işletim parametreleri tanımlanmış, konduitlerde; farklı debi değerleri için, farklı konduit uzunlukları, farklı konduit kapak açıklık oranları ve farklı batıklık koşulları için geri devirli sistemlerde havalandırma performansları deneysel olarak elde edilmiştir.

2. HAVALANDIRMA AMACIYLA KULLANILAN HİDROLİK YAPILAR

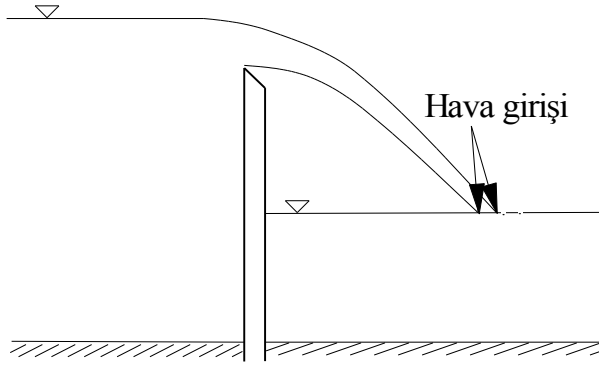
Akarsulardaki çözünmüş oksijen miktarı, hem su kalitesini gösteren bir özellik olarak, hem de suda yaşayan canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri açısından önemli bir kriterdir. Hidrolik yapılar, akarsu ile kısa bir süreliğine temasta bulunmalarına rağmen, bir akarsu sistemindeki çözünmüş oksijen miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Bir akarsuda doğal olarak birkaç kilometrede meydana gelebilecek oksijen transferi, tek bir hidrolik yapı ile hızlı bir şekilde meydana getirilebilir. Bu hızlandırılmış oksijen transferi, çok miktarda kabarcık meydana getirilerek akım içerisinde havanın aktarılması ile sağlanır. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut yüzey alanını büyük miktarda arttırdığından dolayı transfer edilen oksijen miktarı da artar. Havalandırma amacıyla kullanılan hidrolik yapılar aşağıda sıralanmıştır.

2.1. Serbest Yüzeyli Hidrolik Yapılar

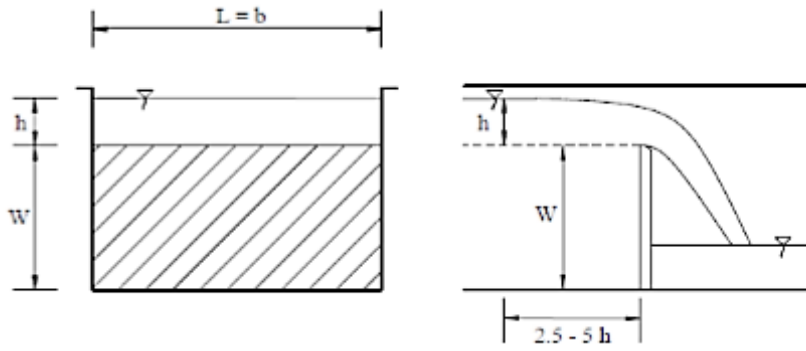
Akımı sınırlayan yüzeylerden birine sabit bir basınç etki ederse, bu akım serbest yüzeyli, olarak adlandırılır. Bu sabit basınç, genellikle atmosfer basıncıdır. Serbest yüzeyli akımlara örnek olarak; kanal akımları, nehir akımları ve kapalı yatakları tamamen doldurmayan, yani sıvı üst yüzeyine sadece atmosfer basıncının etki ettiği akımlar verilebilir (Yücel, 2016).

2.1.1. Savaklar

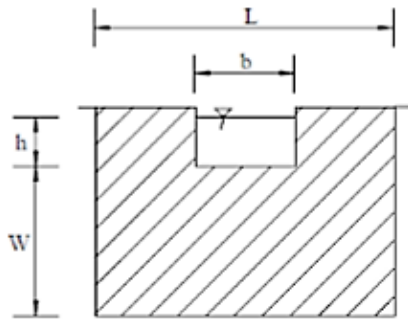
Mansap tarafında serbest yüzeyli akım sağlayan su tesislerine savak adı verilir. Diğer bir deyişle; bir çeperde düşey durumlu açılmış ve üst kısmı atmosfere açık olan orifisler savak diye adlandırılmaktadır. Farklı türde savaklar mevcuttur. Savaklar kenar şekli bakımından ince kenarlı (Şekil 2.1),(Baylar, 2002), kalın kenarlı (Şekil 2.5), (a),(b),(c),(d), (Baylar, 2002), dik memba, mansap tarafına eğik, yanlarından büzülmemiş (Şekil 2.2),(Baylar, 2002), ya da büzülmüş savaklar (Şekil 2.3),(Baylar, 2002); savak geometrisi bakımından ise dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel savaklar diye sınıflandırılmışlardır (Şekil 2.4), (a),(b),(c),(d),(Baylar, 2002).



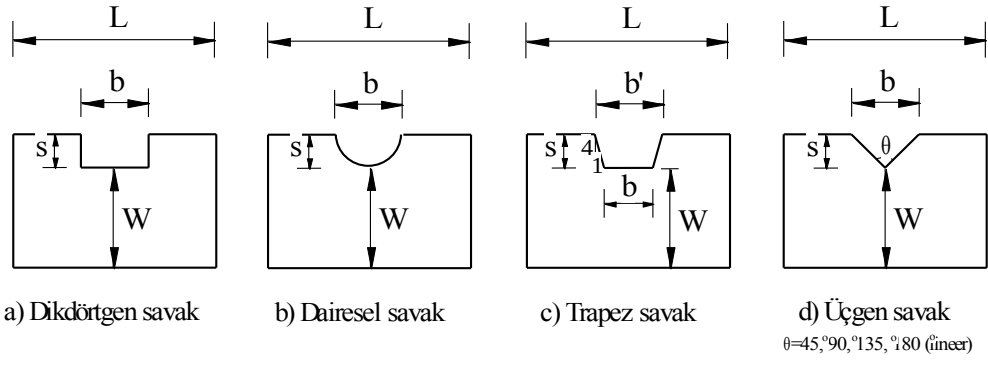
Şekil 2.1. İnce kenarlı savak (Baylar, 2002).



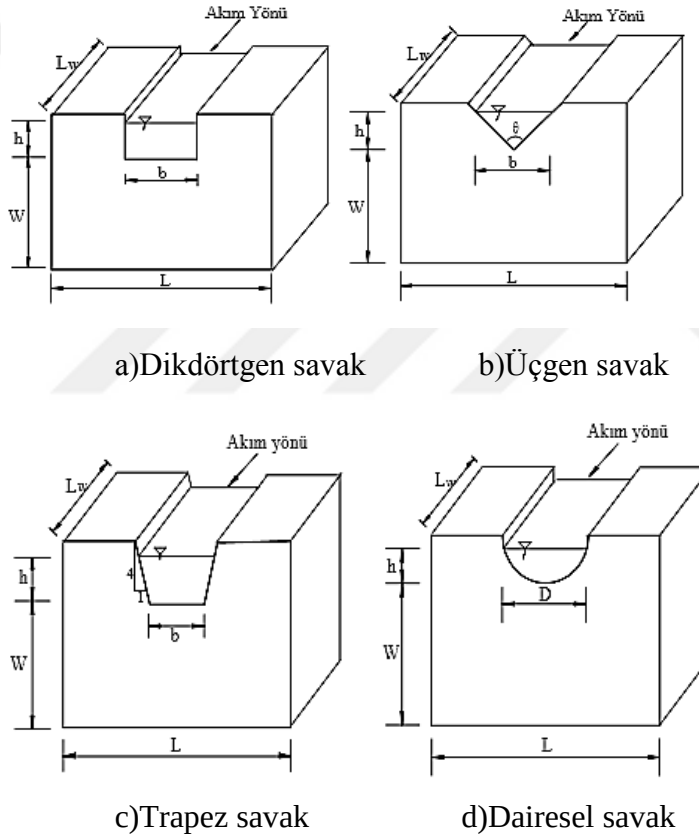
Şekil 2.2. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak (Baylar, 2002).



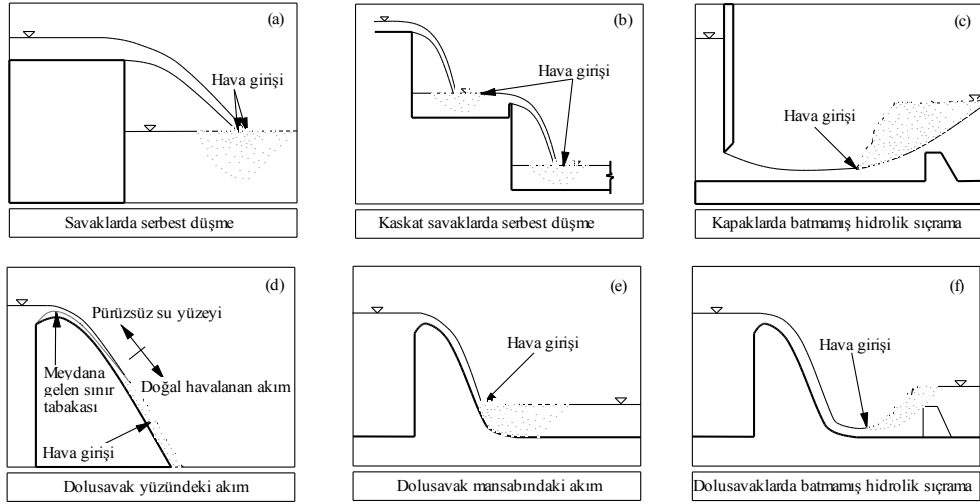
Şekil 2.3. Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak (Baylar, 2002).



Şekil 2.4. (a),(b),(c),(d) İnce kenarlı savak şekilleri (Baylar, 2002).

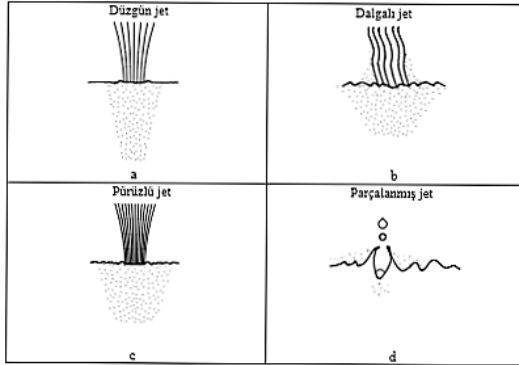


Şekil 2.5. (a),(b),(c),(d) Kalın kenarlı savak şekilleri (Baylar, 2002).



Şekil 2.6. (a),(b),(c),(d),(e),(f) Hidrolik yapılarda hava giriş yerleri (Baylar, 2002).

Savaklara hava teması, suyun mansap tarafına dökülmesi esnasında atmosferdeki mevcut havanın su ile birleşerek mansap havuzuna sürüklenmesi ile oluşur (Şekil 2.6.a), (Baylar, 2002). Hava-su fazında olan kabarcıklar ile mansap tarafına geçen hava, yüzey alanını artırarak oksijen transferini gerçekleştirmiş olur. Savaklardaki oksijen verimi, hava giriş şekline bağlıdır Şekil 2.7,(a-d), (Avery ve Novak, 1978).



Şekil 2.7. (a),(b),(c),(d) Savaklarda hava giriş mekanizmaları (Avery ve Novak, 1978).

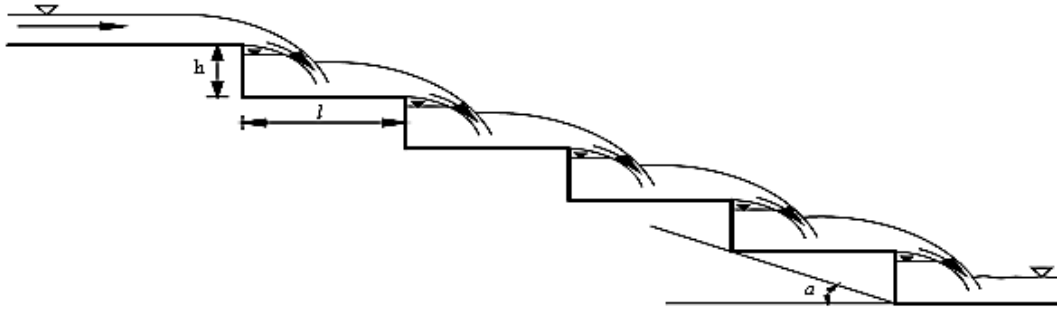
2.1.2. Basamaklı Kaskatlar

Hidrolik yapılar, küçük hava kabarcığı akışının hacmine taşınan türbülans koşulları yaratarak çözünmüş oksijen seviyelerini artırabilir. Bir kaskat, şiddetli akış ile ilişkili dik bir yatak eğimi ile karakterize edilir. Bu kaskat akışı düz ya da basamaklı olabilir.

Basamaklı kaskatların (Şekil 2.8), hava kabarcıklarının sürüklenmesiyle ilişkili güçlü türbülanslı akım nedeniyle oksijen transferinde çok etkili oldukları ve bu avantajın nap akımı (Şekil 2.9) rejiminde daha belirgin olduğu bilinmektedir. Nap akım rejiminde, her basamaktaki oksijen transferi serbest düşen napta, dalma noktasında oluşur. Basamaklı kaskat akışları, güçlü türbülanslı akım, uzun kalış süresi ve önemli miktarda hava kabarcığı karışımı ile karakterizedir. Hava kabarcığı karışımı, hava-su içermeyen yüzeyin yanında hareket eden türbülans dalgalanmalarından kaynaklanmaktadır. Bu sayede hava sürekli olarak vurulup bırakılır. Hava girişi, türbülans kinetik enerji hem yüzey gerilimi hem de yerçekimi etkilerini aşacak kadar büyük olduğunda oluşur.



Şekil 2.8. Basamaklı kaskat örneği, Tahtalı İçme Suyu Arıtma Tesisi-İzmir

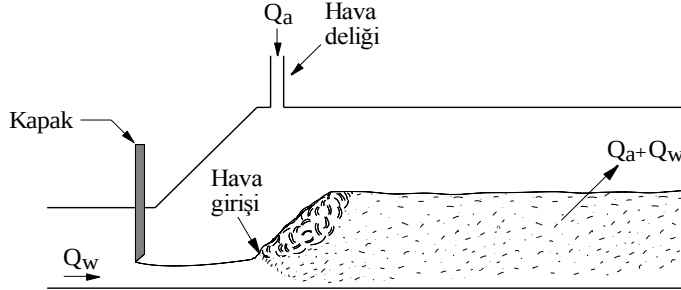


Şekil 2.9. Nap akımı

2.1.3. Serbest Yüzeyli Konduitler

Kapaklı konduitlerde, kapağın cüzi olarak açılması sonucu ortaya çıkan yüksek hız nedeni ile, kapağın mansap tarafında teşkil edilmiş hava bacasında atmosfer basıncından daha düşük miktarda bir basınç oluşur (Şekil 2.10), (Ünsal, 2007). Oluşan basıncın etkisiyle hava bacasından hava vakumlanır. Bu vakumlanan hava, konduit içerisinde hava-su

profilinde bir akımın oluşturur. Bu iki fazlı akım ile hızlandırılmış bir havalandırma sağlanır.



Şekil 2.10. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım (Ünsal, 2007).

2.2. Basınçlı Hidrolik Yapılar

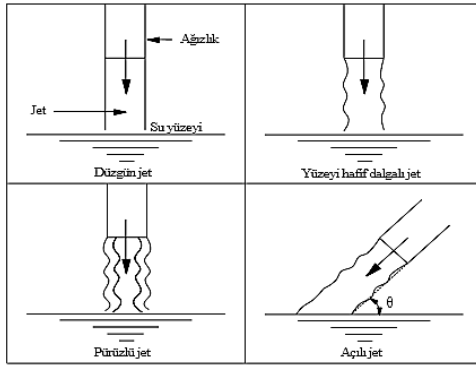
Hidrolik yapılar içerisindeki akımın, tam dolu ya da atmosferle temasa girmeden akması durumunda bu yapıya basınçlı hidrolik yapı adı verilir. Basınçlı hidrolik yapılara örnek olarak; konduit, galeri, tünel, kuyu vb. leri verilebilir. Basınçlı hidrolik sistemlerin herhangi bir noktadan delinmesi halinde, içerisindeki basınç etkisi ile dışarıya su tahliye olur. Bu başlık altında su jetlerinin, konduitlerin ve venturilerin havalandırma performansları ve etkileri üzerine bilgiler sunulmaktadır.

2.2.1. Su Jetleri

Bir ağızlık (nozzle) ile yüksek hızlı su akımı sağlayan sistemlere su jeti adı verilmektedir (Şekil 2.11). Su jetleri çevredeki atmosferden geçtikten sonra bir su havuzuna dalar, bu havuza önemli miktarda hava katar ve önemli bir hava-su fazında iki fazlı bir bölge oluşturur. Bu işleme havalandırma (veya oksijenasyon) adı verilir. Oksijenasyon, su jetiyle ortam havası arasında etkileşen hidrodinamik ve aerodinamik kuvvetlerin bir kombinasyonudur. Jetlerin su yüzeyine çarpma şekline göre; düzgün, yüzeyi hafif dalgalı, pürüzlü ve açılı olmak üzere dört farklı türde su jeti bilinmektedir Şekil 2.12 (a-d), (Emiroğlu ve Baylar, 2003b).



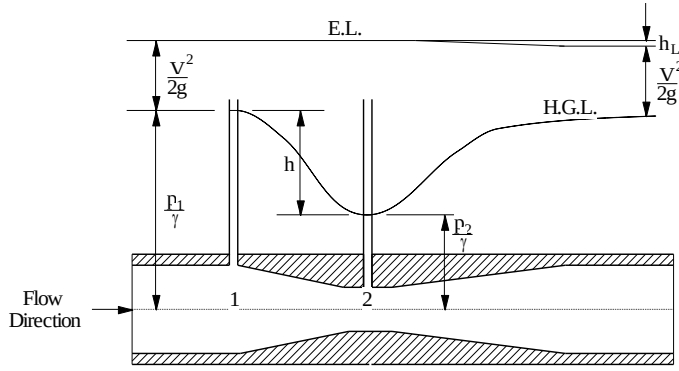
Şekil 2.11. Turizm alanında kullanılan su jeti örneği



Şekil 2.12. Su jeti türleri (Emiroğlu ve Baylar, 2003b).

2.2.2. Venturiler

Venturi havalandırma, son yıllarda popüler hale gelen havalandırma yöntemidir. Bir venturi tüpünün giriş ve çıkış tarafları arasında minimum fark ile basınç oluştuğunda, venturi tüpündeki hava deliğinde bir vakum etkisi oluşur. Su gibi basınçlı bir sıvı venturi tüp girişine girdiğinde, venturi tüpünün boğaz bölümüne doğru sıkışır ve yüksek hızlı bir jet akımı haline gelir. Diferansiyel basıncın bir sonucu olarak venturi tüpünün boğaz kısmında hız artışı, boğaz bölümünde basınç düşüşüyle sonuçlanır. Bu basınç düşüşü, havanın hava bacasından enjekte edilmesine olanak tanır. Jet akışı venturi tüp çıkışına doğru yayılırken hız düşürülür ve basınç enerjisine dönüştürülür (ancak venturi tüp giriş basıncından daha düşük bir seviyede iken).

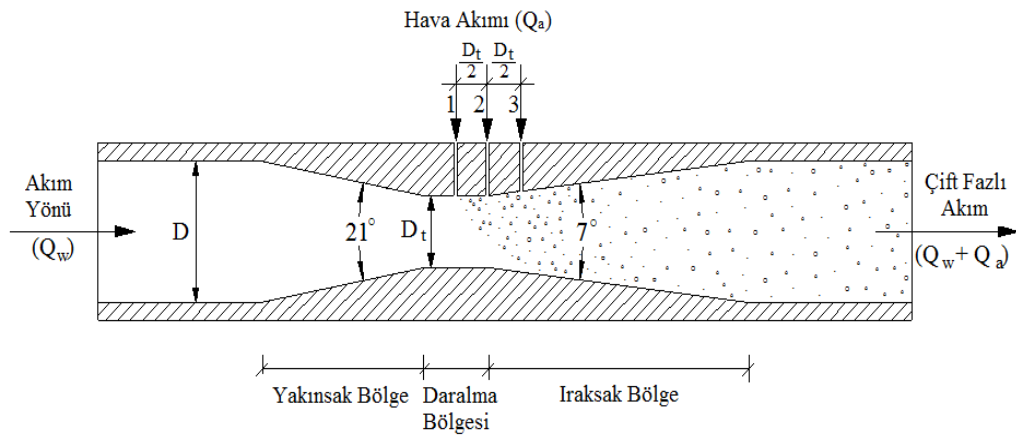


Şekil 2.13. Venturi düzeneği (Özkan, 2005)

İdeal durum için Bernoulli denklemi, Şekil 2.13 - 1. ve 2. bölümleri arasında yazılması halinde;

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2(\beta^2 - 1)}{2g} \quad (2.1)$$

1 ve 2, venturi tüpünün giriş ve boğaz bölümlerinde noktaları belirten alt simgeler; p_1 ve p_2 basınçlardır; γ özgül ağırlıktır; V_2 venturi tüpünün boğaz kısmındaki hızdır; β , venturi tüpünün boğaz akış alanının venturi tüpünün giriş akış alanına oranıdır ve g , yerçekimi ivmesidir (Denklem 2.1). Fark basıncının bir sonucu olarak venturi borusunun boğaz bölümündeki V_2 hızındaki artış boğaz bölümündeki basınç p_2 'de bir azalmaya neden olur. Bu basınç düşüşü ($p_2 < p_{atm}$), havanın emiş bacalarından enjekte edilmesini sağlar.



Şekil 2.14. Venturi tüpünde ideal hava emiş kesiti

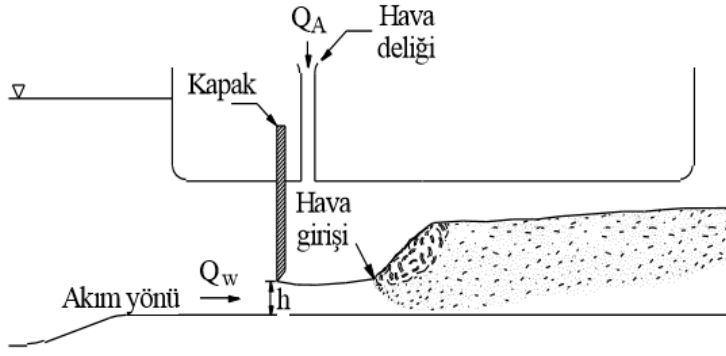
2.2.3. Dipsavaklar

Gerektiđi durumda barajı tamamen boşaltma, dolusavağın kapasitesini azaltma ve akarsuyun mansap tarafına gereken miktardaki suyun bırakılması amacıyla inşa edilen baraj gövdesi altındaki hidrolik yapılar, dipsavak olarak adlandırılmaktadır. Baraj dipsavakları, yüksek akım hızları nedeniyle, hidrodinamik etkilere bağlı kavitasyon hasarlarına maruz kalmaktadırlar. Dipsavaklarda yüksek akım hızları nedeniyle oluşan başka bir husus ise, dipsavak yüzeyindeki basınç değerlerinin suyun buhar basıncının altında olmasıdır.



Şekil 2.15. Kuraklık nedeniyle açılan dipsavak örneği, Adatepe Barajı- Kahramanmaraş / Afşin (2014)

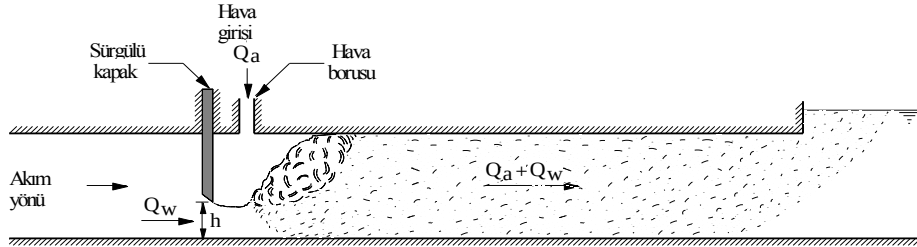
Dipsavakların bazı kısımlarında bu değerlere ulaşılması, yüzeyde kavitasyon hasarına sebep olan hidrodinamik kuvvetler etkisi ile ilgilidir. Kavitasyon hasarları, akıma hava girişı sağlayan sistemlerin kurulmasıyla önlenabilir. Kapaklı dipsavaklar, kapak sistemi ve kapak mansabında teşkil edilmiş havalandırma bacası ile havanın sisteme girmesini sağlar. Kapak altından hızla geçen su, kapağın mansap tarafında atmosfer basıncından da düşük bir basınca sebebiyet verir. Bu basınç sebebiyle, sistemin hemen mansap tarafına teşkil edilmiş hava bacasından dipsavağa hava vakumlanır ve hava-su fazlı kabarcıklar oluşur (Şekil 2.16), (Özkan, 2005). Kavitasyon hasarlarını azaltmak, titreşim etkisini azaltmak, akımda oluşan salınımları daha kararlı bir hale getirmek ve oksijen transferini hızlandırmak amacıyla sisteme hava girişı sağlanır.



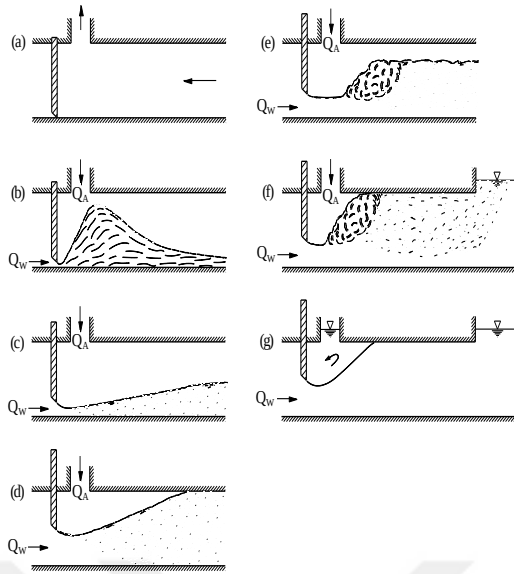
Şekil 2.16. Dipsavaklarda serbest yüzeyli akım (Özkan, 2005).

2.2.4. Basıncılı Konduitler

Kapaklı konduitlerin basınçlı akım şartlarını taşımaları halinde hava-su karışımı oluşur. Pompa aracılığı ile suyun basınç değeri yükseltilerek, su akımına hava girişi sağlanmış olur. Kapağın mansap bölgesindeki suyun, hızla savaklanması durumuyla ortaya çıkan düşük basınç sebebi ile bu noktada bir vakum etkisi meydana gelir. Bu düşük basınç ile dış ortamdan giren hava, kabarcık halinde suya karışmış olur (Şekil 2.17), (Özkan, 2005).



Şekil 2.17. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım (Özkan, 2005).



Şekil 2.18. Kapaklı konduit içerisindeki iki fazlı akım rejimleri; 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 (Özkan, 2005).

2.2.4.1. Basınçlı Konduitlerin Batmış Akım ve Batmamış Akım Koşulları

Kapaklı konduitlerde pompa aracılığı ile suyun basınç değeri yükseltilerek, basınçlı akım şartlarına haiz olması sağlanır. Ancak konduitin mansap kısmına açıldığı bölgedeki şartlar da havalandırma performansına etki etmektedir. Jetin tamamen atmosfere açık bir sistem ile çalıştırıldığı ve üzerinde herhangi bir su yükü bulunmadığı akım tipi, batmamış akım olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.19.a). Jetin mansap tarafından çıkışı yarı batık, yani kısmen atmosfere açık olması hali ve jet üzerinde az bir su yükü bulunması, mansap havuzundaki salınım ve dalgalanmalar nedeniyle jetin zaman zaman batması durumu kısmi batık akım (Şekil 2.19.b) olarak adlandırılmaktadır. Jetin mansap bölgesinde atmosfere kapalı olması (jetin mansap tarafından hava ile temasının mümkün olmadığı durumda), yani üzerinde bir miktar su yükü olması hali batık akım (Şekil 2.19.c) olarak adlandırılmaktadır. Jetin yatay eksenine mansap bölgesi su yüzeyi kotunun fazla olması ise derin batmış akım (Şekil 2.19.d) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.19.a. Batmamış akım



Şekil 2.19.b. Kısmi batık akım



Şekil 2.19.c. Batık akım durumu



Şekil 2.19.d. Derin batmış akım durumu

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Hidrolik yapılarda havalandırma işlemi, çevre dengesi üzerine ciddi etkiler sunmaktadır. Bu sistem ile hidrolik yapıya dış ortamdan hava kabarcıklarının giriş yapması, akımda bulunan suyun yüzey alanını artırarak, su içerisindeki çözünmüş oksijen miktarında artış sağlamaktadır. Hava-su fazında oluşan bu akım ile sistemin havalandırma performansı artırılmış olmaktadır. Hidrolik yapılarda havalandırma etkisi sağlayan bir çok farklı yol bulunmaktadır. Bu amaç ile hidrolik yapılarda havalandırma performansına etkiyen parametreler ve en ideal tasarımı elde etmek için araştırmacılar çeşitli yöntemler üzerine çalışmalarını yürütmüşlerdir.

Hidrolik yapılar ve havalandırma performansları üzerine yürütülen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Kalinske ve Robertson (1943), çeşitli eğimlerde bulunan dairesel boru içindeki hidrolik sıçramalardaki hava dolaşım hızlarını ölçerek, kapalı sistemler üzerine havalandırma adına ilk deneyleri gerçekleştirdiler. Deneysel sonuçlar, hava talebinin sadece sıçrama bölgesindeki Froude sayısına bağlı olduğunu ve borunun eğimine bağlı olmadığını gösterdi. Araştırmacılar yapılan deneysel verileri kullanarak, aşağıdaki hava talebi ilişkisini geliştirdiler:

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w} = 0.0066 (Fr - 1)^{1.4} \quad (3.1)$$

Burada ;

β , hava akışının su akışına hacimsel oranı; Fr ise aşağıdaki denkleme bağlı boyutsuz Froude sayısıdır.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy_e}} \quad (3.2)$$

Burada ;

V hız; g yer çekim ivmesi; y_e ise efektif derinlik olarak adlandırılmış olup, suyun kesit alanının su yüzeyi genişliğine bölünmesi ile elde edilir.

- Literatür çalışmalarında, açık kanal tipindeki hidrolik yapıların doğal sistem ile havalandırılması üzerine ilk bulgular Gameson (1957) tarafından kaydedilmiştir. Gameson, İngiltere’de bulunan farklı nehirlerden aldığı ölçümler ile hidrolik sistemlerde su içerisinde bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişimi incelemiştir. Çalışma yapılan hidrolik sistemleri; serbest düşümlü savak, basamaklı kaskat, bent kapağı, eğimli kanal ve değirmen olmak üzere farklı gruplara ayırmıştır. Gameson (1957), gruplandırmış olduğu hidrolik sistemlerin, hem giriş hem de çıkış kısımlarında oksijen konsantrasyonlarını ölçerek bu sistemlerde, doğal yöntemler ile sisteme hava girişi sağlanabileceğini saptamıştır. Buna bağlı olarak akım içerisindeki havalandırma verimliliğini belirlemeye yardımcı bazı denklemler öne sürmüştür. Gameson (1957) yapmış olduğu çalışmalarda, maksimum havalandırma verimini basamaklı kaskatlarda; sonrasında serbest düşümlü savaklarda; en düşük verimi ise, eğimli kanal sisteminde belirlemiştir.
- Gulliver vd., (1998) yapmış oldukları çalışmalar sonucunda elde ettikleri deneysel veriler ile , Gameson (1957)’un yaptığı çalışmaları desteklemişlerdir.
- Watson vd., (1998) yüksek eğimli kanallar üzerine yapmış oldukları çalışmada, etkili bir havalandırma performansı bulunmadığını gözlemlemişlerdir. Wood (1991)’un yaptığı çalışma ile bu sistemin, daha fazla hava girişi üzerine değişiklik gösteren akım karakteristiklerinin incelenmesinde daha ideal olacağı düşünülmektedir.
- Toombes ve Chanson (2000) yapmış oldukları çalışmada, basamaklı kaskatlar (10 kat daha fazla verime sahip) ile eğimli kanallar arasındaki havalandırma verimini inceleyerek, Gameson (1957)’un bulgularını doğrulamışlardır.
- Baylar (2002), savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisini belirlemek amacıyla bir takım çalışmalar yapmıştır. Geri devirli ve geri devirsiz sistemlerde; farklı savak türlerinin; su kalitesi, su sıcaklığı, mansap su derinliği, suyun savaktan düşme yüksekliği, hidrolik savak yükü vb. parametrelere bağlı oksijen transfer verimine etkisini incelemek üzere bazı çalışmalar yürütmüştür. Bunun neticesinde; geri devirsiz sistemlerde savak şeklinin önemli bir faktör olduğunu ve dikdörtgen savakta düşük oksijen transfer verimi elde edilmesi üzerine bu tip savağın kullanışlı olmadığını önermiştir. Üçgen savaklarda, savak tepe açısının oksijen transfer verimi ile ters orantılı olduğu ve bu geometriyi

taşıyan savaklarda daha iyi oksijen transfer verimi elde edilmiştir. Geri devirli sistemlerde; düşme yüksekliğinin belirlenmesinde, su jetinin pürüzsüz olarak akmasını sağlayacak yüksekliğin seçilmesi gerektiğini belirlemiştir. Küçük düşme yüksekliklerinde, 90° üçgen savağın en ideal oksijen transfer verimine sahip olduğu da ayrıca belirlenmiştir.

- Özkan (2005), venturi havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisini belirlemek amacıyla bir takım çalışmalar yapmıştır. Venturi havalandırıcılarda; boru çapı, boğaz bölgesindeki daralma oranı, mansap boru uzunluğu ve boru eğimi parametrelerine bağlı oksijen transfer verimi etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda; boru çapının azalması ile hava emme performansında artış gözlemlenmiştir. Mansap boru boyunun artması ile hava emme performansında azalma gözlemlenmiştir. Venturi sisteminin yatay ile yaptığı açı arttıkça, oksijen transfer veriminde artış gözlemlenmiştir. D_t , boğaz çapı ve D venturi çapı olmak üzere; farklı daralma oranları incelendiğinde, düşük hızlarda $D_t = D/2$, yüksek hızlarda ise $D_t = 3D/4$ olarak ideal oranlar tespit edilmiştir. Boru çapları ve hız değerlerinin artması ile oksijen transfer veriminin de arttığı tespit edilmiştir.
- Baylar vd., (2006, 2007a, 2007b), basamaklı savaklarda havalandırma performans etkisi üzerine bir dizi deneysel çalışmalar yürüterek, en ideal verimleri 20° ila 25° arasında bulunan kaskat açılarında, en optimum açı değerini ise 22° olarak belirlemişlerdir.
- Shamsai ve Soleymanzadeh (2006), barajların dipsavak bölgesindeki akımın rejimi, deşarj kontrolü için bulunan kapağın, basınçlı ve serbest yüzeyli akım şartları altında sayısal modellemeleri üzerine bazı çalışmalar yürütmüştür. Durst ve Schmitt (1985) tarafından elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırarak, hava talebi oranını Froude sayısının fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. Kapaktaki basınç düşüşü ve kapağın ardında oluşan vorteks durumu tartışılmıştır.
- Kalinske ve Robertson (1943) tarafından öncülüğü yapılan ilk deneyler, Estrada (2007) tarafından kapalı hava kanallarında benzer hava girişi deneyleri ile geliştirildi.
- Escarameia (2007); Kalinske ve Robertson (1943), Wisner vd., (1975), Rajaratnam (1967), Rabben vd., (1983) tarafından elde edilen deney sonuçları arasında karşılaştırma yaparak, hava talebinde önemli farklılıklar olduğunu gösterdi. Farklı sonuçların, kanal akışında ve çıkış koşullarında olduğu kadar

kanal geometrisindeki farklılıklardan da olabileceğini önermiştir. Escarameia (2007) 'nın sonuçlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması, boru boyutu ölçeği etkileri dışındaki faktörlerin hava sürüklenmesini etkileyebileceğini ve her faktörün etkisini tanımaya özen gösterilmesi gerektiğine vurgu yapmaktadır.

- Deswal (2009), su ve atıksu arıtımında havalandırma ve yüzdürme, biyolojik havalandırma filtre, minerallerin kabarcık dökme, santrallerde soğutma sistemi, kimyasalların karıştırılması ve gaz artışı - sıvı transferi vb, batık jet uygulamaları üzerine çalışmalarını yürütmüştür.
- Sharma (1976) tarafından yapılan araştırmalar, hidrolik sıçrama yerinin ve su yüzeyi pürüzlülüğünün ölçek efektlerine katkıda bulunabileceğini ve hava sürüklenme oranlarını ölçerken hesaba katılması gerektiğini gösteriyor. Yapmış olduğu çalışma ile basınçlı kapaklı konduitlerde, havalandırma bacasının iz düşümündeki su yüksekliğine bağlı Froude sayısının önemli bir etken olduğuna vurgu yapmıştır.
- Stahl ve Hager (1999), Mortensen (2009), dairesel konduitlerde hidrolik sıçramaların geliştirilmesi üzerine bazı çalışmalar yürütmüşlerdir.
- Ünsal vd., (2005), dikdörtgen geometriye sahip kapaklı konduitlerin, havalandırma performansına etkisini inceleyerek; küçük kapak açıklıklarında boru boyunun havalandırma performansı ile doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak, boru boyunun kısa olması halinde kapak açıklığı ile havalandırma performansı arasında doğru orantı bulunduğu tespit edilmiştir.
- Özkan vd., (2009), yapmış oldukları çalışma ile yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde hava giriş miktarlarını ve buna bağlı havalandırma performanslarını incelemişlerdir. Serbest yüzeyli ve yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde, büyük Reynolds sayıları için maksimum havalandırma performansı elde edilmiştir. Böylelikle çalışma yapılan her iki konduit tipi; yapım ve işletme maliyetlerinin de ekonomik olacağı göz önünde bulundurularak, suların havalandırılmasında en ideal sistemler olarak adlandırılmıştır.
- Demirel (2013), kapaklı konduitlerde serbest yüzeyli akım durumunda maksimum hava girişi elde edilmesi adına çalışmalarını yürütmüştür. Havalandırma bacasının yerinin, havalandırma üzerine ciddi manada bir etki oluşturmadığını tespit etmiştir.

- Tuna vd., (2014), yürüttükleri bu çalışma ile, dairesel konduitlerin havalandırma verimliliğini araştırmak için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, yüksek basınçlı dairesel konduitlerin oksijen transferinde etkili olduğunu göstermiştir. Froude sayısının ve su kesitsel akış alanının kanalın kesit alanına oranının havalandırma verimi üzerindeki etkileri özellikle önemliyen, kanal uzunluğu etkisinin orta düzeyde olduğu belirlenmiştir.
- Yücel (2016), dairesel kesitli kapaklı konduitlerde hava delik çapının havalandırma performansı üzerine etkisini belirlemek amacıyla bir dizi deneysel çalışma yürütmüştür. Yapılan çalışmada; su kesit alanının konduit kesit alanına oranı olan β değeri ve konduit uzunluğu sabit tutulduğunda hava delik çapının artması ile hava giriş oranında artış meydana gelmiş, hava delik çapı $d = 15$ mm için maksimum hava giriş oranı tespit edilmiştir.
- Ünsal vd., (2016), dairesel kesitli yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde havalandırma bacası çapının, havalandırma performansına etkisini, yapay sinir ağlarıyla modellenmesi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Deney sonuçları ile model sonuçları arasında oldukça yüksek bir benzeşim meydana gelmiştir. Modelleme sonucunda R^2 değeri 0.98 olarak elde edilmiştir. Bu sistemlerde, (daireseel konduitlerde hava delik çapının hava giriş oranı üzerindeki etkisi amacı ile), yapay sinir ağları modellemesinin, başarılı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Yağcı (2017), venturili konduitin havalandırma performansını araştırmak üzere çalışmalar yürütmüştür. Daralma oranı $D_t/D = 0.75$; su kesit alanının konduit kesit alanına oranı olan farklı β değerleri için, konduit uzunluğu etkisi hava giriş oranında , önemli bir etki oluşturmamıştır. Deney serisi içerisinde $\beta = \%20$ için sisteme maksimum hava giriş oranı tespit edilmiştir.
- Aytaç (2017), basınçlı konduit ile birleşik flotasyon hücrelerinde, havalandırmaya etki eden parametreler üzerine çalışmalarını yürütmüştür. Flotasyon veriminin genel manada Froude sayısına bağlı olduğu; en ideal havalandırma performansı için, su jetinin flotasyon hücresi ile yaptığı açı 60° olarak deneysel çalışmalar ile tespit edilmiştir. Flotasyon hücre çapı etkisi, göz önünde bulundurulduğunda en ideal çap 0.92 m olarak belirlenmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, basınçlı konduitlerde batmış akım koşulları için havalandırma performansını etkileyen parametreler incelenmiştir. Çalışma ile basınçlı konduit sistemlerde havalandırma performansına etki eden parametreler olarak; batmış akımın batıklık yüksekliği, konduit kesitinde kapak ile daralma oluşturulması, konduit uzunluğu ve konduitten geçen farklı debi miktarlarına bağlı olarak elde edilen verilerin havalandırma performansı üzerine etkileri ele alınmıştır.

Çalışmada su, suyun kalitesinin sabitlenmesi ve havalanma performansına farklı etkiler (askıda yada çözünmüş halde bulunan maddeler ve tuz etkisi vb.) oluşturmaması için içme suyu şebekesinden temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan su, içme suyu hattından temin edildiği için su sıcaklığı sabit kabul edilmiştir.

Daha önce basınçlı akımların havalanma performansı üzerine yaptığımız literatür çalışmalarında, konduit geometrisinde en ideal kesitin, dairesel kesit olduğunun bilinmesi nedeniyle bu tez çalışmasında dairesel konduit kullanılmıştır.

Bu çalışmada, 68 mm sabit anma çapındaki galvaniz boru kullanılmıştır. Kapağın hemen mansap kısmında, dört adet 16 mm anma çaplı hava girişi sağlayan bacaların, kaynak yoluyla konduite birleşimi sağlanmıştır. Konduitin boy etkisinin belirlenmesi için, konduit kapağı (savak noktası) ile konduitin mansap noktası arasındaki 2m, 4m ve 6m uzunluklarından oluşan üç farklı durum için çalışma yürütülmüştür. Kapaklı konduit sistemlerinde havalandırma performansına eğim etkilerinin araştırılması üzerine yapılan literatür çalışmalarında ideal eğimin $S=0$ olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple yapılan çalışmalarda, basınçlı konduit sistemin eğimi, zemin eksenine paralel, yani $S=0$ olarak alınmıştır.

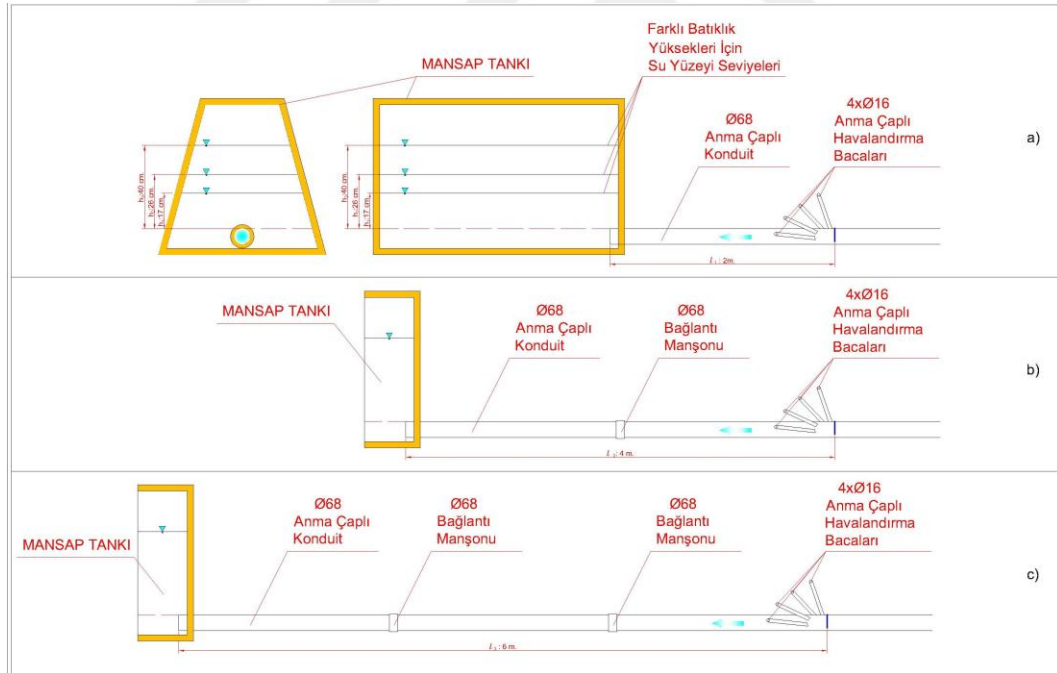
4.1.1. Mansap Tankı

Yapılan bu tez çalışmasında, deney sistemine batmış akım koşulunun sağlanması amacı ile konduitin mansap kısmında bir tank teşkil edildi (Şekil 4.1). Trapez geometriye sahip tankın çerçevesi L köşebentten, içerisinde oluşacak akım fazlarının gözlemlenmesi

amacıyla yan yüzeyleri pleksiglas malzemeden oluşturuldu. Tankın arka yüzeyinde bulunan savaklanma kenarı ise sistemin çalışması ile, basınçlı sistemdeki suyun serbest yüzeyli akım durumunda hazneye geçişini sağlaması amacıyla oluşturuldu. Konduitin üst eksenini ile mansap tankının savaklanma eksenini arasında $h_1=17$ cm, $h_2=26$ cm ve $h_3=40$ cm lik üç farklı batıklık yüksekliği üzerine çalışmalar yürütülmüştür (Şekil 4.2.a). Deneysel çalışmalarda mansap tankının içerisinde oluşacak türbülans nedeniyle (hava-su fazı) su yüksekliğinin korunması sağlanmıştır.



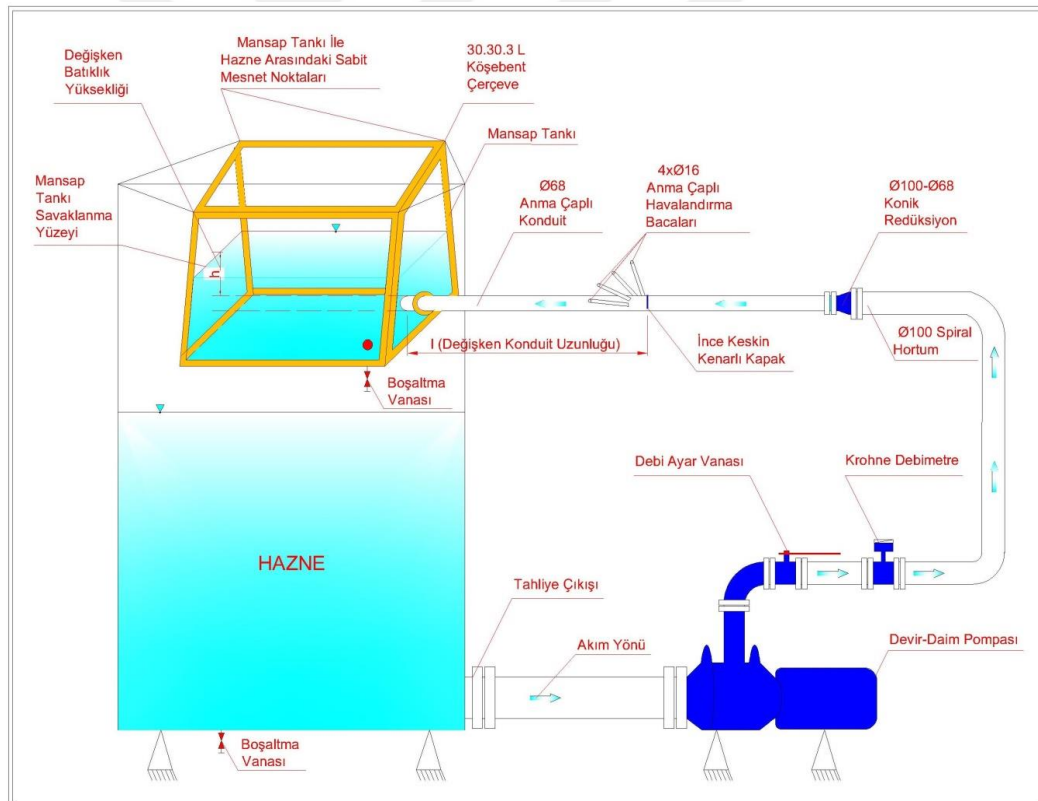
Şekil 4.1. Mansap tankı



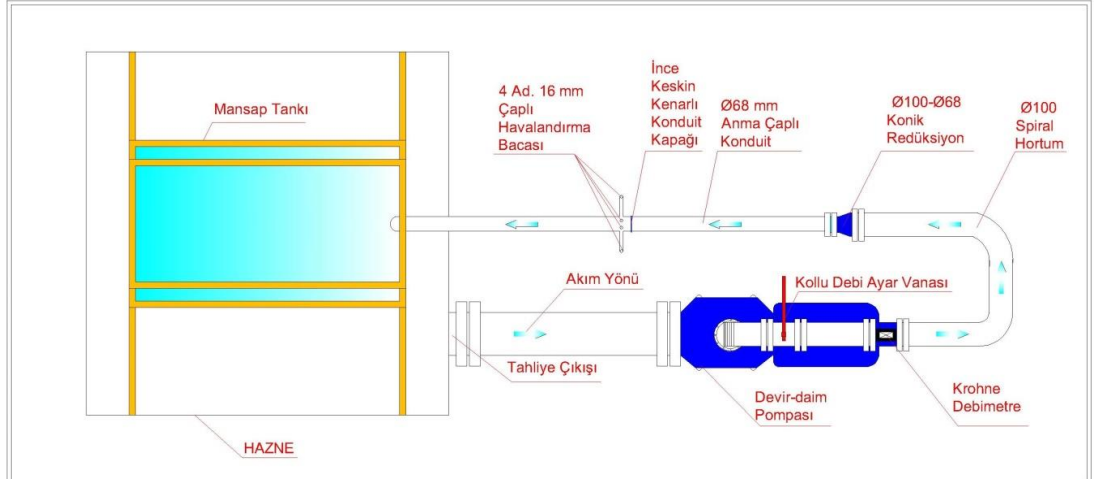
Şekil 4.2. (a),(b),(c). Mansap tarafında farklı batıklık yükseklikleri ve çalışılan farklı konduit uzunlukları

4.2. Deney Düzenegi

Basınçlı kapaklı konduit sistemlerin batmış akım koşulları altında havalandırma performansına etkiyen parametrelerin belirlenmesi amacıyla Şekil 4.3.(a-b) de belirtilen deney sistemi teşkil edildi. Bu geri devirli sistem, iki tonluk haznenin tahliye çıkışından gelen suyun, pompa vasıtasıyla konduit yönünde iletimini sağladı (Şekil 4.4.a). Değişken debi değerleri, kollu ayar vanası ile istenilen debiye göre ayarlanıp; Krohne-IFC 010 D dijital debimetre (Şekil 4.4.b) hassas ölçümler elde edilmesi amacıyla konumlandırıldı. Debimetre ile konduit arasındaki bağlantı, 100 mm anma çaplı çelik takviyeli spiral hortum ile sağlandı. Spiral hortum ile konduitin birleşim noktasında, farklı anma çaplarından oluşabilecek enerji kayıplarının, minimum düzeyde tutulabilmesi adına, bu noktada bir adet Ø100-Ø68 konik redüksiyon kullanıldı.



Şekil 4.3.a. Deney düzeneği kesit görünüşü



Şekil 4.3.b. Deney düzeneği plan görünüşü

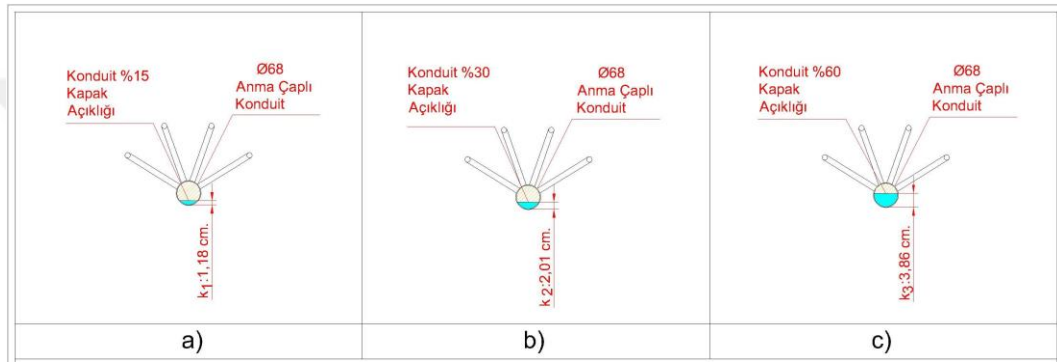
Redüksiyonun ucunda konduit bağlantısı için manşon bulunmaktaydı. Konduit sistemde boy etkisi üzerine yapılacak çalışmalarda boru birleşimi için, bir ve iki metrelik sabit uzunlukta 68 mm anma çaplı galvaniz boruların ucunda yine manşon bulunmaktaydı. Konduit için, farklı kapak açıklığı oranlarına sahip üç tip (ince keskin kenarlı) deney başlıkları teşkil edildi. Bunlar; $D_1=\%15$, $D_2=\%30$ ve $D_3=\%60$ lık kapak açıklık oranlarının sağlanması için yapılan sayısal hesaplamalar sonucu, kapak açıklık yükseklikleri, $k_1=1,18$ cm, $k_2=2,01$ cm ve $k_3=3,86$ cm olarak belirlenmiştir (Tablo 4.1). Bu değerler baz alınarak konduit kapakları kaynak yoluyla birleştirilmiştir (Şekil 4.5). Oluşturulan konduit kapaklarında; daralma bölgesinde vakumlanma, kavitasyon etkilerinin indirgenmesi ve sisteme hava girişi enjekte edilmesi adına, kapağın hemen mansap kısmına dört adet 16 mm anma çaplı 25 cm uzunluğundaki dairesel borular, kaynak birleşimi yoluyla havalandırma bacaları olarak teşkil edilmiştir (Şekil 4.6),(a),(b),(c).



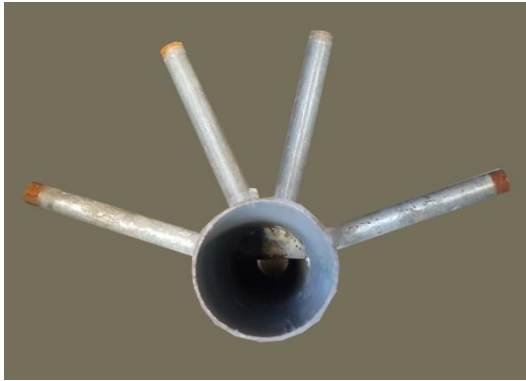
Şekil 4.4.a. Devir-daim pompası



Şekil 4.4.b. Krohne debimetre cihazı



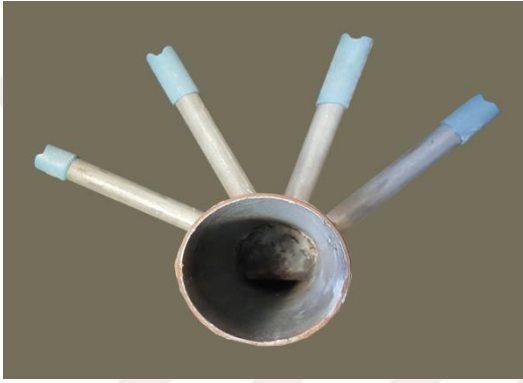
Şekil 4.5. (a),(b),(c) Farklı konduit kapak açıklık yüksekliklerine bağlı kesitler



Şekil 4.6.a. D₃=%60 Kapak açıklıklı konduit



Şekil 4.6.b. $D_2 = \%30$ Kapak açıklıklı kondüit



Şekil 4.6.c. $D_1 = \%15$ Kapak açıklıklı kondüit



Şekil 4.7. Testo Aneometre hız ölçme cihazı

Tablo 4.1. Deneye Etki Eden Parametreler

Konduit Boyu	Değişken Batıklık Yüksekliği	Konduit Kapak Açıklık Oranı	Debi Değerleri							
$l_1 = 2 \text{ m}$	$h_1 = 17 \text{ cm.}$	$D_1 = \%15; k_1 = 1,18 \text{ cm}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8
$l_2 = 4 \text{ m}$	$h_2 = 26 \text{ cm.}$	$D_2 = \%30; k_2 = 2,01 \text{ cm}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8
$l_3 = 6 \text{ m}$	$h_3 = 40 \text{ cm.}$	$D_3 = \%60; k_3 = 3,86 \text{ cm}$	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8

4.3. Deneyin Yapılışı

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında (Şekil 4.8) teşkil edilmiş düzenek ile geri devirli sistem üzerinde bir dizi deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Deneysel çalışmalarda değişken parametreler olarak; debi miktarı, konduit kapak açıklığı yüzde oranı, konduit uzunluğu ve batıklık yüksekliği değerleri belirlenmiştir. Öncelikle hazne ve mansap tankının boşaltma vanaları ile kollu debi ayar vanası kapalı konuma getirilmiştir. İlk olarak hazneye içme suyu şebekesinden musluk ile su dolumu tamamlanmıştır. Devir –daim pompası (380 V) ile debimetrenin (220V) gerekli enerji temini sağlandı. Debimetre ile konduit arasındaki spiral hortumun, deney sisteminin devreye alınması ile tehlike oluşturmaması adına gerekli sabitleme işlemi tamamlandı. İlk deneysel verilere, mansap tankındaki batıklık yüksekliği 40 cm, konduit kapak açıklığı yüzde oranı %15 ve konduit uzunluğu 2 m lik sistem ile başlandı. Kollu debi ayar vanası, cüzi miktarda açılarak sistemde suyun mansap tankına iletimi ve devir-daim şeklinde döngüsü sağlanmış oldu. Mansap tankı ve sistemde sirkülasyon halinde bulunan toplam su hacmi miktarınca, hazneye su ilave edilmesi ile haznedeki çalışma suyu seviyesi korunmuş oldu . Kollu debi ayar vanası, yavaş surette tam açık konuma getirildi. Sistemdeki akımın kararlı hale gelmesiyle, mevcut şartlar altında debimetre ekranından, sistemden geçen maksimum debi değeri okundu. Bu değer üzerine; $Q_{\max}$ 'tan $Q_{\min}$ 'e doğru, eşit azalma değerine sahip sekiz farklı çalışma debisi ($Q_1, \dots, Q_8$), debimetre cihazı ile belirlendi. Çalışılan her debi değeri için, dört farklı konduit havalandırma bacasından sisteme giriş yapan hava hız değerleri (V_1, V_2, V_3, V_4) Testo anemometre (yani ortalama hız ölçer) aracılığıyla tespit edildi (Şekil 4.7).



Şekil 4.8. Deney düzeneğinde hava giriş hızı ölçümü

Bu çalışma prensibi altında, sistemdeki konduit kesiti daralma oranı ve değişken batıklık yükseklikleri, sabit kalmak şartı ile; konduitin mansap tarafından ikişer metre uzunluğunda boru bağlantıları yapılarak 2, 4 ve 6 m lik konduit uzunluğuna bağlı veriler elde edildi. Diğer konduit daralma oranları (%30, %60) ve değişken batıklık yükseklikleri (26 cm, 17cm) için yapılan işlemler yinelendi (Şekil 4.2.a-c).

5. BULGULAR

Geri devirli olarak teşkil edilmiş deney düzeneğinde; farklı mansap batıklık yüksekliği, farklı konduit boy uzunluğu, farklı kapak daralma oranları ve farklı debi parametrelerinin havalandırma verimi üzerine etkisi incelenirken, su hızının bir parametresi ve aynı zamanda boyutsuz bir değer olan Froude sayısı dikkate alınmıştır. Froude sayısı hesaplanırken konduit kapağının mansabında yer alan daralma bölgesindeki hız ve akım koşullarındaki değerler dikkate alınmıştır. Froude sayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$F_r = \frac{V_c}{\sqrt{gh_c}} \quad (5.1)$$

Burada; V_c daralma bölgesindeki hız; g yer çekimi ivmesi; ve h_c daralma bölgesinde akım derinliğidir.

Daralma bölgesindeki hız ise;

$$V_c = \frac{Q_w}{Bh_c} \quad (5.2)$$

Burada Q_w su debisi; ve B konduit genişliğidir.

Daralma bölgesindeki akım derinliği ise;

$$h_c = C_c h \quad (5.3)$$

Burada C_c katsayı; and h kapak açıklık miktarıdır.

5.1. Konduit Kapak Açıklık Oranlarının Havalandırma Verimine Etkisi

$D_1=15\%$, $D_2=30\%$ ve $D_3=60\%$ kapak açıklık oranlarının, $l_1 = 2$ m, $l_2 = 4$ m, $l_3 = 6$ m lik konduit boyları ve $h_1=17$ cm, $h_2=26$ cm, $h_3=40$ cm lik mansap batıklık yüksekliklerine göre havalandırma verimi etkisi Şekil 5.1.(a-1)'de gösterilmiştir.

Şekil 5.1.(a-1)'dan da görüldüğü üzere 15% - 30% - 60% açıklıklı konduitler kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre; açıklık oranı düştükçe Q_a/Q_w oranı da artış

göstermiştir. Dolayısıyla $D_1=15\%$ lik konduit açıklık oranında sisteme çekilen hava miktarı maksimum olmaktadır.

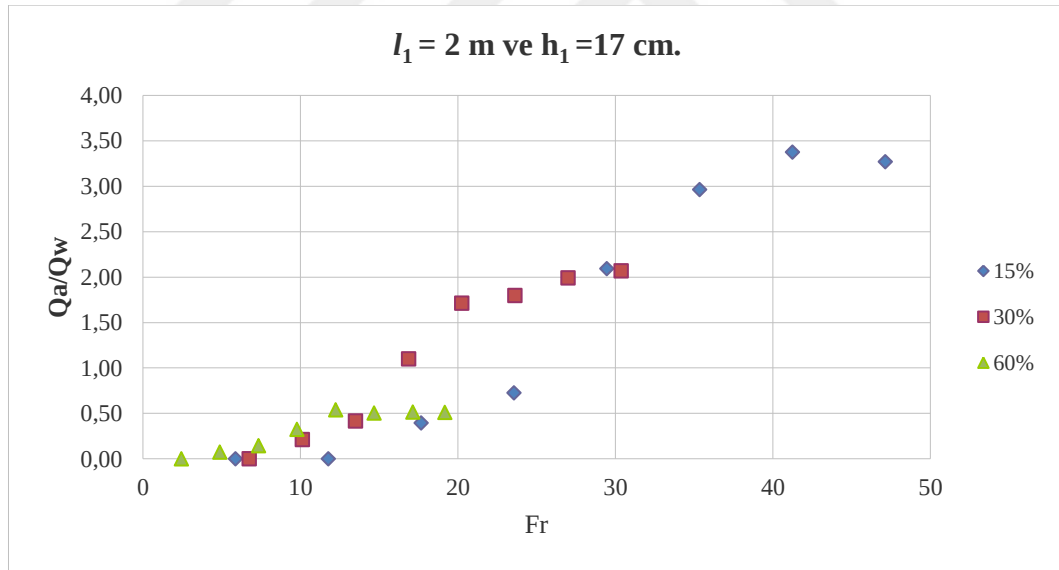
Hava emme performansı $D_1=15\%$ kapak açıklık oranında maksimum değere, $D_3=60\%$ kapak açıklığında ise minimum değere ulaşmıştır.

Ayrıca Froude sayısının 20'dan büyük değerlerinde Q_a/Q_w oranları arasında belirgin değer farklılıkları meydana gelmiştir. Kapak açıklık oranının artmasıyla kapağın memba ve mansap kısımlarındaki basınç farkı dengelenmiş ve buna bağlı olarak da atmosferden emilen hava miktarı azalmıştır.

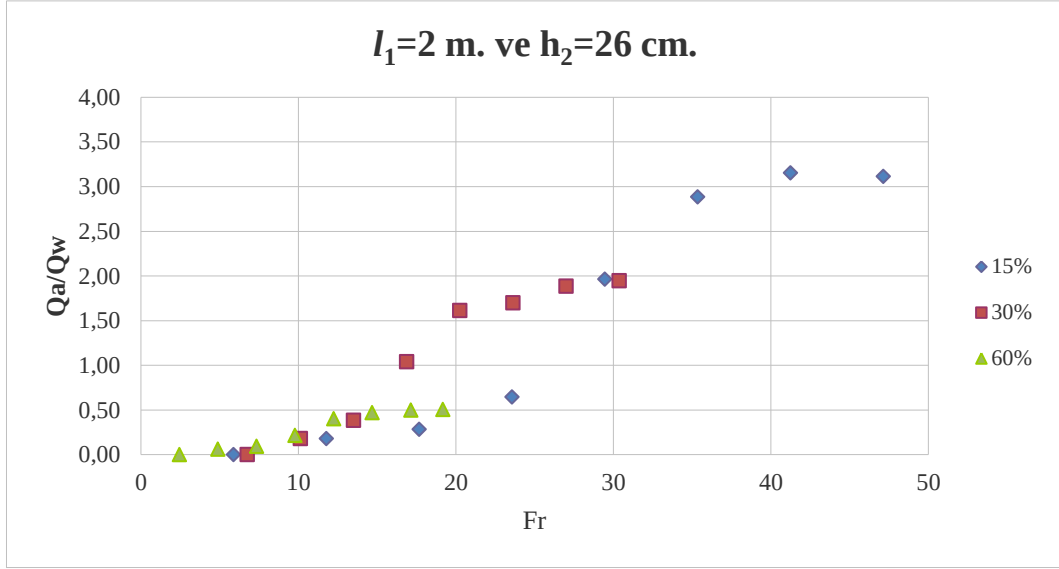
Şekil 5.1.(a) da görüldüğü üzere $D_1=15\%$, $l_1 = 2$ m ve $h_1 = 17$ cm değerlerinde maksimum havalandırma verimi elde edilmiştir. Q_a/Q_w değeri yaklaşık 3,5 olmuştur.

$D_2=30\%$ ve $D_3=60\%$ açıklık değerlerinde minimum havalandırma verimi elde edilmiştir. Ayrıca havalandırma verimlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

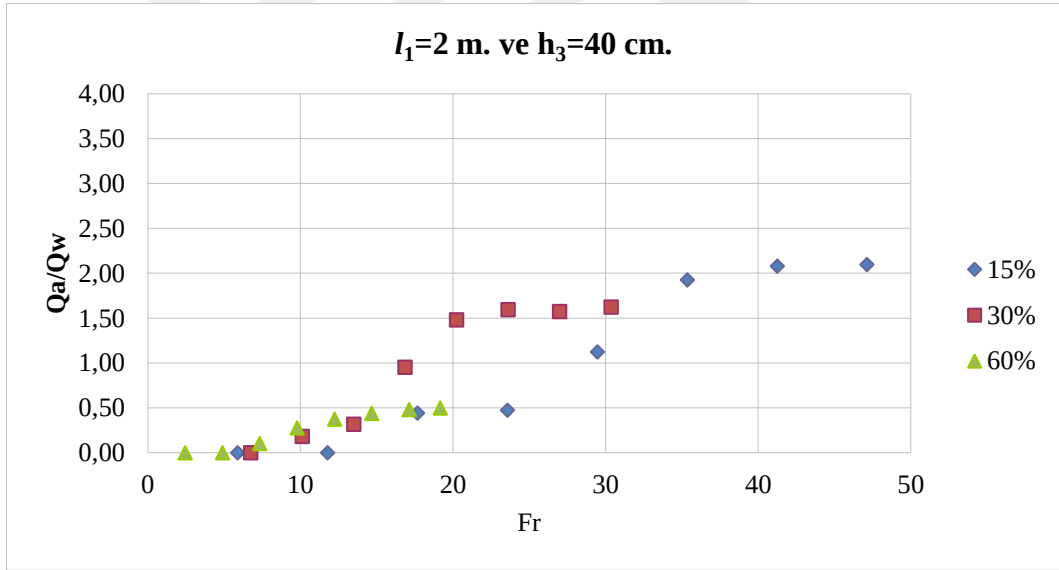
Tüm deney gruplarında en yüksek Q_a/Q_w , yani havalandırma değeri 3,47 olarak ölçülürken, en düşük havalandırma değeri 0 olarak ölçülmüştür.



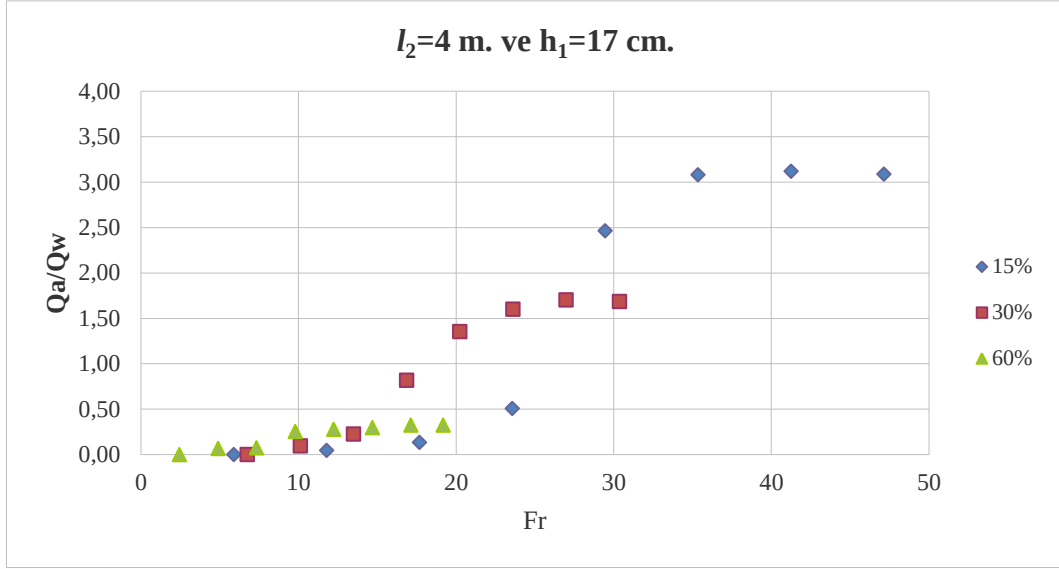
Şekil 5.1.(a). $l_1=2$ m. ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



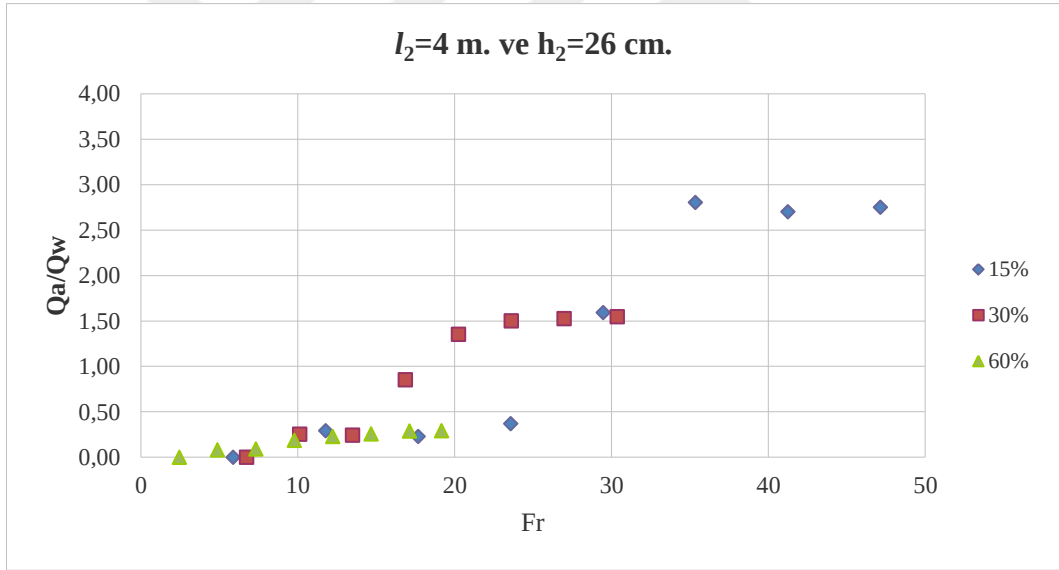
Şekil 5.1. (b). $l_1=2$ m ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



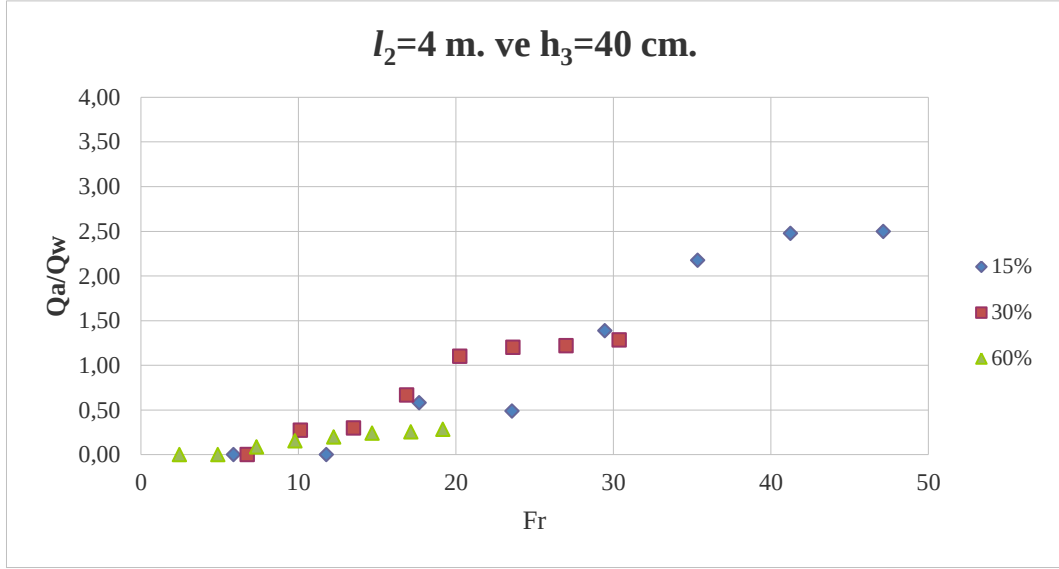
Şekil 5.1.(c). $l_1=2$ m ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



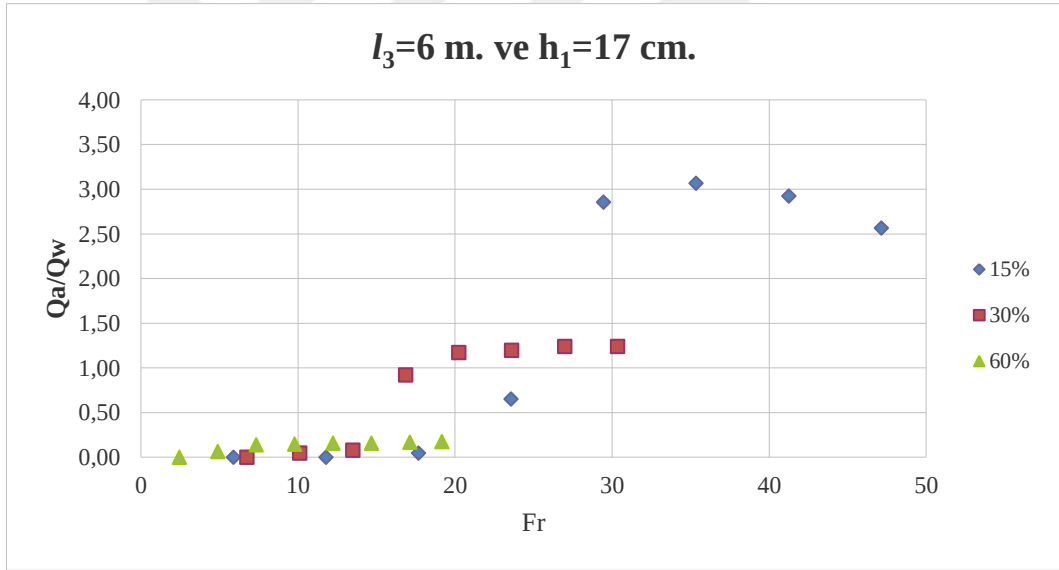
Şekil 5.1.(d). $l_2=4$ m. ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



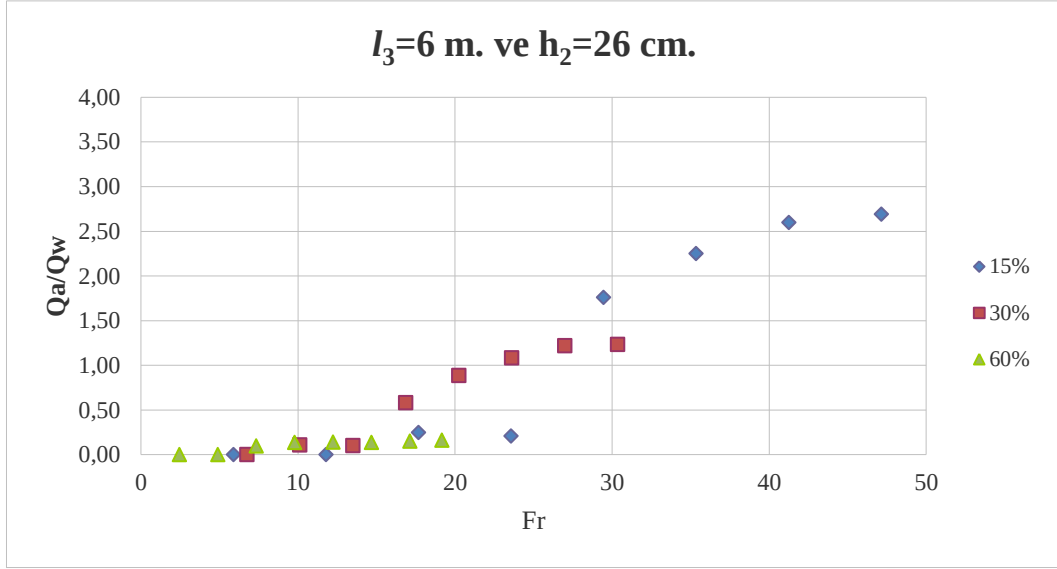
Şekil 5.1.(e). $l_2=4$ m. ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



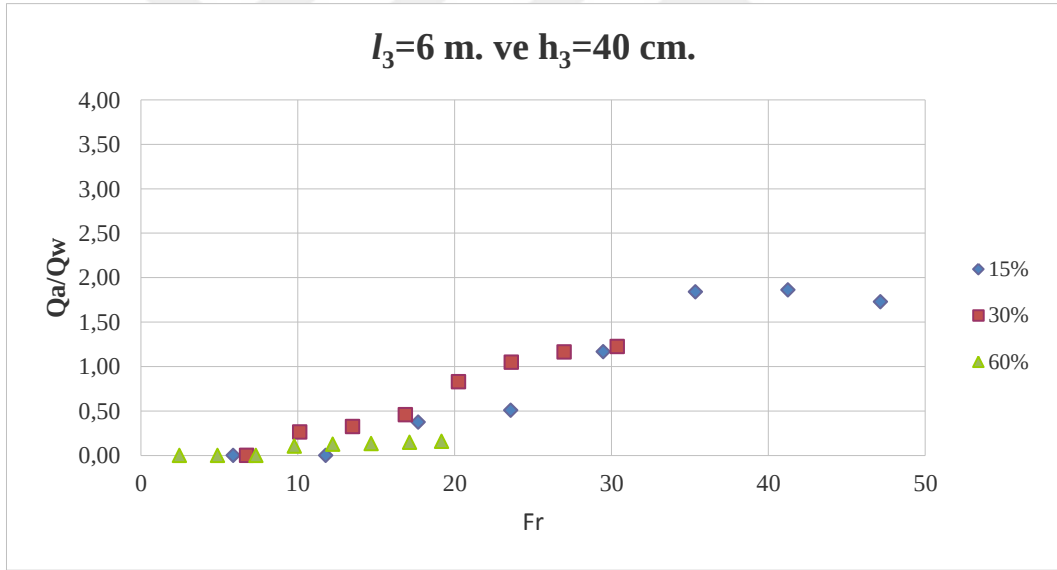
Şekil 5.1.(f). $l_2=4$ m. ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



Şekil 5.1.(g). $l_3=6$ m. ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



Şekil 5.1.(h). $l_3=6$ m. ve $h_2=26$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi



Şekil 5.1.(i). $l_3=6$ m. ve $h_3=40$ cm. batıklık değerinde kapak açıklığı etkisi

5.2. Konduit Boy Değişiminin Havalandırma Verimine Etkisi

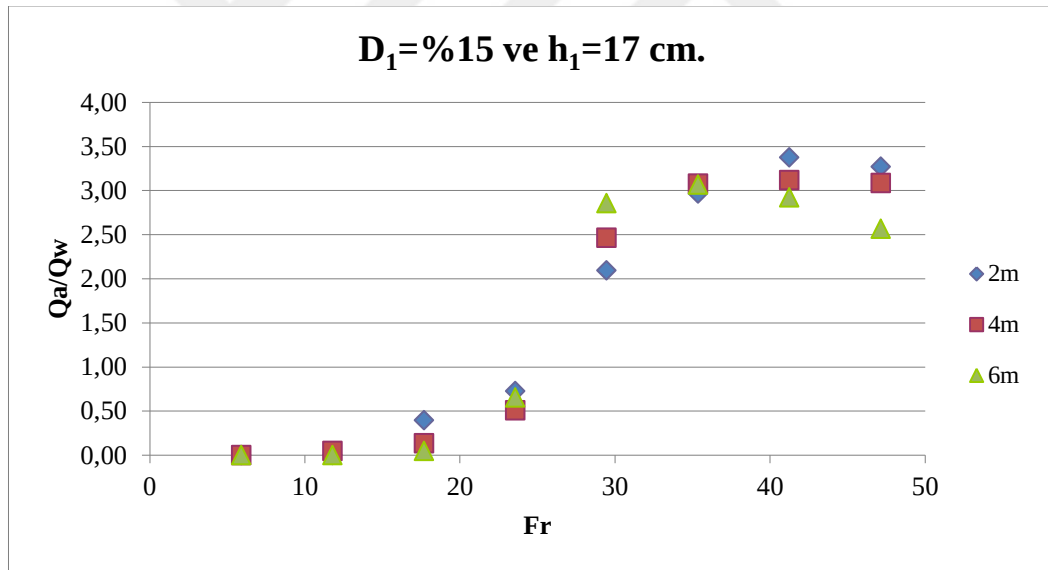
Şekil 5.2.(a-1)'de her bir konduit uzunluğunun, farklı kapak açıklık oranları (D_1 , D_2 , D_3) ve mansap batıklık derinliklerine (h_1 , h_2 , h_3) göre etkisinin araştırılması için, Froude sayısı ile ilişkili olarak Q_a/Q_w 'nin değişimi incelenmiştir. Şekil 5.2.(a-1)'dan da görüldüğü üzere konduitin boy uzunluğunun artmasıyla hava giriş oranı Q_a/Q_w azalmıştır.

Şekil.5.2.(d-1)' dan da görüleceği üzere $D_2=30\%$ ve özellikle $D_3=60\%$ kapak açıklıklı konduitlerde, boy arttıkça havalandırma performansının azaldığı gözlemlenmiştir.

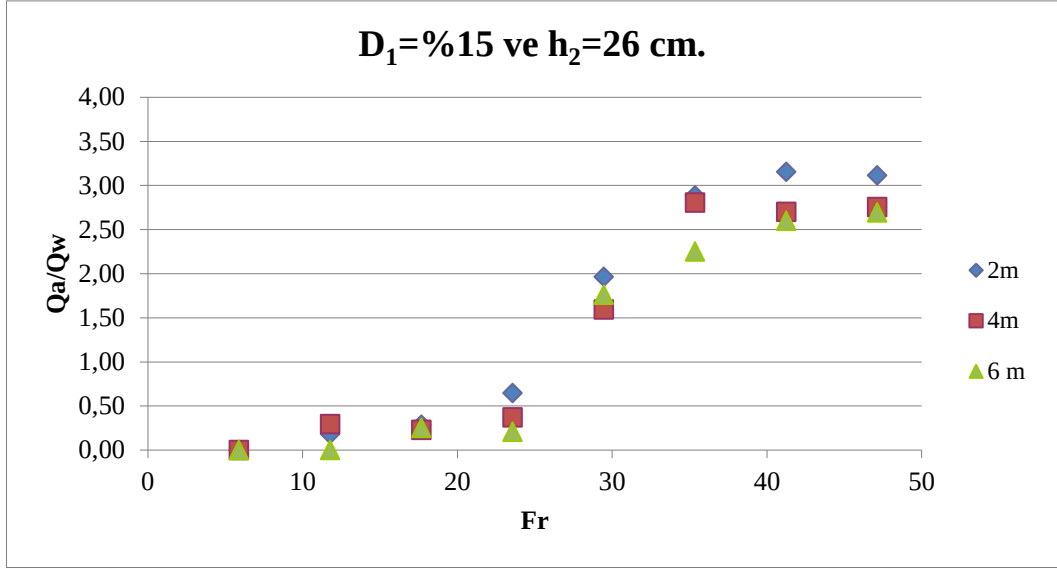
Deney serileri incelendiğinde genel olarak konduit boyunun artması ile hava giriş oranının azaldığı görülmüştür. Hidrolik sıçramanın hava giriş oranı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu sebeple bu deney serilerinde hidrolik sıçramanın gerçekleştiği konduit uzunluklarında hava giriş oranı maksimize olmaktadır. Bu durum konduit uzunluğunun artmasıyla birlikte enerji kaybının artması ve hava giriş miktarı azalması olarak izah edilebilir.

Bu deney gruplarına ait en yüksek Q_a/Q_w değeri $D_1=15\%$ kapak açıklık oranı ve $h_1=2$ m'lik konduit boyunda 3.5 olarak ölçülmüştür.

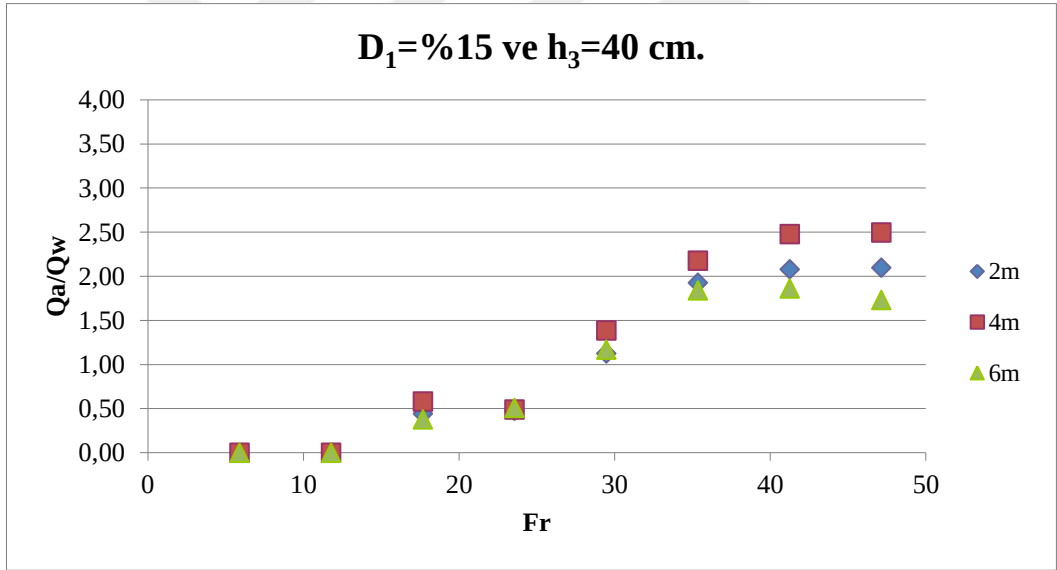
Bu gruba ait deney serileri incelendiğinde tüm kapak açıklık oranlarında Q_a/Q_w değeri, her bir serinin Froude sayısının belli bir değerine kadar hızlı bir yükseliş gösterdikten sonra Froude sayısı artsa bile aynı trendi gösterememiştir.



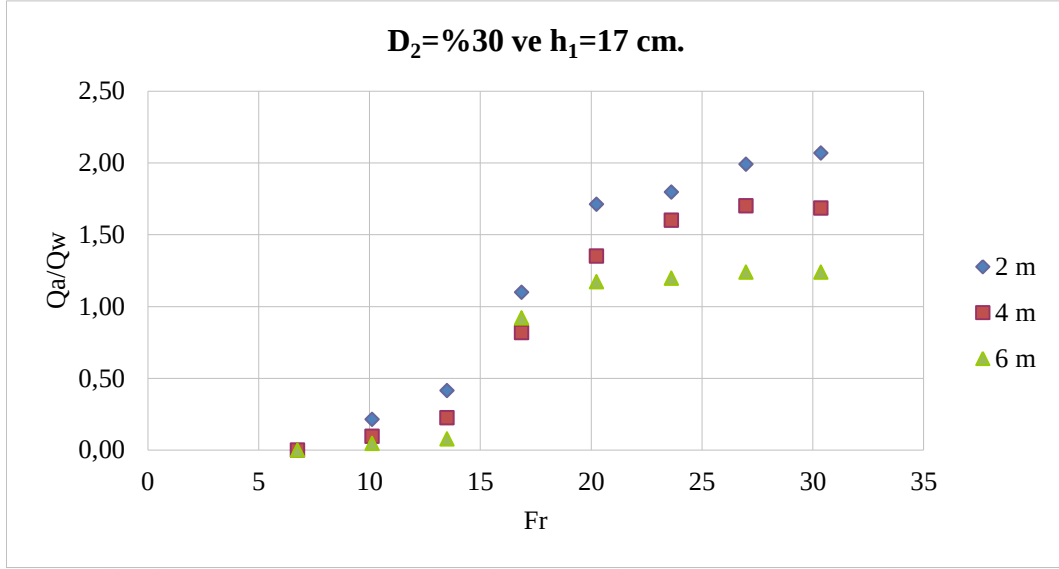
Şekil 5.2.(a). $D_1=15\%$ kapak açıklığı ve $h_1=17$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



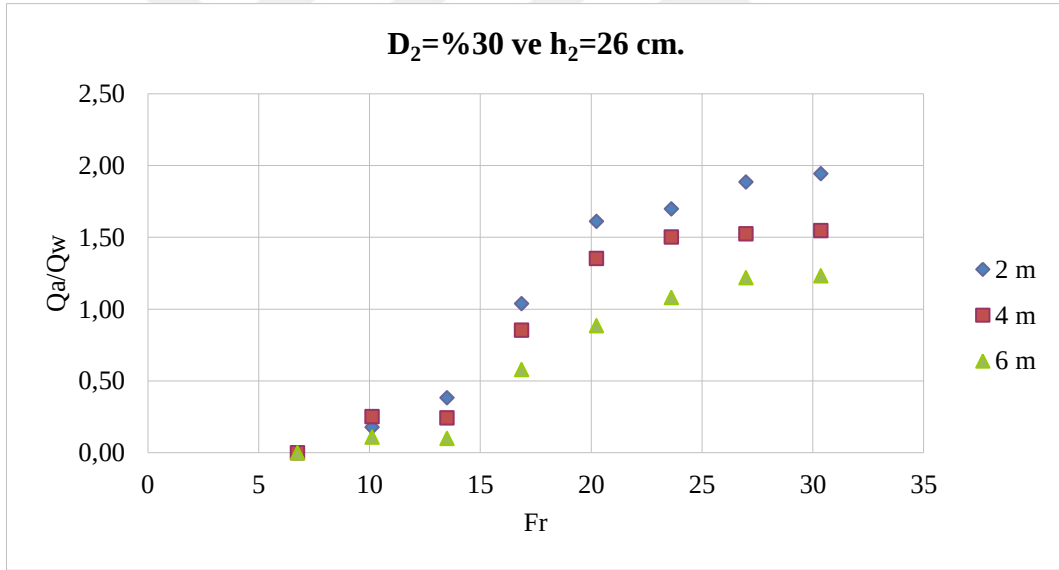
Şekil 5.2.(b). $D_1 = \%15$ kapak açıklığı ve $h_2 = 26$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



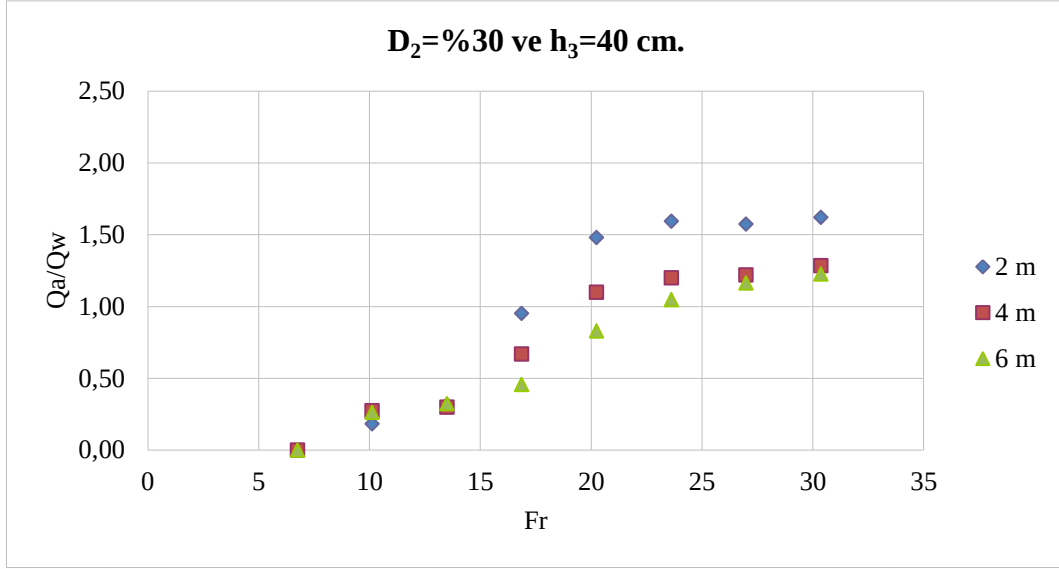
Şekil 5.2.(c). $D_1 = \%15$ kapak açıklığı ve $h_3 = 40$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



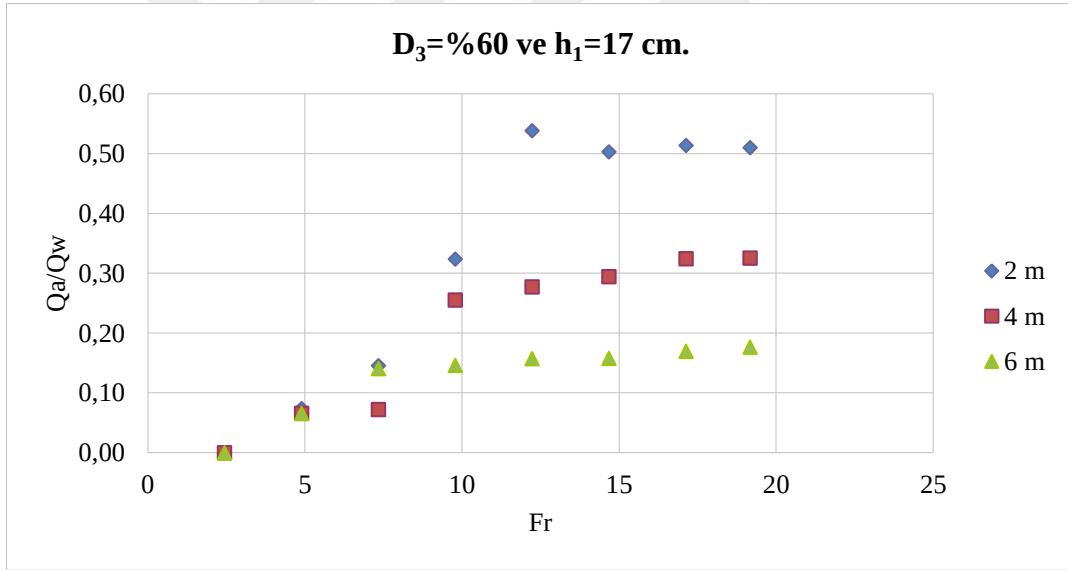
Şekil 5.2.(d). $D_2 = \%30$ kapak açıklığı ve $h_1 = 17$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



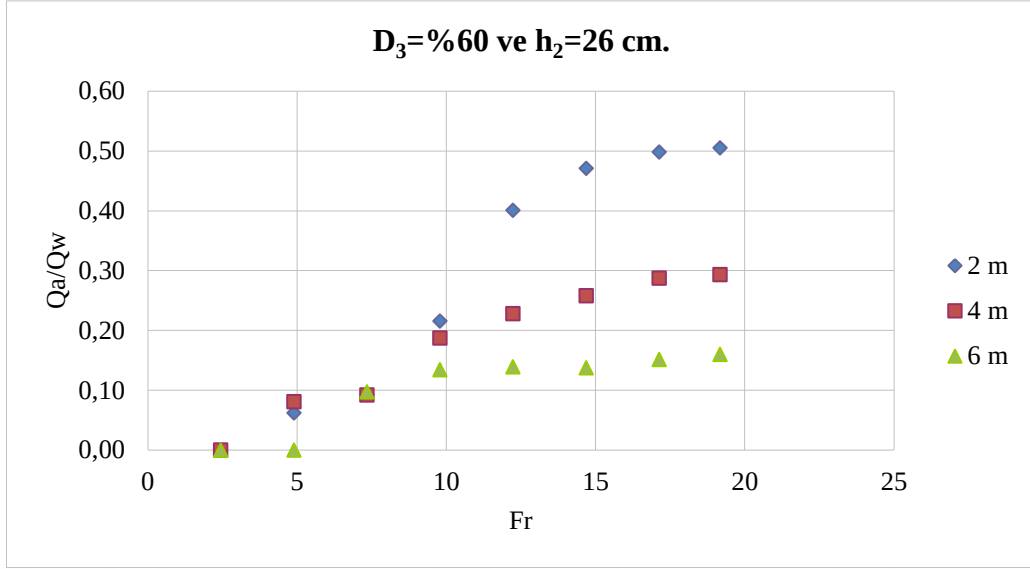
Şekil 5.2.(e). $D_2 = \%30$ kapak açıklığı ve $h_2 = 26$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



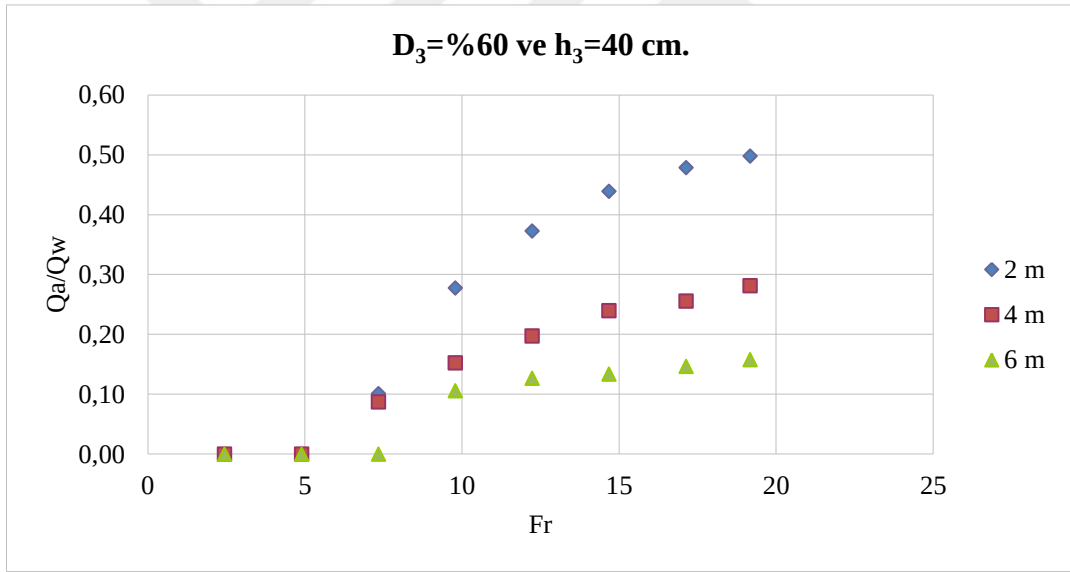
Şekil 5.2.(f). $D_2 = \%30$ kapak açıklığı ve $h_3 = 40$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



Şekil 5.2.(g). $D_3 = \%60$ kapak açıklığı ve $h_1 = 17$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



Şekil 5.2.(h). $D_3 = \%60$ kapak açıklığı ve $h_2 = 26$ cm. batıklık değerinde boy etkisi



Şekil 5.2.(ı). $D_3 = \%60$ kapak açıklığı ve $h_3 = 40$ cm. batıklık değerinde boy etkisi

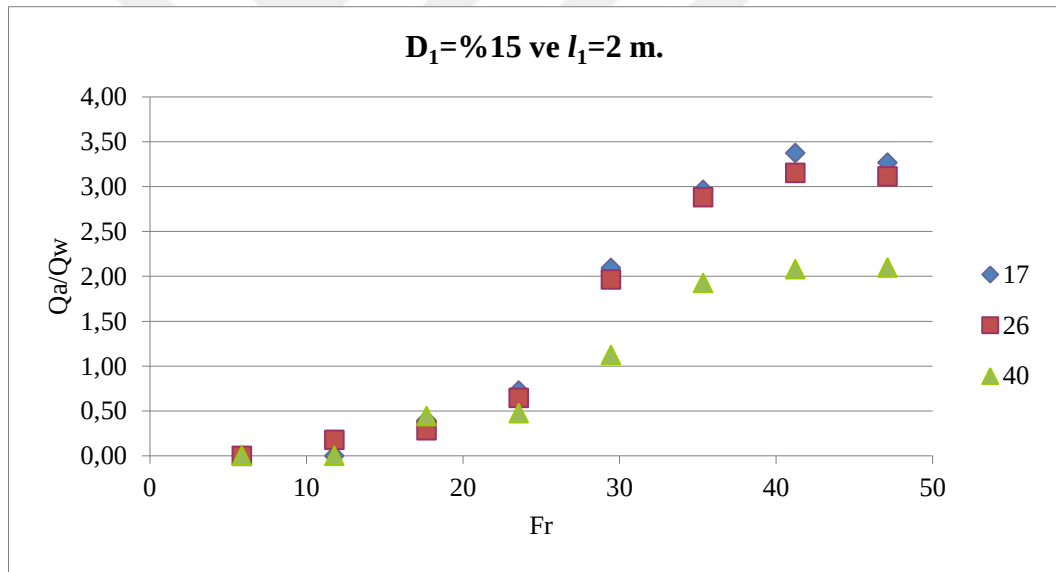
5.3.Mansap Su Derinliğinin Havalandırma Verimine Etkisi

Şekil 5.3.(a-ı)'da yer alan tüm deney grupları incelendiğinde mansap derinliğinin $h_1 = 17$ cm olduğu alternatiflerde havalandırma performansının en büyük değere ulaştığı söylenebilir. Diğer taraftan mansap derinliğinin $h_3 = 40$ cm olduğu alternatiflerde havalandırma performansının minimum değerlere ulaştığı söylenebilir.

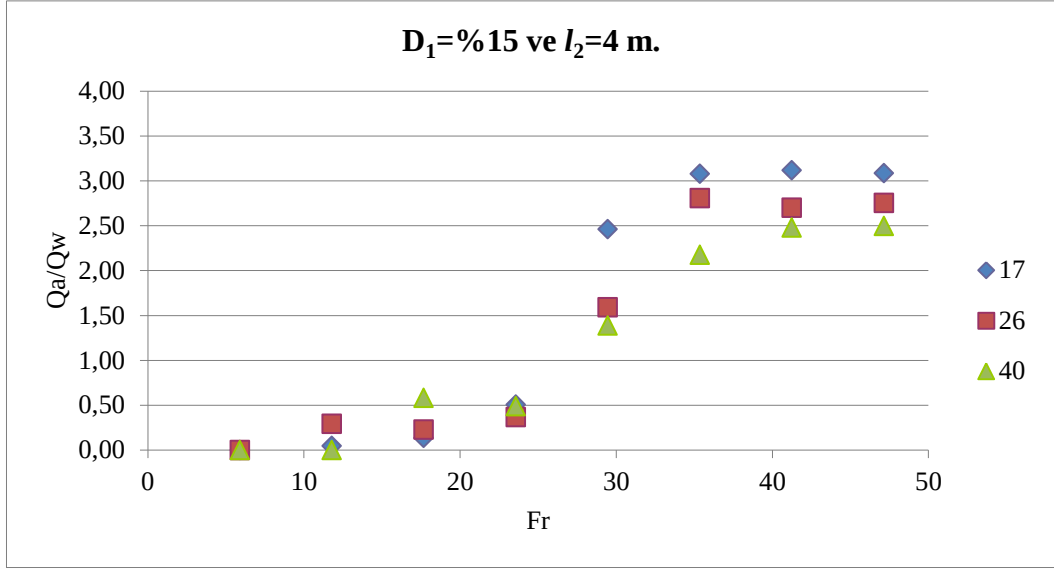
Mansap su derinliğinin artması havalandırma verimini azaltmaktadır. Diğer bir deyişle mansaptaki su derinliği ile havalandırma verimi arasında ters orantı mevcuttur.

Tüm deney grupları incelendiğinde; Q_a/Q_w 'nin sıfır yani havalandırmanın olmadığı alternatifler genellikle minimum debide ve mansap su derinliğinin $h_3 = 40$ cm olması durumunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.3.(ı) dan görüleceği üzere özellikle $D_3 = \%60$ kapak açıklık değerinde batıklık etkisinin minimum şekilde gözlemlendiği $D_1 = \%15$ lik kapak açıklık oranında ise batıklık etkisinin oldukça belirgin olduğu söylenebilir (Şekil 5.3.a).

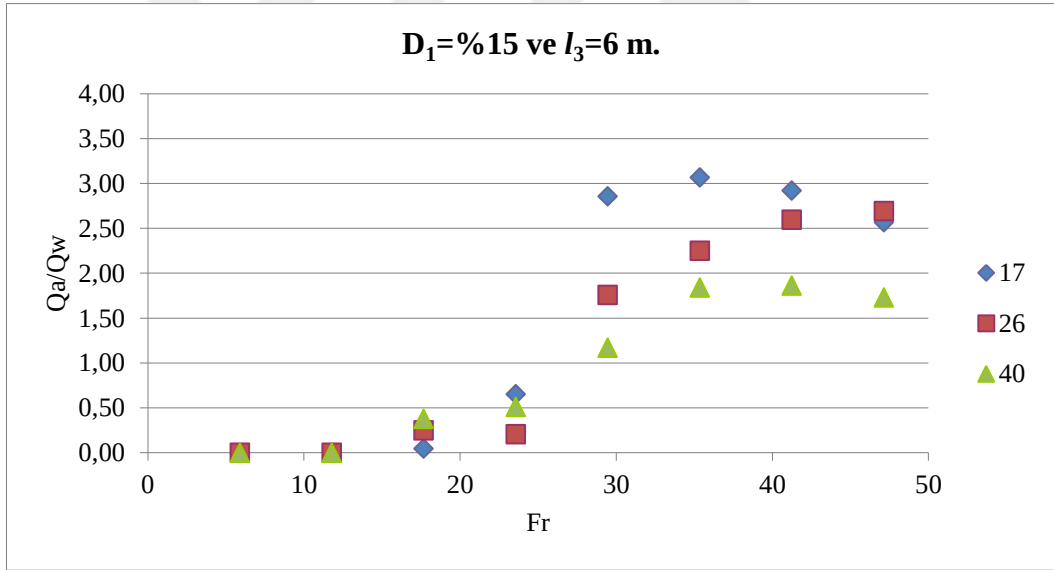
Mansap su derinliğinin artmasıyla havalandırma performansının düşmesi şu şekilde izah edilebilir: Mansap havuzu içerisine dalan jetin üzerindeki statik su seviyesi yükseldikçe jet üzerinde su yüküne sebep olmaktadır. Dolayısıyla havalandırma performansı değeri bu durumdan olumsuz etkilenerek azalmaktadır.



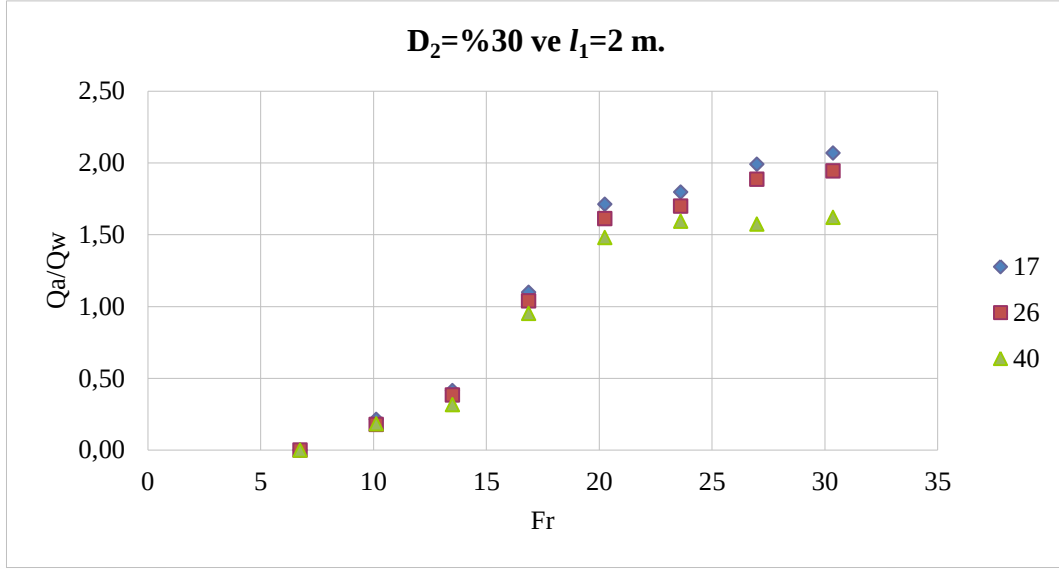
Şekil 5.3.(a). $D_1 = \%15$ kapak açıklığı ve $l_1 = 2$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



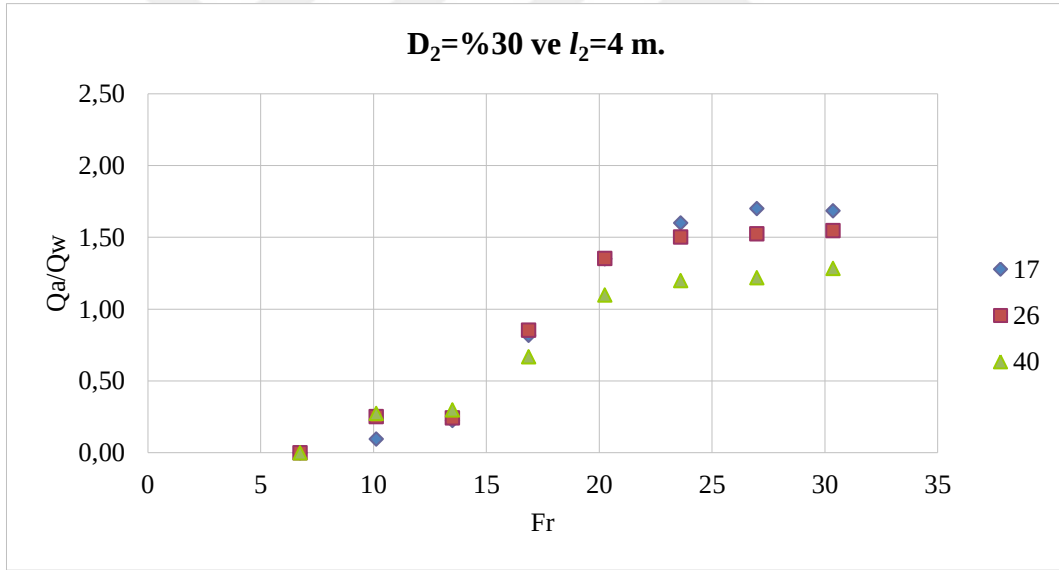
Şekil 5.3.(b). $D_1 = \%15$ kapak açıklığı ve $l_2 = 4$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



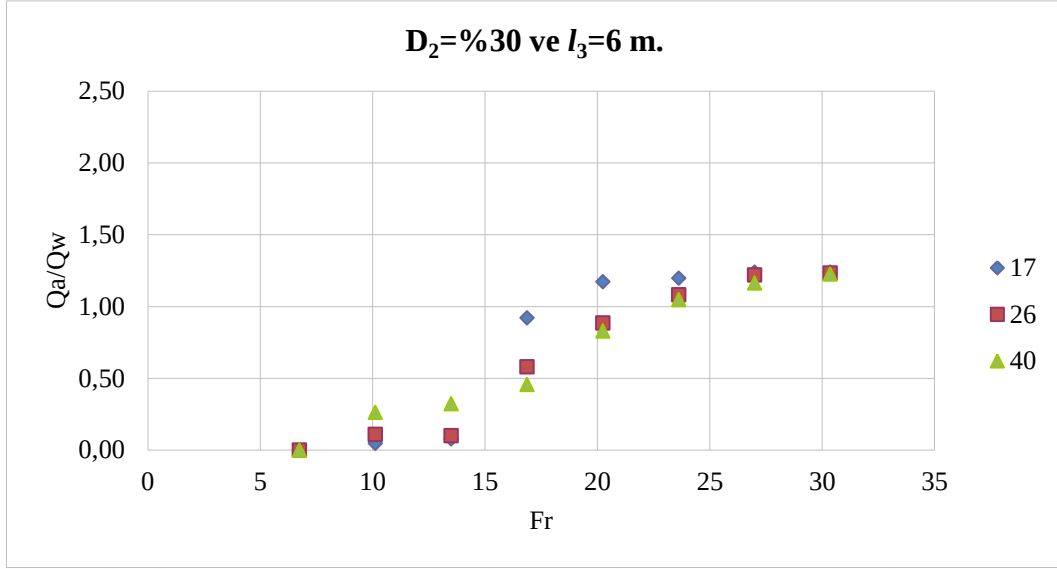
Şekil 5.3.(c). $D_1 = \%15$ kapak açıklığı ve $l_3 = 6$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



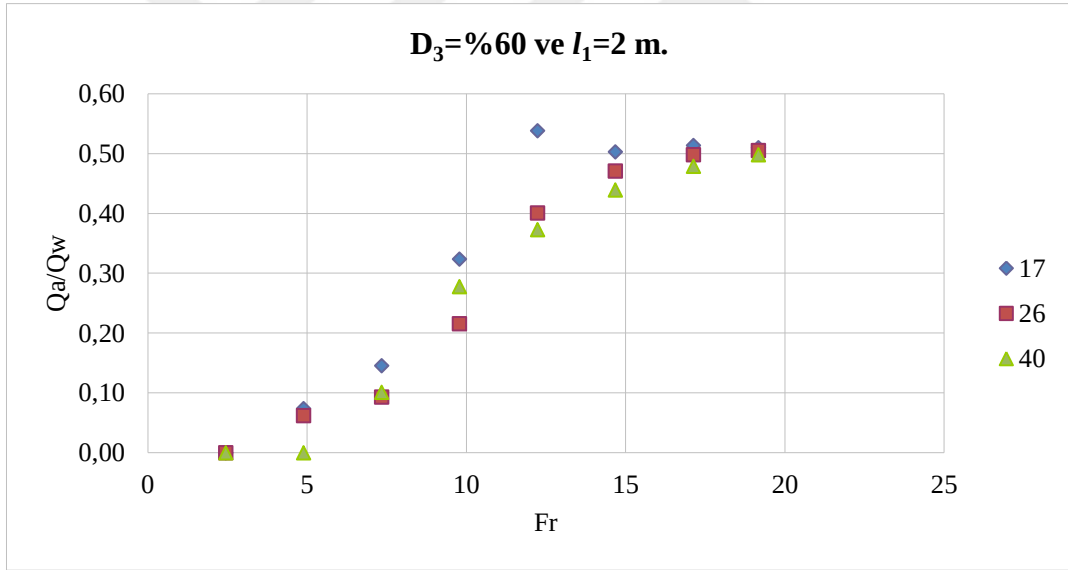
Şekil 5.3.(d). $D_2 = \%30$ kapak açıklığı ve $l_1 = 2$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



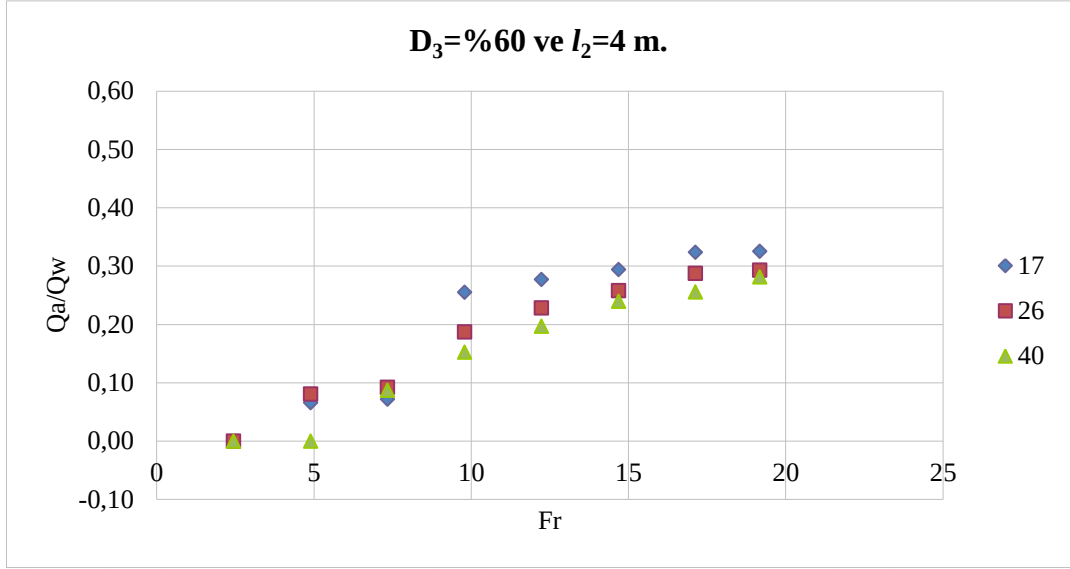
Şekil 5.3.(e). $D_2 = \%30$ kapak açıklığı ve $l_2 = 4$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



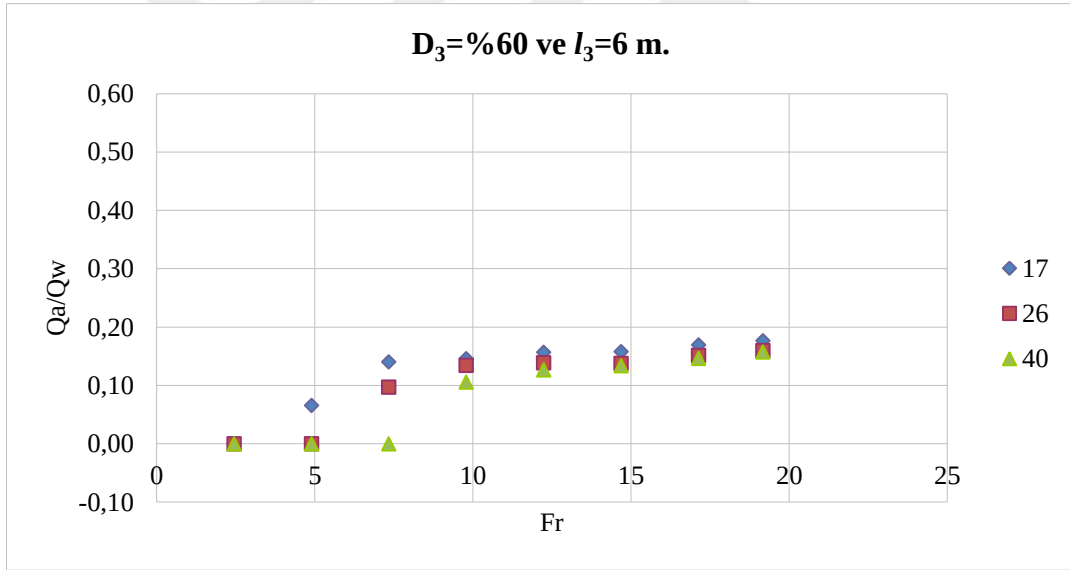
Şekil 5.3.(f). $D_2 = \%30$ kapak açıklığı ve $l_3 = 6$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



Şekil 5.3.(g). $D_3 = \%60$ kapak açıklığı ve $l_1 = 2$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



Şekil 5.3.(h). $D_3 = \%60$ kapak açıklığı ve $l_2 = 4$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi



Şekil 5.3.(ı). $D_3 = \%60$ kapak açıklığı ve $l_3 = 6$ m. konduit boyu için batıklığın etkisi

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında yapılan deney düzeneğinde dairesel kesitli konduitlerde mansap havuzu batıklık oranı, konduit boyu ve konduit daralma oranı gibi parametrelerin hava emme performansına etkisinin incelenmesi ve bu sistemlerin daha verimli hale getirilmesi amacıyla bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şöyledir.

- Tüm kapak açıklık oranlarında, mansap derinliklerinde ve konduit boylarında Froude sayısı arttıkça hava giriş miktarı artmıştır. Froude sayısı hıza bağlı bir parametredir. Suyun hızı arttıkça hava giriş miktarı da artmaktadır.
- En yüksek Q_a/Q_w oranları, $D_1=15\%$ kapak açıklık oranına sahip ve $l_1 = 2$ m konduit uzunluğundaki deney gruplarında hesaplanmıştır.
- Tüm deneylerde konduit açıklık oranı arttıkça hava giriş miktarı azalmıştır. Konduit kapak açıklık miktarının artmasıyla kesit genişlemekte, dolayısıyla su hızı azalmaktadır. Daralma bölgesinde azalan su hızı ile birlikte memba ve mansap arasındaki basınç farkı azalmakta, dolayısıyla konduit sistemine çekilen hava miktarı da azalmaktadır.
- Tüm deney serilerinde kapak açıklık oranlarında konduit uzunluğunun artmasıyla hava giriş oranı azalmaya başlamıştır. En iyi hava giriş performansı $l_1 = 2$ m ve en düşük hava giriş performansı $l_3 = 6$ m lik konduit uzunluklarında gerçekleşmiştir.
- Tüm deney serilerinde mansap havuzundaki su yüksekliğinin artmasıyla sisteme giren hava miktarları önemli ölçüde azalmıştır. Mansap havuzundaki su jetinin üzerinde bulunan su yükünün artmasıyla meydana gelen kayıplardan sistemin havalandırma performansı olumsuz etkilenerek azalmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin, suların havalandırılması işleminde yüksek bir verimlilikle kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca konduitler, yüksek hava giriş performansları sebebiyle 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 kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, A.**, 1974. Aeration by plunging liquid jet, Ph.D. thesis, Loughborough University of Technology.
- Avery, S. and Novak, P.**, 1978. Oxygen transfer at hydraulic structures. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. 104 (HY11): 1521–1540.
- Aytaç, A.**, 2017. Kapaklı konduitli flotasyon hücreleri fiziksel parametrelerinin havalandırma performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bagatur, T., Baylar, A., & Sekerdag, N.**, 2002. The effect of nozzle type on air entrainment by plunging water jets. Water quality research journal of Canada, 37(3), 599-612.
- Baylar, A.**, 2002. Savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baylar A. and Emiroglu M.E.**, 2002. The effect of sharp-crested weir shape on air entrainment, Canadian Journal of Civil Engineering, 29 (3) pp. 375–383.
- Baylar A.**, 2003. An investigation on the use of venturi weirs as an aerator, Water Quality Research Journal of Canada, 38 (4) pp. 753–767.
- Baylar, A., Emiroglu, M. E. and Bagatur, T.**, 2006. An experimental investigation of aeration performance in stepped spillways, Water and Environment Journal, 20, pp. 35–42.
- Baylar, A., Bagatur, T. and Emiroglu, M.E.**, 2007a. Aeration efficiency with nappe flow over stepped cascades. Proc. Instn, Civil Engrs., Water Management, 160, WM1, pp. 43–50.
- Baylar, A. and Emiroglu, M.E.**, 2007b. The Role of Weir Types in Entrainment of Air Bubbles, International Journal of Science & Technology Volume 2, No 2, pp. 143-154.
- Bin, A. K.**, 1993. Gas entrainment by plunging liquid jets, Chermical Engineering Science, No. 21, pp. 3585-3630.
- Chanson, H.**, 1995. Predicting oxygen content downstream of weirs, spillways and waterways, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy. 112 (1) pp. 20-30

- Chaudhry M.H., Yevjevich V.,** 1981. Closed-Conduit Flow, Water Resources Publication, Michigan, USA.
- Demirel, I.H.,** 2013. Kapaklı konduitlerde serbest yüzeyli akım durumunda maksimum hava girişi için en uygun tasarım, Yüksek Lisans Tezi, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Deswal, S.,** 2009. Oxygenation by hollow plunging water jet. Journal of the Institute of Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 1-8
- Detsch, R. M. and Sharma, R. N.,** 1990. The critical angle for gas bubble entrainment by plunging liquid jets, Chem. Eng. Journal, Great Britain.
- Durst, F. and Schmitt, F.,** 1985. Experimental studies of high Reynolds number backward-facing step flows, Proc. 5.th Symposium Turbulent shear flows, Cornell Univ.
- Emiroglu, M.E. and Baylar, A.,** 2003a. The effect of broad-crested weir shape on air entrainment, Journal of Hydraulic Research, 41 (6) pp. 649–655.
- Emiroglu, M.E. and Baylar, A.,** 2003b. Experimental study of the influence of different weir types on the rate of air entrainment, Water Quality Research Journal of Canada, 38 (4) pp. 769–783.
- Escarameia, M.,** 2007. Investigating hydraulic removal of air from water pipelines. The institution of Civil Engineers Water Management I60, issue WMI, pg. 25-34.
- Gameson ALH.,** 1957. Weirs and aeration of rivers. J. Inst. Water Eng. 11.
- Gulliver, J. S., and Rindels, A. J.,** 1990. Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows JI of Environm Engrg, ASCE, 116(3), 503-523.
- Kalinske, A.A., Robertson, J.M.,** 1943. Closed conduit flow. Transactions, ASCE, 108, 1435-1447.
- Karpuzcu, M.,** 1991. Çevre Kirlenmesi Ve Kontrolü B. Ü. Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mortensen J. D.,** 2009. Factors Affecting Air Entrainment of Hydraulic Jumps within Closed Conduits, All Graduate Theses and Dissertations.Paper 531.
- Özkan F.,** 2005. Basınçlı Su Borularında Hava İletimi ve Oksijen Transferinin İncelenmesi, Doktora Tezi. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

- 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.
- Rabben S. L., Els, H., Rouve, G.,** 1983. Investigation on flow aeration at offsets downstream of high-head control structures. Proceedings of the 20th IAHR Congress, Moscow, USSR, 4, 354–360.
- Rajaratnam, N.,** 1967. Hydraulic jumps. Pages 197-280 in Advances in Hydrosience (CHOW, V. T., ed.). Academic Press, New York.
- Shamsai, A., Soleymanzadeh, R.,** 2006. Numerical simulation of air-water flow in bottom outlet, IJCE vol 4. No:1 pp.14-33.
- Sharma, H. R.,** 1976. Air-entrainment in high head gated conduits. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 102 (HY11), 1629–1646.
- Stahl, H., Hager, W.,** 1999. Hydraulics Jump in Circular pipes, Canadian J. Of Civil Engineering 26:368-73.
- Toombes, L. and Chanson, H.,** 2000. Air-Water Flow and Gas Transfer at Aeration Cascades: A Comparative Study of Smooth and Stepped Chutes, International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, 77–84, Zurich, Switzerland.
- 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).
- Ünsal, M., Tuğal, M., Özkan, F.,** 2005. Kapaklı Kondütlerde Boy Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi DAUM (Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi), Cilt No:3, Sayı No:3, 132-137.
- Ünsal, M.,** 2007. Suların havalandırılmasında yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kondütlerin kullanılması, Doktora Tezi. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ünsal, M. , Yılmaz, A. , Yücel, P.,** 2016. Dairesel Konduitlerde Hava Delik Çapının Hava Giriş Oranına Etkisinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (3), 99-102.

- Watson C. C., Walters R. W. and Hogan S. A.,** 1998. Aeration Performance of Low Drop Weirs, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE,124 pp. 65-71.
- Wisner, P.E., Mohsen, F.N., Kouwen, N.,** 1975. Removal of air from water lines by hydraulic means. J. Hydraulics Division ASCE 101(HY2), 243–257.
- Wood, I.R.,** 1991. Air entertainment in free-surface flows, IAHR hy-draulic structures design manual No:4 Balkerma,Rotterdam,The Netherlands.
- Yağcı, A.E.,** 2017. Venturili konduitin havalandırma performansının araştırılması , Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yücel, P.,** 2016. Dairesel konduitlerde hava delik çapının havalandırma performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Faruk DEMİRBAŞ 1988 yılında Elazığ’ da doğdu. İlköğretim ve orta öğretimi Elazığ’da tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği programından mezun oldu. 2010 yılından beri çeşitli pozisyonlarla özel sektörde çalışmıştır. Şu an Elazığ İl Özel İdaresi Yol ve Ulaşım Hiz. Müd. Biriminde çalışmaktadır. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik Bilim Dalında yüksek lisans öğrencisi olarak devam etmektedir.

