



**YÜKSEK HAVALANDIRMA VERİMİNE SAHİP SU JETİ
AĞIZLIKLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

İnşaat Müh. Begüm KANTARCI ONAY

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fahri ÖZKAN
OCAK-2017**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK HAVALANDIRMA VERİMİNE SAHİP SU JETİ AĞIZLIKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Begüm KANTARCI ONAY
(132139106)**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Hidrolik**

Danışman: Prof. Dr. Fahri ÖZKAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Ocak 2017

OCAK-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HAVALANDIRMA VERİMİNE SAHİP SU JETİ AĞIZLIKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Begüm KANTARCI ONAY

(132139106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Aralık 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Ocak 2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fahri ÖZKAN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mehmet ÜNSAL (K.S.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü)



OCAK-2017

ÖNSÖZ

Tez ve bilimsel anlamda bu çalışmayı yöneten ve çalışmalarım sırasında büyük desteğini ve emeğini gördüğüm danışman hocam Prof. Dr. Fahri ÖZKAN' a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmasının deneylerinin hazırlanması ve yapımı aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Alp Buğra AYDIN' a, Hidrolik Laboratuvarı teknisyenlerine ve bu süreçte göstermiş oldukları sabır ve desteklerinden dolayı annem Mediha KANTARCI' ya, babam Talip KANTARCI' ya ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Begüm KANTARCI ONAY
ELAZIĞ - 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	3
3. SULARIN HAVALANDIRILMASI	7
4. HAVALANDIRMA AMAÇLI KULLANILAN HİDROLİK YAPILAR	8
4.1. Havalandırma Amaçlı Kullanılan Serbest Yüzeyli Hidrolik Yapılar	10
4.1.1. Savaklar	10
4.1.1.2. Savakların Penetrasyon Derinliği ve Önemi	13
4.1.2. Basamaklı Kaskatlar	14
4.1.2.1. Sıçramalı Akım Rejimi	15
4.1.2.2. Nap Akım Rejimi	16
4.1.2.2. Nap Akım Rejimi	16
4.1.2.3. Geçiş Akım Rejimi	16
4.1.3. Serbest Yüzeyli Konduitler	17
4.2. Havalandırma Amaçlı Kullanılan Basınçlı Akım Sistemleri	18
4.2.1. Su Jetleri	18
4.2.1. Venturiler	19
4.2.3. Basınçlı Konduitler	20
5. MATERYAL VE METOT	22
5.1. Deneyin Yapılışı	29
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

Yeryüzünde canlı yaşamın sürdürülebilmesi suyun varlığına bağlıdır. Dünya nüfusunun hızla artması ve endüstrideki gelişmelerin etkisiyle çevreye bırakılan atıklar, doğal yaşamın en temel bileşeni olan suyun kirletilmesine yol açmıştır. Suyun kirlenmesiyle çözünmüş oksijen miktarı azalmakta ve bunun sonucunda su kalitesi düşmektedir. Suyun kalitesinin arttırılması, doğal yaşamın devamı için gereklidir. Su kalitesinin önemli parametrelerinden biri sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonudur. Suyun havalandırılması, çözünen oksijen miktarını ve dolayısıyla suyun kalitesini artırır. Havalandırma işlemiyle oksijen, fiziksel olarak yeniden suya kazandırılır.

Hidrolik yapılar sayesinde kısa sürede ve etkili bir biçimde oksijen transferi sağlanabilmektedir. Hidrolik yapılar ile sağlanan bu transfer, doğal ortamda havadan suya doğru kendiliğinden gerçekleşenden çok daha hızlı ve verimlidir. Bu çalışmada suların havalandırılmasında kullanılan yüksek havalandırma verimine sahip basınçlı su jetleri kullanılmıştır. Su jetleri için farklı tiplerde ağızlıklar geliştirilerek en iyi hava giriş oranı araştırılmıştır. Havalandırma performansı yüksek olan basınçlı su jetleri yardımıyla hava transfer verimi arttırılmaya çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda su jeti çarpma mesafesinin artmasıyla hava giriş oranının arttığı gözlemlenmiştir. Hava giriş oranı için en uygun su jeti ağızlık boyunun jet çapının dört katı (4D) ve en uygun hava delik çapının 4mm olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havalandırma, Su Jeti, Su Jeti Ağızlığı, Basınçlı Akım, Hava Giriş Oranı, Oksijen Transferi

SUMMARY

Development of Nozzles Possessed High Aeration Efficiency

The survivability of life on the earth is dependent on the presence of water. The rapid increase in the world population and industry based contamination have led to pollution of water which is the main component of natural world. The oxygen content in water and therefore, the quality of water gradually reduce due to the increasing of water pollution. The enhancement of water quality is crucial for the sustainability of natural life. Oxygen concentration is one of the prime indicator related to the quality of water. Aeration for water causes increase of oxygen content in water and thus, the quality of water increases. By this process, oxygen is physically supplied to water.

Oxygen transfer to water is efficiently performed using hydraulic systems. Hydraulic method is very rapid and effective for oxygen transfer in comparison to natural oxygen transfer. In this study, pressurized water jet which has high level efficiency for aeration of water was studied. In order to achieve the optimum oxygen solubility, various types of nozzles were investigated. Air transfer to water is studied to be enhanced using pressurized water jet.

According to this study, air transfer rate increases as the application distance of water jet increases. The optimum nozzle design for enhanced air transfer is achieved when the application distance of water jet becomes four times larger than the nozzle diameter. Moreover, the optimum air diameter is found as 4 mm based on the results.

Keywords: Aeration, Water Jet, Water Jet Nozzle, High-Head Flow, Entrainment Rate, Oxygen Transfer.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1. a-b Savaklar	9
Şekil 4.2. a-b Dolusavaklar	9
Şekil 4.3. Kapaklı eşik (batmış akım durumu)	9
Şekil 4.4. Kapaklı dipsavak	10
Şekil 4.5. a-f Hidrolik yapılarda meydana getirilen havalandırma örnekleri.....	11
Şekil 4.6. Şekil bakımından ince kenarlı savak tipleri	12
Şekil 4.7. a-d Savaklarda hava giriş mekanizmaları	13
Şekil 4.8. Fransa’ da 19 yy. da inşa edilmiş olan Chartrain ve Le Pont Kaskatları	14
Şekil 4.9. Düz dolu savak ile basamaklı dolu savağın oksijen transfer verimliliği yönünden karşılaştırılması	15
Şekil 4.10. Sıçramalı akım rejimi	15
Şekil 4.11. Nap akım rejimi	16
Şekil 4.12. Geçiş akım rejimi	16
Şekil 4.13. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım	17
Şekil 4.14. Su jeti tipleri	18
Şekil 4.15. Hava delikli ağızlıklar	19
Şekil 4.16. Bir venturi aygıtının görünümü	20
Şekil 4.17. Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı	20
Şekil 4.18. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım	20
Şekil 4.19. a-g Kapaklı konduit içerisinde oluşan iki fazlı akım rejimleri	21
Şekil 5.1. Dairesel kesitli, 2 hava delikli ağızlık boykesit ve enkesit örnek görünümü	22
Şekil 5.2. 2D, 4D ve 8D boyuna sahip ağızlıkların fotoğraf görünümü	23
Şekil 5.3. TESTO Model-435 anemometre fotoğraf görünümü	23
Şekil 5.4. Dijital göstergeli elektromanyetik debimetre fotoğraf görünümü	24
Şekil 5.5. Deney düzeneğinin şematik görünümü	24
Şekil 5.6. a-h Deney düzeneğine ve deneylerde kullanılan materyallere ait fotoğraflar ...	28
Şekil 6.1. a-c 2mm’lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi	31

Şekil 6.2. a-c 4mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi	33
Şekil 6.3. a-c 6mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi	34
Şekil 6.4. a-c 8mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi	36
Şekil 6.5. a-c 2mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi	38
Şekil 6.6. a-c 4mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi	39
Şekil 6.7. a-c 6mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi	41
Şekil 6.8. a-c 8mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi	42
Şekil 6.9. a-c 2D ağızlık boyu için hava delik çaplarının hava giriş oranlarına etkisi	44
Şekil 6.10. a-c 4D ağızlık boyu için hava delik çaplarının hava giriş oranlarına etkisi	46
Şekil 6.11. a-c 8D ağızlık boyu için hava delik çaplarının hava giriş oranlarına etkisi	48
Şekil 7.1. Reynolds Sayısına bağlı maksimum hava giriş oranı elde edilen ağızlığa ait grafik	50

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Hava-su gaz transferinin sıcaklığa olan bağımlılığı	6
--	---



SEMBOLLER LİSTESİ

A_w	: Dairesel ağızlık alanı (mm^2)
B	: Kaskat genişliği (m)
b	: Savak genişliği (m)
b_j	: Jet genişliği (m)
b_t	: Trapez savaklarda küçük tabanın genişliği (m)
D	: Dairesel ağızlık çapı (mm)
D_g	: Dairesel savağın genişliği (m)
d	: Jet kalınlığı (m)
d_A	: Hava kapanı bacası çapı (mm)
E_{20}	: 20 °C’ deki oksijen transfer verimi
F_j	: Jet Froude Sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H	: Suyun düşme yüksekliği (m)
h	: Basamak yüksekliği (m)
L	: Kanal uzunluğu (m)
L_j	: Su jeti boyu (m)
L_N	: Nozzle boyunun çapına oranı
L_s	: Basamaklı kaskat yapısının uzunluğu (m)
L_w	: Savak genişliği (m)
Q	: Savak debisi (m^3/s)
Q_H	: Hava debisi (m^3/s)
Q_s	: Su debisi (m^3/s)
q_j	: Birim genişlikten geçen debi ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
Re	: Reynolds Sayısı
r_{20}	: 20 °C sıcaklıktaki oksijen kayıp katsayısı
T_0	: Referans sıcaklığı
V	: Akışkanın hızı (m/sn)
V_A	: Hava debisinin hızı (m/sn)
V_j	: Su jeti hızı (m/sn)

V_w	: Su debisinin hızı (m/sn)
v	: Jet hızı (m/sn)
w	: Savak genişliği (m)
α	: Basamaklı kaskat yapıların açısı (derece)
ε	: Su jeti yüzey pürüzlüğü
μ	: Akışkanın dinamik vizkositesi
ρ	: Akışkanın yoğunluğu
ρ_{20}	: 20 °C sıcaklıktaki özgül kütle
σ	: Yüzey gerilmesi
θ	: Su jeti çarpma açısı (derece)
ν	: Akışkanın kinematik vizkositesi
ν_{20}	: 20 °C sıcaklıktaki kinematik vizkosite

1. GİRİŞ

Oksijen canlıların hayati fonksiyonlarını devam ettirebilmeleri için ihtiyaç duydukları en önemli maddelerden biridir. Canlılığın devam edebilmesi için oksijen şarttır. Oksijen doğada en yaygın olarak bulunan elementlerden birisi olup havanın da beşte birini oluşturmaktadır.

Canlı hayatın devam edebilmesi için oksijenin sadece havada bulunması yeterli değildir bunun yanı sıra diğer doğal kaynaklarda da yeterli ölçüde oksijenin bulunması gerekmektedir. Bu kaynakların en başında da canlılığın devamının bir diğer temel kaynağı olan su gelmektedir. Canlıların nehirler, ırmaklar, akarsular ve barajlardaki sulardan ihtiyaç duydukları suyu kullanabilmeleri için bu suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik boyutta belirli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu özellikler içerisinde en önemli yere sahip olanı ise kimyasal bir özellik diyebileceğimiz sudaki çözünmüş oksijen miktarıdır. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı çeşitli doğal ve yapay etkilerle azalabilmektedir. Bu azalma ekolojik dengeyi tehlikeye düşürmektedir. Ekolojik dengeyi koruyabilmek için akarsularda çözünmüş oksijen konsantrasyonu (5 mg/L) oranına sahip olmalıdır (Baylar, 2002). Her ne sebeple olursa olsun çözünmüş oksijen konsantrasyonu limit değerlerin altına düşmüş ise atmosferdeki oksijenin fiziksel olarak alınıp tekrar suya kazandırılarak çözünmüş oksijen konsantrasyonu limit değere ulaştırılmalıdır.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırmak için oksijen transferinin hızlandırılması gerekmektedir, bu hızlandırma çok miktarda hava kabarcığının su içerisine alınması ile sağlanır. Bu hava kabarcıkları sayesinde kütle transferi için mevcut olan yüzey alanı arttırılmış olur.

Akarsular üzerinde inşa edilecek olan hidrolik yapılar sayesinde havalandırma yapılarak atmosferdeki oksijenin suya kazandırılması mümkündür. Böylelikle suya hızlı bir şekilde oksijen transferi gerçekleştirilir. Hidrolik yapılarla yapılan havalandırmanın verimi (oksijen transferinin verimi) bazı ana parametrelere bağlıdır. Bu parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz; su sıcaklığı, su kalitesi, mansap su derinliği, hidrolik savak yükü, savak üzerindeki suyun düşü yüksekliği, savak tipi ve çözünmüş oksijen eksikliğidir. (Bagatur vd., 2002)

Akarsuların birçoğunda doğal yollardan oksijen transferi sağlamak için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç duyulurken, aynı akarsuların üzerinde yapılacak olan uygun bir hidrolik yapı ile bu transfer kısa bir mesafede ve uygun bir maliyette elde edilebilir.

Bir su jeti su dolu bir tankın yüzeyine çarptığı zaman hava kabarcıkları sürüklenabilir ve tank serbest yüzeyinin altına taşınabilir. Bu işlem daldırılan su jeti sürüklenmesi ve havalandırma olarak adlandırılır. Doğal süreçte nehirlerin, derelerin, şelalelerin ve savakların havalandırılmasında su jetleri hava sürükler, iyi bir etkileşim sağlar ve su bünyesinde hava kabarcıklarının dağılmasında önemli bir rol oynar. Daldırılan su jetleri çok çeşitli endüstriyel ve çevresel alanlarda kullanılmaktadır. Bu jetler gaz-sıvı transferini arttırmanın yanı sıra kimyasal karışımlarda da kullanılmıştır. Hidrolik yapılar içinde su jetlerinin birincil etkisi hava sürüklemektir (Bagatur vd., 2002).

Su jetlerinin hava sürüklemesi ve oksijen transferine katkıları konusunda birçok çalışma vardır; (Van de Sande ve Smith, 1973), (McKeogh ve Elsayy 1980), (McKeogh ve Ervine 1981), (Ohkawa vd., 1986).

Bu araştırmacılar hava sürüklenme etkisinin: nozzle çapı, su jeti hızı, nozzle boyunun çapına oranı, su jeti boyu, su jeti çarpma açısı, su jeti yüzey pürüzlülüğü gibi faktörlere bağlı olduğunu kabul etmişlerdir.

Bu çalışmada; su jetlerinin hava giriş miktarını ve oksijen transfer verimini arttırmak için dairesel kesitli su jeti ağızlıkları kullanılacaktır. Su jeti ağızlıkları vasıtasıyla yüksek basınçlı su akımı yani su jeti oluşturulur. Oluşan su jeti havayı da beraberinde sürükleyerek havanın su içerisine karışmasını sağlar. Su jeti şekilleri su içerisine sürüklenen hava miktarını etkileyen parametrelerden biridir. Bu durum su jetlerinde hava giriş mekanizmalarının farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada farklı özelliklere sahip ağızlıkların havalandırma verimine etkisi incelenmiştir. Farklı debi değerleri için ağızlık uzunlukları, çarpan jet uzunlukları, hava delik çapları değiştirilmiş ve emilen hava miktarındaki değişime bağlı olarak havalandırma verimleri tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı ise jet ağızlık uzunlukları değişiminin ve hava delik çapı değişimlerinin havalandırma verimine etkisinin araştırılmasıdır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Azalan oksijen konsantrasyonunu limit değerlere ulaştırmak ekolojik sistem için oldukça önemlidir. Çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması, oksijen transferinin hızlanmasını sağlayacaktır. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut olan yüzey alanının arttırılmasını sağlar. Bundan dolayı havalandırma performansının artışı oksijen transfer verimini de arttıracaktır. Bu amaçla kullanılan birçok havalandırma yöntemi vardır. En verimli ve ekonomik havalandırma yöntemini belirlemek amacıyla araştırmacılar birçok çalışma yapmışlardır.

Havalandırma amaçlı yapılan hidrolik yapılar ve suların havalandırılması konusunda, (Tsang, 1987), (Chanson, 1995), (Nakasone, 1987), (Wormleaton ve Tsang, 2000), (Wormleaton ve Soufiani, 1998), (Baylar ve Emiroğlu, 2007), (Emiroğlu ve Baylar, 2003), (Özkan vd., 2009), (Grindron, 1962), (Albrecht, 1968), (Ünsal vd., 2005), (Cummings ve Chanson, 1997a, 1997b), (Kobus ve Koschizky, 1991), (Bin, 1993), (Gulliver ve Rindels, 1990) önemli çalışmalar yapmışlardır.

Aşağıda havalandırma amaçlı yapılan hidrolik yapılar ve suların havalandırılması konusunda yapılan çalışmaların içeriği ve elde edilen sonuçları hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

- ❖ Nakasone (1987), kaskatlarda ve savaklardaki havalandırma hakkında çalışmalar yürütmüştür. Yazar savak havalandırılmasında düşme yüksekliğinin, debi ve kuyruk suyu derinliğinin önemi üzerinde durmuştur. Penetrasyon derinliğinin oksijen transferi verimi üzerindeki önemini vurgulayarak deneylerini elde ettiği bu veriler paralelinde yürüttüğünü söylemiştir.
- ❖ Özkan vd. (2009), venturiler ve yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin hava giriş ve oksijen transferi (havalandırma) performanslarını kıyaslamışlardır. Gözlemlerinin sonucunda venturilerin küçük Reynold sayılarında, yüksek basınçlı konduitlerin ise Reynold sayısının artması ile hava giriş ve havalandırma performansları açısından uygun görüldüğü tespit edilmiştir.
- ❖ McKeogh ve Ervine (1981), sıvıya dalan jetlerin yayılışını ve hava sürüklenme oranlarını incelemek üzere bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmalarının birinci

kısımında jetlerin sürüklediği havanın oranını belirleyen etkenleri incelemişlerdir. Bu etkenler; jetin hızı, jetin çapı, jetin türbülans seviyesi (düz türbülans, çok pürüzlü türbülans) ve ağızlığın ucundan jetin düştüğü yüksekliktir. Hava sürüklenmesinin oranını hesaplamada bu dört etkenin de önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

- ❖ McKeogh ve Ervine (1981), ikinci kısımda ise düz ve pürüzlü jetlerin iki fazlı akım ortamında yayılma bölgelerinin kapsamını inceleyip, her iki jet modelinin de mansap havuzunda çok farklı sürüklenme modelleri ürettiklerini ifade etmişlerdir.
- ❖ Baylar (2003); Emiroğlu ve Baylar (2003), dairesel ağızlık üzerine hava delikleri yerleştirerek farklı ağızlık tipleri elde etmiş ve bu yeni ağızlık tiplerinin mansap havuzundaki hava giriş verimine etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda, elde ettikleri yeni ağızlıklar ile klasik olarak kullanılan dairesel ağızlıktan daha yüksek hava giriş verimi elde ettiklerini ifade etmişlerdir.
- ❖ Baylar (2003); Emiroğlu ve Baylar (2003), farklı tiplerdeki savakların hava sürüklenme hızı üzerine yürüttükleri çalışmalarında ise savakların sahip olduğu hava sürüklenme hızlı değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğunu göstermişlerdir. Labirent savakların hava sürüklenme hız değerini tespit edebilmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır.
- ❖ Grindron (1962) ve Albrecht (1968), havalandırmanın etkisinin kuyruk suyu derinliğinin artmasıyla birlikte artış göstereceğini işaret etmişlerdir.
- ❖ Ünsal vd. (2005), dikdörtgen kesitli kapaklı konduitlerde havalandırma performansını inceleyerek küçük kapak açıklığı değerlerinde boru boyu arttıkça hava emme performansının da arttığını gözlemlemişlerdir. Fakat kısa borularda ise kapak açıklığı değerinin artırılmasıyla en yüksek hava emme performansı meydana gelmiştir.
- ❖ Nakasone (1987), hava kabarcıklarının, enerji kırıcı havuzun tabanına erişmesi ya da erişmemesi durumunu incelemiştir. Araştırmacı, kuyruk suyu derinliğinin, düşme yüksekliğinin 2/3'ü kadar olası gerektiğini önermiştir. Ayrıca, penetrasyon derinliği ve serbest düşen jetin genişliğinin, her bir savak çeşidi ve şekli için farklı olacağını söylemiş ve penetrasyon derinliğini, sadece düşme yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak vermenin doğru olmayacağını ileri sürmüştür.

- ❖ Cummings ve Chanson (1997a, 1997b), suya dalan jetin yarattığı akım alanındaki hava sürüklemesi ile alakalı teorik bir çalışma yapmışlardır. Birçok mühendislik uygulamalarında hava-su kabarcık akımları kıyas edilmiştir. Bunların çeşitlerinden biri, suya dalan jetin oluşturduğu akım bölgesidir. Suya dalan jetin sürüklediği havayı, üzerinde çalıştıkları yeni deneysel çalışmalar ışığında incelemişler ve sonrasında suya dalan iki boyutlu ve dairesel jetlerin oluşturduğu akım alanlarında hava kabarcıklarının dağılmasını analitik olarak inceleyerek, analiz etmişlerdir. Teorik gelişmeler ile suya dalan iki boyutlu ve dairesel jetlerle yapılan deneylerin verilerini kıyaslamışlardır. Cummings ve Chanson (1997a, 1997b), bu çalışmaları ile jetin çarpma hızına bağlı olarak dalma noktasındaki hava sürüklemesini aydınlatmaya çalışmışlar ve bu çalışmalarının sonucunda da kesme tabakasının içinde bulunan hava kabarcıklarının yayılmasının aslında bir advectif yayılma olduğunu göstermişlerdir.
- ❖ Kobus ve Koschizky (1991), yeniden oksijen kazanımı yönteminin, hava sürüklenmesinin mekaniğini kapsayan üç ardışık evreden meydana geldiğini açıklamışlardır. Bu evreler; hava girişinin olduğu ve sonlandığı yerden hava taşınımının mekaniği, çözelti içinde bulunan hava kabarcıklarından oksijen transferidir. Birinci ve ikinci evre sadece hidromekaniğe dayanmakla birlikte, üçüncü evrenin ise suyun özelliklerine; sıcaklık, tuzluluk, ilk çözünmüş oksijen içeriği ve suyun kirlilik derecesine bağlı olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir.
- ❖ Bin (1993), sıvıya dalan jetin gazı sürüklemesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, suya dalan jetin sürüklediği gaz ile alakalı yapılmış, elde mevcut olan bütün deneysel ve teorik çalışmaların sonuçlarını derlemiş ve kapsamlı olarak sunmuştur. Aynı zamanda yazar; sürüklenmenin başlangıcı ve mekanizması, sürüklenen gazın miktarı, kabarcık yayılmasının karakteristiği (kabarcık boyutu, kabarcığın penetrasyon derinliği, gaz engeli ve kabarcık kalma zamanı) ve kütle transferi ile ilgili de görüşünü beyan etmiştir. Araştırmacı; sürüklenmeyi karakterize eden uygun niceliklerin tahmin edilebilmesine olanak sağlayan ampirik korelasyonların bulunduğu çalışmaları da yürütmüştür.

Birçok araştırmacı tarafından sıcaklığın sudaki gaz transferine etkisi incelenmiştir (Tablo 2.1). Çünkü sıcaklık, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun değişimini

belirleyen en önemli parametrelerden biridir. (Tablo 2.1)' de verilen sıcaklık değerleri Kelvin cinsindendir. Gulliver ve Rindels (1990), formülü daha genel ve kullanılan bir formül olmuştur.

Tablo 2.1. Hava-su gaz transferinin sıcaklığa olan bağımlılığı (Küçükali, 2002).

Referans	Sıcaklığa Bağımlılığı	Açıklamalar
GAMESON ve diğerleri (1958)	$\frac{Ln(r_T)}{Ln(r_{15})} = 1 + 0,027 * (T - 288,15)$	273.15<T<313.15 Oksijen Transferi
ELMORE ve WEST (1961)	$\frac{Ln(r_T)}{Ln(r_{20})} = 1.0241^{(T-293,15)}$	278.15<T<303.15 Oksijen Transferi.
HOLLER (1971)	$\frac{Ln(r_T)}{Ln(r_{T_0})} = \theta^{(T-T_0)}$	θ , 1.014 ile 1.047 arasında. Oksijen Transferi
ESSERY ve diğerleri (1978)	$(r_T-1)=(r_{20}-1)*[1+0.0335*(T-293.15)]$	283.15<T<303.15 Oksijen Transferi.
DANIIL ve GULLİVER (1988)	$\frac{Ln(r_T)}{Ln(r_{20})} = \sqrt{\frac{T}{293}} * \frac{\nu_{20}}{\nu} * \sqrt{\frac{\rho_{20}}{\rho}}$	273.15<T<313.15 Gaz transferi sıvının kontrolünde.
GULLİVER ve diğerleri (1990)	$\frac{Ln(r_T)}{Ln(r_{T_0})} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} * \left(\frac{\mu_{T_0}}{\mu_T}\right)^{3/4} * \left(\frac{\rho_{T_0}}{\rho_T}\right)^{17/20} * \left(\frac{\sigma_{T_0}}{\sigma_T}\right)^{3/5}$	273.15<T<313.15 Gaz transferi sıvının kontrolünde.
DANIIL ve diğerleri (1991)	$\frac{Ln(r_T)}{Ln(r_{20})} = 1 + 0.02103 * (T - 273,15) + 8.261 E - 5 * (T - 273,15)^2$	273.15<T<313.15

Burada; T_0 , Referans sıcaklığı, r_{20} , 20 °C sıcaklıktaki oksijen kayıp katsayısı, ν_{20} , 20 °C sıcaklıktaki kinematik viskozite, σ , yüzey gerilmesi, ρ_{20} , 20 °C sıcaklıktaki özgül kütle olarak ifade edilmiştir.

3. SULARIN HAVALANDIRILMASI

Havalandırma kavramı

Havanın su ile temas yüzeyini arttırarak, suyun fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan doğal ya da yapay metoda havalandırma denir. Havalandırma yapılarak sudaki çözünmüş gaz oranı değiştirilebilir, tadı ve kokusu hafifletilebilir. Bu işlemler su içerisinde türbülans yaratılarak gerçekleştirilebilir (Emiroğlu ve Baylar, 2003). Canlı yaşamı için gerekli olan fiziksel olayların tamamı suyun sahip olduğu özellikler ile gerçekleşmektedir. Canlılığın devamı için önemli olan suyun, miktarı, saflığı ve kalitesi oldukça önem arz etmektedir. Su kalitesini belirleyen parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- ❖ **Fiziksel parametreler:** Sıcaklık, yoğunluk, koku ve tat, viskozite, bulanıklık, renk, çözünmüş katı madde, askıdaki katı maddeler, radyoaktivite ve elektriksel iletkenlik;
- ❖ **Kimyasal parametreler:** Oksitlenme, asitlik, pH, sertlik, alkalilik, çözünmüş oksijen, klorür, nitrojen, fosfat;
- ❖ **Biyolojik parametreler:** Bakteri, virüs, mantar, protozoa, alg ve rotifers (Novak vd., 2010).

Havalandırma işleminin amaçları

Havalandırma, genel olarak suyun karakteristik özelliklerini iyileştirmek için kullanılır (Emiroğlu ve Baylar, 2003). Suların iyileştirilmesinde hedeflenen amaçlar şunlardır;

- ❖ Suyun çözünmüş oksijen (O_2) içeriğini arttırmak (oksijen kazandırmak)
- ❖ Karbondioksit (CO_2) gidermek veya kazandırmak
- ❖ Metanı (CH_4) gidermek
- ❖ Hidrojen sülfür (H_2S) gidermek
- ❖ Bazı uçucu organik bileşikler bertaraf etmek (Twort vd., 1994)

Havalandırma yapılarak suların neden olabileceği zararlı etkilerden de uzaklaşma sağlanabilir. Örneğin; suyun içerisindeki yüksek karbondioksit oranı suyun aşındırıcılığını arttırmaktadır. Bunun için sudaki karbondioksit oranını düşürmek ve böylelikle pH değerini yükseltmek suyun aşındırıcılığını azaltacaktır (Emiroğlu ve Baylar, 2003).

4. HAVALANDIRMA AMAÇLI KULLANILAN HİDROLİK YAPILAR

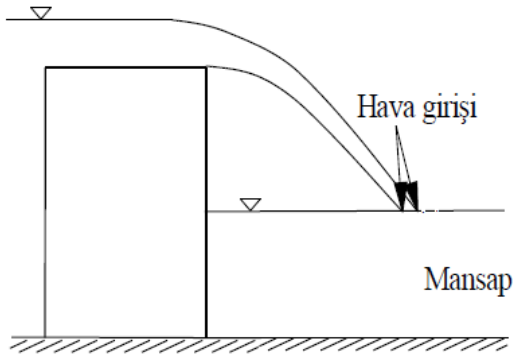
Havalandırma amaçlı kullanılan hidrolik yapılar, serbest yüzeyli ve basınçlı akım sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Sıvı üst yüzeyine yalnız atmosfer basıncının etki ettiği; nehir akımları, kanal ve kapalı yatakları tamamen doldurmayan akımlar serbest yüzeyli akımlar olarak adlandırılabilir. Serbest yüzeyli hidrolik yapılara verebileceğimiz örnekler savaklar, basamaklı kaskatlar ve serbest yüzeyli konduitlerdir.

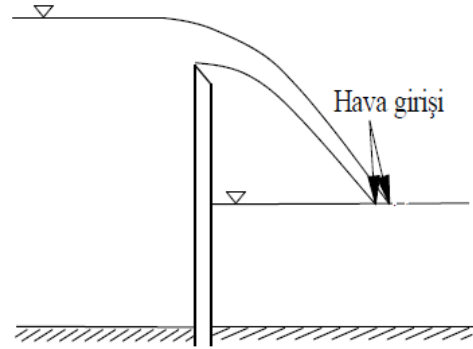
Serbest yüzeyinin bulunmadığı, yani atmosferle teması olmayan ve en kesitin tamamen dolu aktığı akımlara basınçlı akımlar adı verilmektedir. Basınçlı akımlara sahip hidrolik yapıların herhangi bir yerinde oluşacak bir delikten içerisinde bulunan su basınçlı olarak dışarıya çıkacaktır. Basınçlı akımlar; tünel, boru, galeri ve kuyu gibi yapılarda görülebilir. Suların havalandırılmasında kullanılabilecek basınçlı akım sistemlerine su jetleri, basınçlı konduitler, venturiler ve nozzle örnek olarak verilebilir.

Akarsu şartları (yeri, büyüklüğü vs.) ve akım tipi göz önüne alınarak en uygun hidrolik yapı tercih edilmelidir. Örneğin; Şekil 4.1 ve 4.2 de görülen savak tiplerinde, suyun mambadan mansaba düşü yüksekliğinin kritik bir değeri aşmasıyla birlikte serbest düşen su jeti parçacıklar haline gelmiş ve mansapta küçük bir penetrasyon (nüfuz) derinliği oluşturmuştur. Bunun sonucunda hava kabarcıkları ile mansap suyu daha az temas haline girmiş ve oksijen transfer veriminin artış oranı azalmıştır. Bu parçacıklanma nedeni ile büyük düşü yüksekliğine sahip yerlerde bu tip savak tercih edilmesi uygun değildir. (Baylar, 2002)

Memba

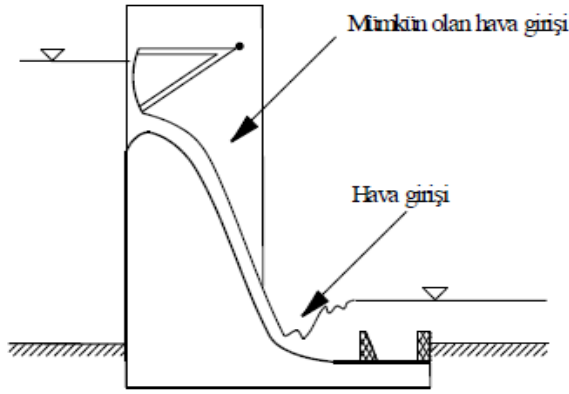


a) Kalın kenarlı savak

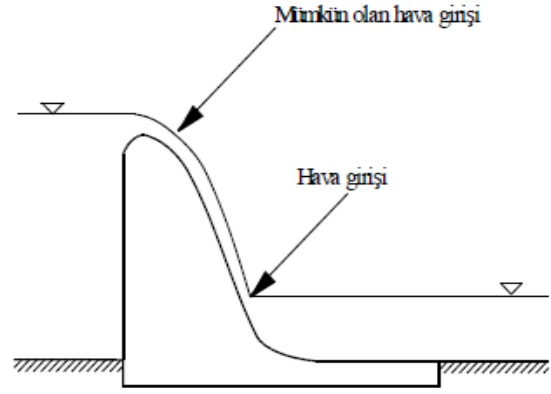


b) İnce kenarlı savak

Şekil 4.1. (a-b) Savaklar



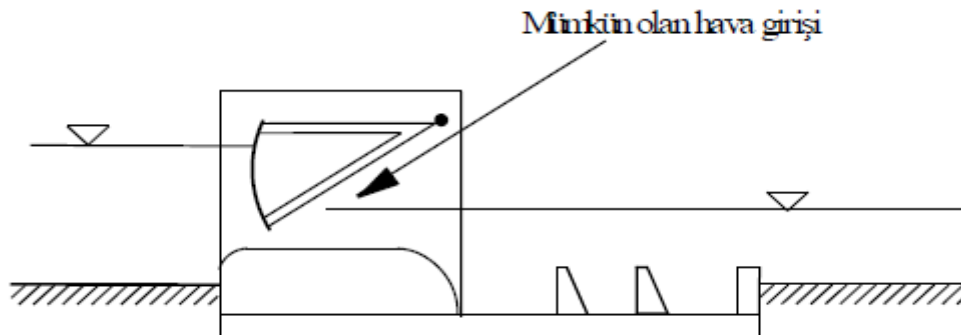
a) Kapaklı dolusavak



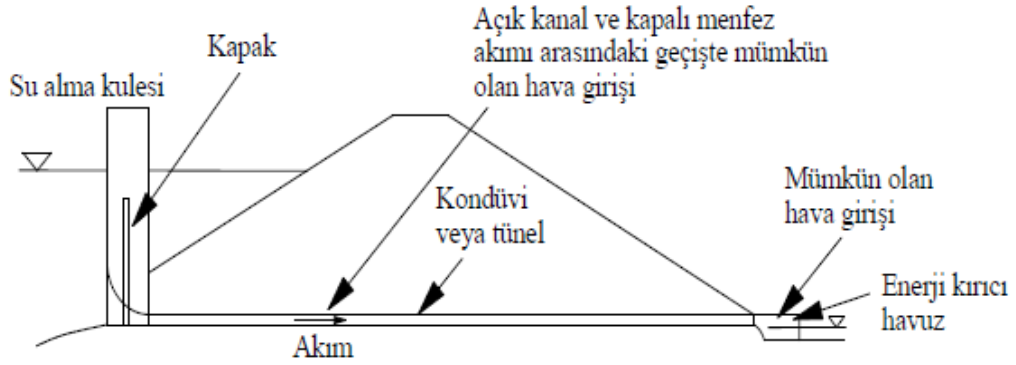
b) Kapaksız dolusavak

Şekil 4.2. (a-b) Dolusavaklar (Baylar, 2002).

Batmış akım durumunun olduğu bir kapalı eşikte hava girişi az olduğundan oksijen transferi de az olacaktır bu tip bir akım şartını oluşturacak türden yapı yapılması uygun değildir (Şekil 4.3) (Baylar, 2002).



Şekil 4.3. Kapaklı eşik (batmış akım durumu) (Baylar, 2002).



Şekil 4.4. Kapaklı dipsavak (Baylar, 2002).

4.1. Havalandırma Amaçlı Kullanılan Serbest Yüzeyli Hidrolik Yapılar

Bir akışkanın yüzeyinde kayma gerilmesinin sıfır ve normal gerilmenin sabit olduğu yüzey bölgesine, serbest yüzey denir. Yani akımı sınırlayan yüzeylerden birine sabit bir basınç etkiliyorsa, bu akım serbest yüzeyli olarak adlandırılır. Bu sabit basınç genellikle atmosfer basıncıdır. Sıvı üst yüzeyine yalnız atmosfer basıncının etki ettiği; kanal, nehir ve kapalı yatakları tamamen doldurmayan akımlar serbest yüzeyli akım örnekleridir.

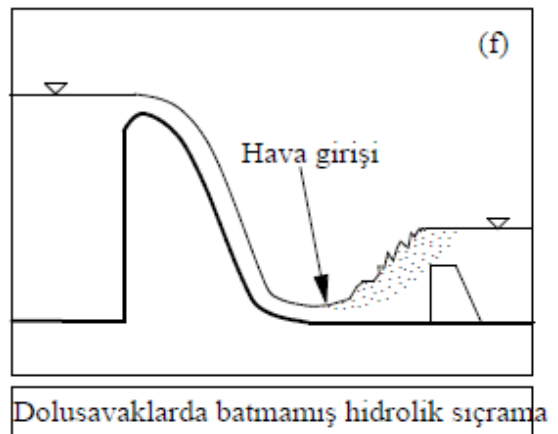
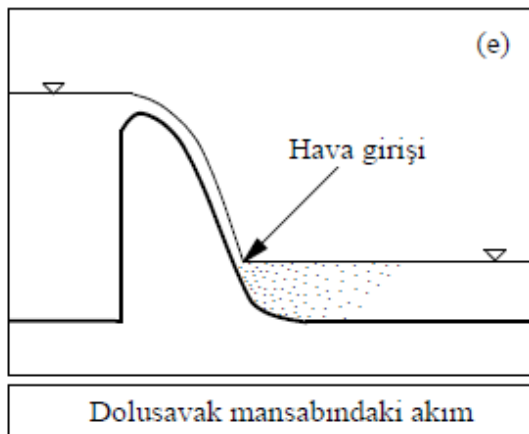
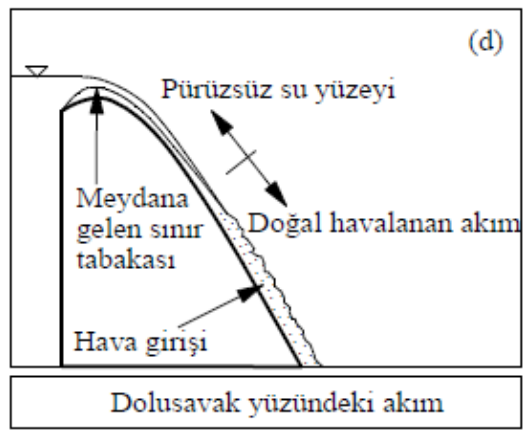
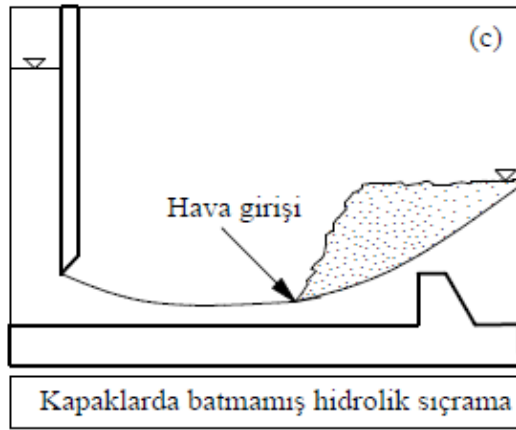
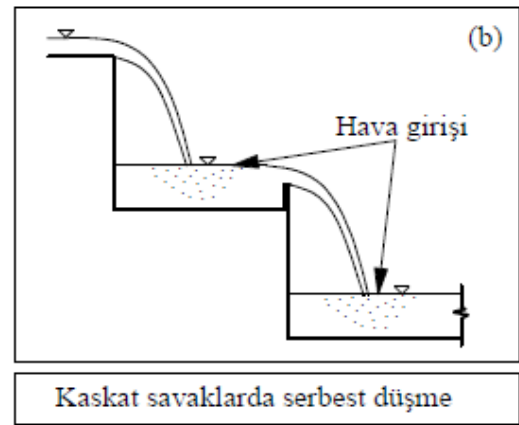
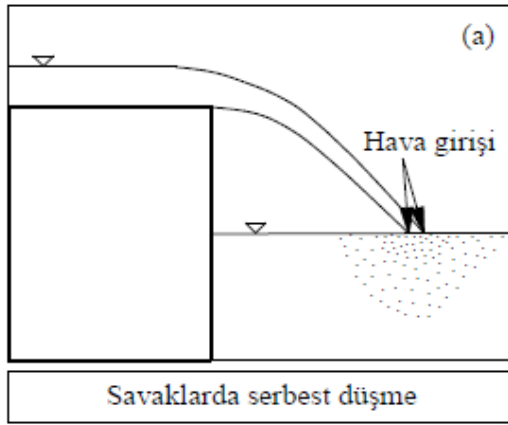
Aşağıda serbest yüzeyli akım sistemleri olan savaklar, basamaklı kaskatlar ve serbest yüzeyli konduitlerin hava giriş mekanizmaları hakkında bilgi verilmiştir.

4.1.1. Savaklar

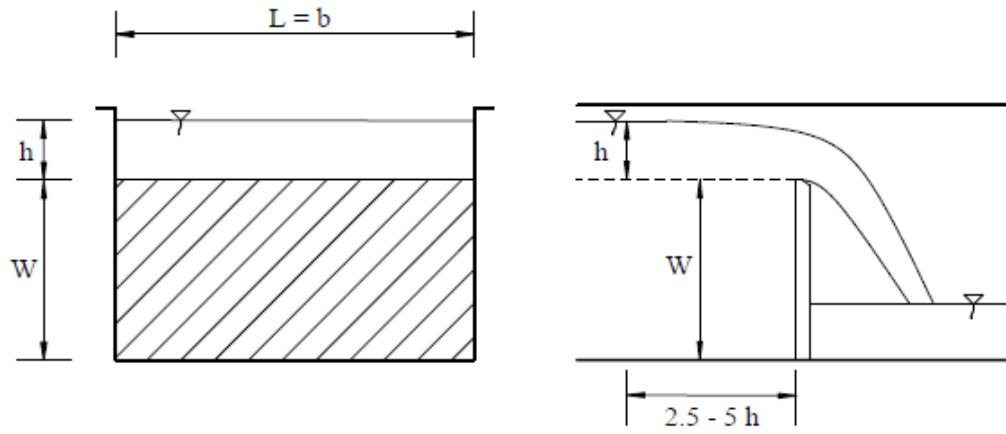
Savaklar, açık kanallarda, akarsularda ve çeşitli su yapılarında debi ölçmek, akımı kontrol etmek veya akımın yönünü değiştirmek için inşa edilen sabit ya da hareketli su yapılarıdır.

Suyun savak üzerinden mansap havuzuna dökülürken atmosferdeki havanın suyla birlikte mansap havuzuna sürüklenmesi ile birlikte savaklarda hava girişi meydana gelir Şekil 4.5 (a-f). Kabarcıklar halinde mansap havuzuna aktarılan hava, kütle transferini sağlamak için yüzey alanını artırır ve oksijen transferinin gerçekleşmesini sağlar.

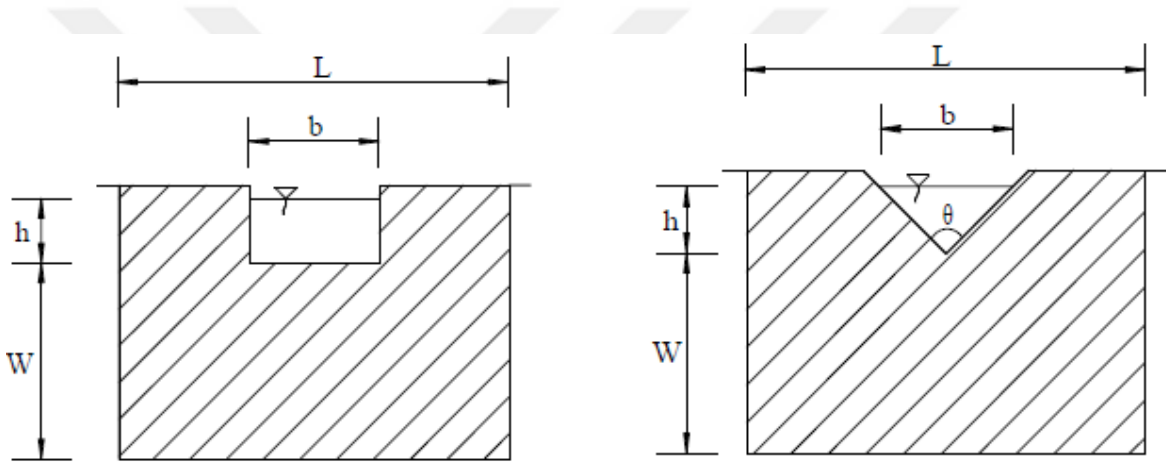
Savaklar çeşitli tiplerde olabilirler. İnce kenarlı, kalın eşikli, dik memba veya mansap tarafına eğik, yanlarından büzülmüş ya da büzülmemiş olabilirler. Şekil bakımından savaklar ise üçgen, dikdörtgen, trapez ve daire şeklinde olabilirler (Şekil 4.6) (Baylar vd., 2007).



Şekil 4.5. (a-f) Hidrolik yapılarda meydana getirilen havalandırma örnekleri (Baylar, 2002).

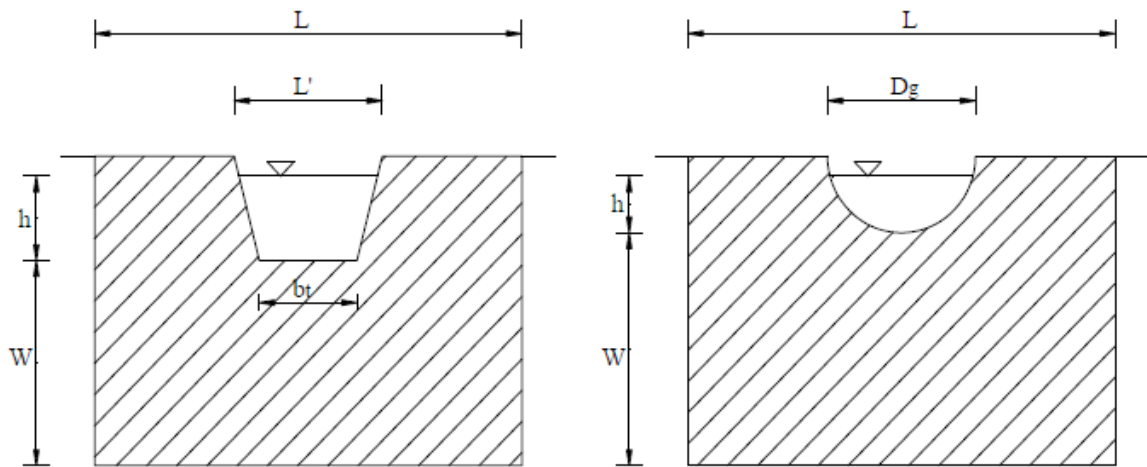


a) Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak



b) Yanal büzölmeli dikdörtgen şekilli savak

c) Üçgen şekilli savak



d) Trapez şekilli savak

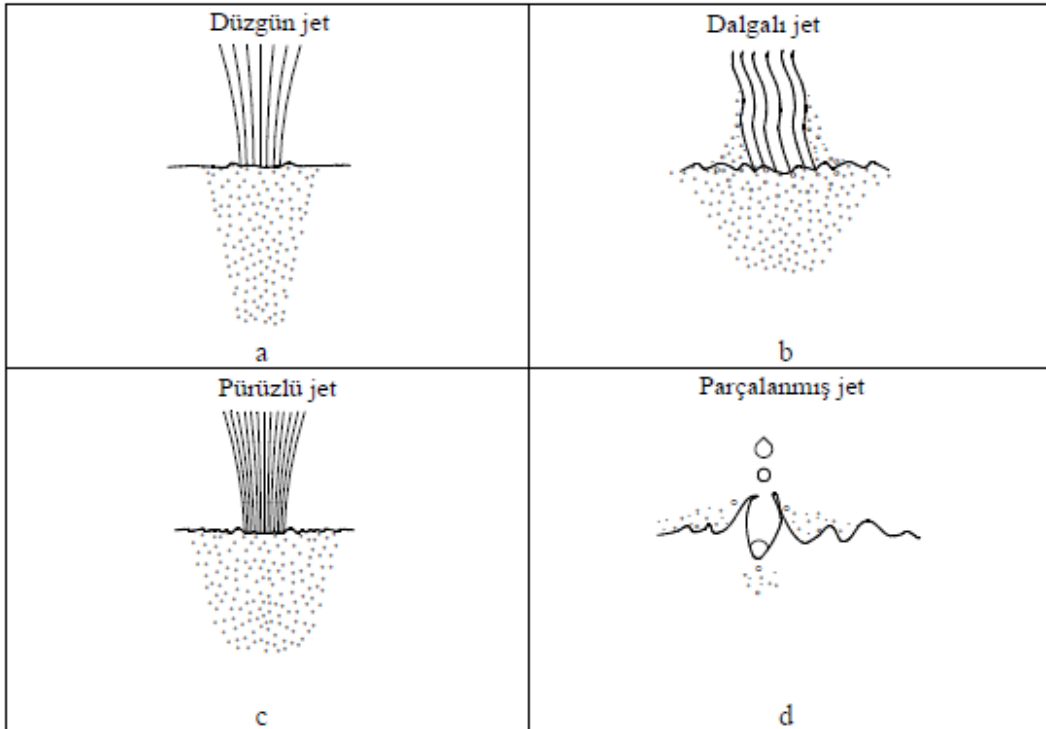
e) Dairesel şekilli savak

Şekil 4.6. (a-e) Şekil bakımından ince kenarlı savak tipleri (Baylar, 2002).

4.1.1.2. Savakların Penetrasyon Derinliği ve Önemi

Suyun savak üzerinden mansap havuzuna dökülürken oluşturduğu su jeti şekli oldukça önemlidir. Bu su jeti şekli penetrasyon derinliğini doğrudan etkilemektedir. Su jeti ile mansap havuzuna sürüklenen kabarcıklar mansap havuzunda iki fazlı akım bölgesi oluşturmakta ve belirli bir derinliğe kadar inebilmektedir. Penetrasyon derinliği, kabarcıkların inebildiği derinlik ile su yüzeyi arasındaki düşey mesafe olarak hesaplanır.

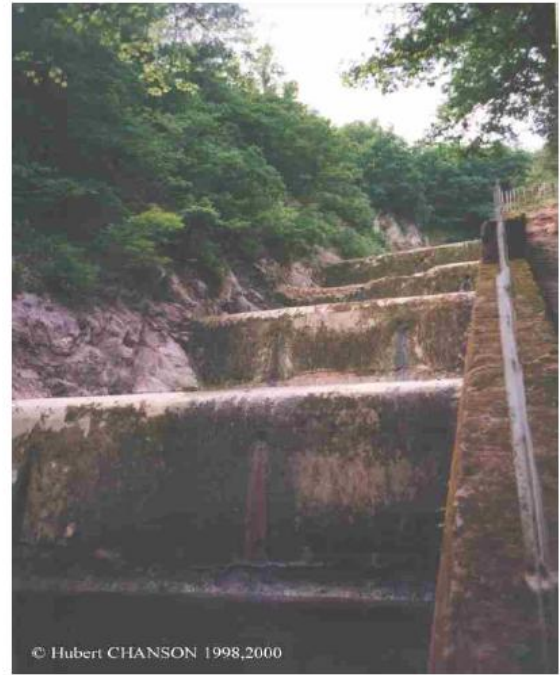
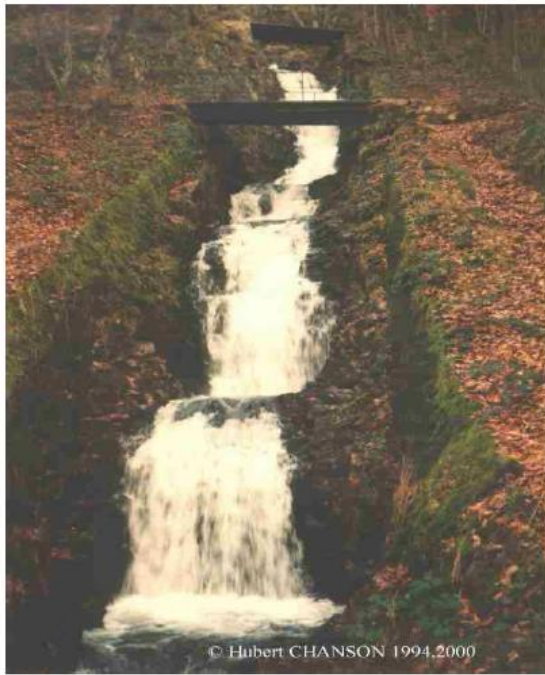
Debi, düşme yüksekliği, savak şekli ve savak tipi penetrasyon derinliğini etkileyen faktörlerdendir. Özellikle düşme yüksekliği penetrasyon derinliği ile yakından ilişkilidir. Penetrasyon derinlikleri küçük düşme yüksekliklerinde az olurken, çok büyük düşme yüksekliklerinde ise, jette kırılmalara ve parçalanmalara neden olmaktadır (Şekil 4.7). Jette kırılmanın ve parçalanmaların etkisiyle penetrasyon derinliği azalmakta ve bunun sonucunda mansap havuzuna nüfuz eden hava kabarcıkları büyük ölçüde azalmaktadır. Mansap havuzuna sürüklenen hava kabarcıkları veriminin yüksek olması için, debiye bağlı olarak en uygun düşme yüksekliği seçilmelidir.



Şekil 4.7. (a-d) Savaklarda hava giriş mekanizmaları (Avery ve Novak, 1978)

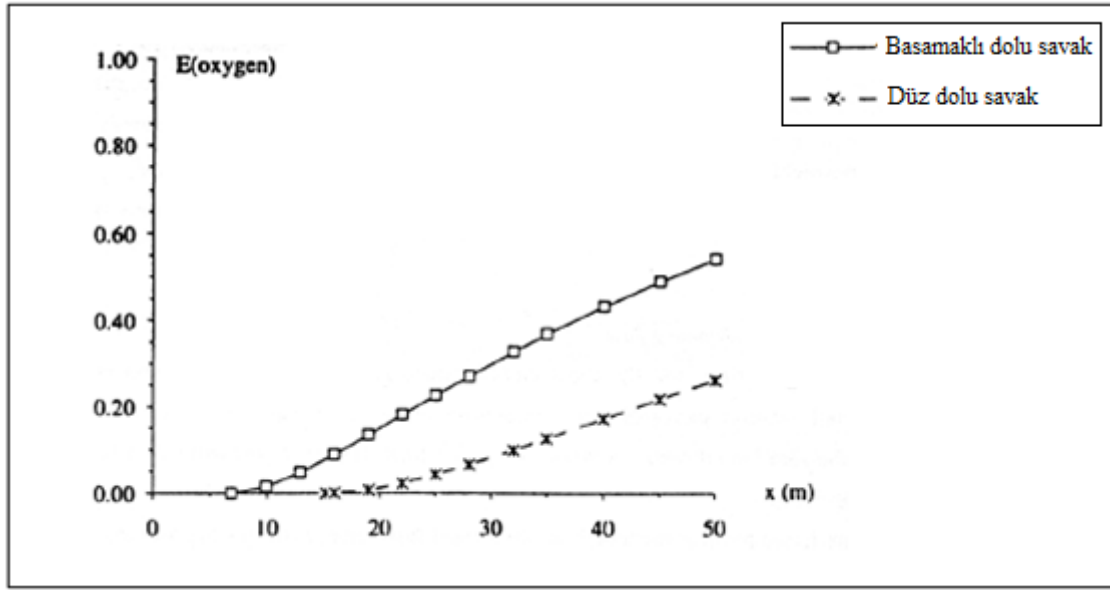
4.1.2. Basamaklı Kaskatlar

Akarsularda oksijen transferi açısından yaygın olarak kullanılan yapılardan biri de basamaklı yapılardır. Bu yapılar üzerinden akımın aktarılması ile oksijen kazanımı sağlanır. Basamaklı yapı sistemleri havalandırmanın yanı sıra enerji sönümleme yapıları olarak da kullanılmaktadır. Basamaklı yapılar eski tarihlerden bu yana yaygın olarak kullanımını sürdürmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Fransa’da 19 yy. da inşa edilmiş olan Chartrain ve Le Pont Kaskatları (Küçükali, 2002).

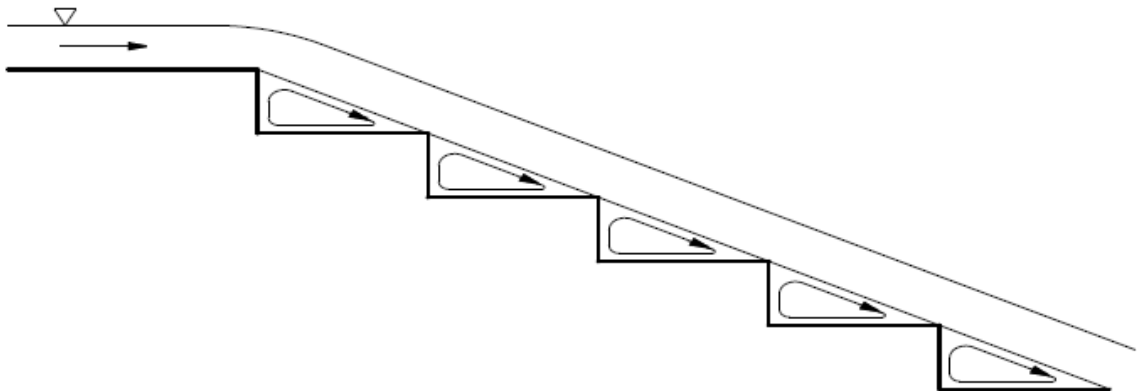
Mühendislikte, basamaklı kaskat yapıları, havalandırma yapıları olarak bilinmektedir. Basamaklı havalandırma yapıları, eğimli düz kanallara göre çok daha fazla oksijen verimi sağlamaktadırlar. Şekil 4.9’de düz dolu savak ile basamaklı dolu savağın oksijen transfer verimi açısından karşılaştırılması verilmiştir (Küçükali, 2002). Basamaklı kaskatlardaki akımın özelliği, yüksek seviyede türbülans içermesi ve su içerisine büyük miktarda hava girişini sağlamasıdır. Bu yüksek seviyedeki türbülans, suyun mambadan mansaba iletilirken basamaklardan geçmesi ile elde edilir. Basamaklı kaskatların üzerinde oluşan akım rejimine göre hava giriş miktarları değişiklik göstermektedir. Basamaklı kaskatlar üzerinde sıçramalı, nap ve geçiş akımı olarak üç farklı akım rejimi oluşmaktadır. Bu akım rejimlerinin çeşitliliğine bağlı olarak, her birinde farklı oksijen transfer verimi meydana gelecektir.



Şekil 4.9. Düz dolu savak ile basamaklı dolu savağın oksijen transfer verimliliği yönünden karşılaştırılması (Küçükali, 2002).

4.1.2.1. Sıçramalı Akım Rejimi

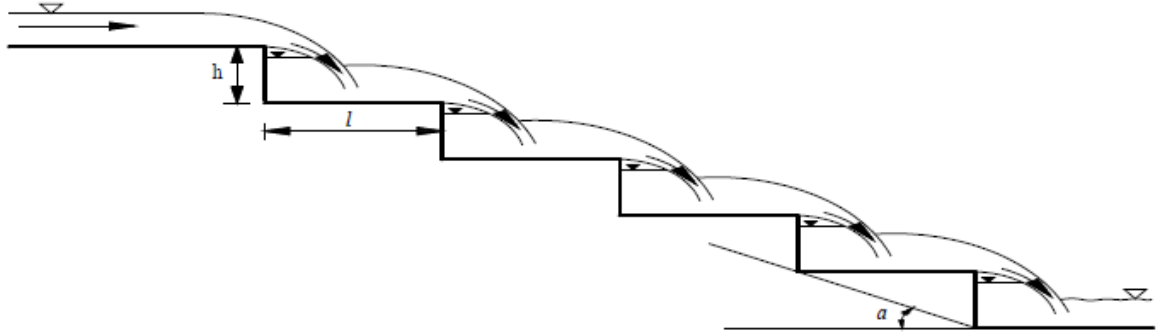
Sıçramalı akım rejiminde, akım yapının eğimi yönünde ilerlemektedir ve akım basamaklar üzerinden geçerken hidrolik sıçrama oluşturmamaktadır. Basamaklarda çeviriler oluşmaktadır. İlk basamaklarda akımda büyük değişimler ve hava girişi olmamakla birlikte, sonraki basamaklarda basamak başlarında oluşan çevirilerin gösterdiği etki ile suda kuvvetli hava girişi meydana gelir (Şekil 4.10) (Küçükali, 2002).



Şekil 4.10. Sıçramalı akım rejimi

4.1.2.2. Nap Akım Rejimi

Nap akımı rejiminde, basamak genişliği sıçramalı akım rejimindekine göre daha büyüktür. Nap akımında, akım her bir basamağa su jeti gibi çarpar ve her basamakta hidrolik sıçrama meydana gelir (Şekil 4.11).

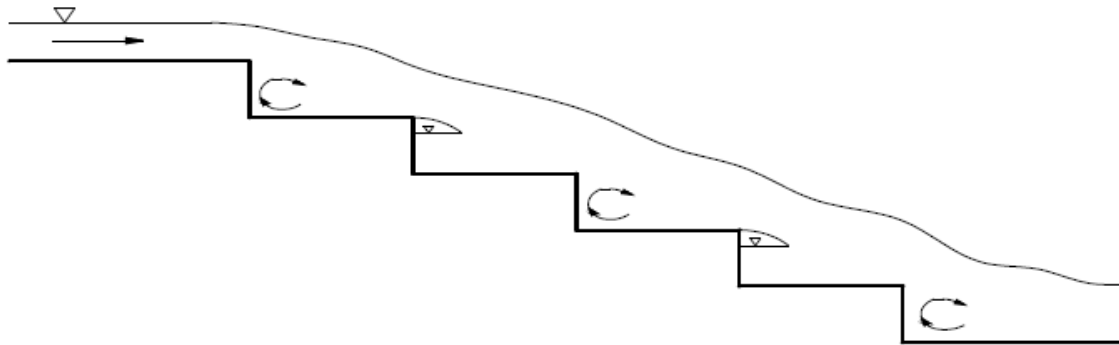


Şekil 4.11. Nap akım rejimi

Nap akım rejiminde, kanal uzunluğu ve debi havalandırmaya etki eden en önemli değişkenlerdir. Sıçramalı akım rejiminde, basamak sayısının ve kanal eğiminin havalandırma verim katsayısına fazla bir etkisinin olmaması ile beraber serbest yüzey havalandırması gerçekleşinceye kadar havalandırma verim katsayısı sıfıra yakın bir değer alır ve oksijen transferi baraj yüksekliğinin artmasıyla önemli bir artış gösterir. Sıçramalı akım rejiminde, yüksek havalandırma katsayıları düşük debilerde elde edilmiştir.

Sonuç olarak, sıçramalı akım rejiminde debinin artmasıyla hava-su gaz transferi azalış gösterirken, nap akım rejiminde ise debinin artmasıyla hava-su gaz transferi artış gösterir.

4.1.2.3. Geçiş Akım Rejimi



Şekil 4.12. Geçiş akım rejimi

Havalandırma konusunda yapılan araştırmalara göre basamaklı kaskat yapılarında en yüksek verim 20° ile 25° arasındaki kaskat açılarında elde edilmektedir. Optimal olarak 22° açı değeri uygunluk sağlamaktadır. Bu konuda yapılan diğer çalışmalarda birim debi, basamak yüksekliği gibi diğer faktörlerde göz önüne alınarak havalandırma verimi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Çalışmalar sonucunda basamaklı kaskatlardaki bir bireysel basamağın havalandırma verimini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik verilmiştir (Bagatur, 2008):

$$E_{1(20)} = 1 - \exp [-5,730 q^{-0,0335} h^{0,998} (\cos \alpha)^{12,042} (\sin \alpha)^{1,590}] \quad (4.1)$$

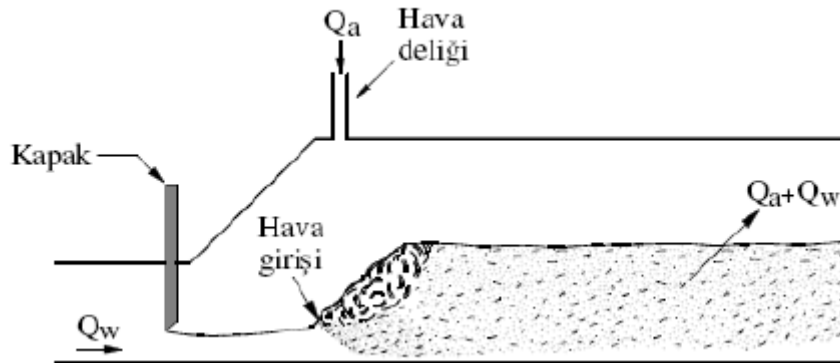
Burada; $E_{1(20)}$ = Bir bireysel basamağın havalandırma verimi (20 °C),

q = Birim debi ($q=Q/B$)

h = Basamak yüksekliği ve α = Kaskatın açısıdır.

4.1.3. Serbest Yüzeyli Konduitler

Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde, kapağın kısmi olarak açılmasının sonucunda yüksek bir hız oluşur ve bu yüzden kapak mansabında bulunan hava deliğinde açık hava basıncından daha düşük olan bir basınç ortaya çıkar (Şekil 4.13). Hava deliğinden, oluşan düşük basıncın etkisiyle hava vakumlanır. Vakumlanan havanın etkisi ile konduit içinde iki fazlı akım meydana gelir. Konduit içinde oluşan iki fazlı akımın etkisiyle hızlandırılmış bir oksijen transferi elde edilir (Ünsal, 2007).



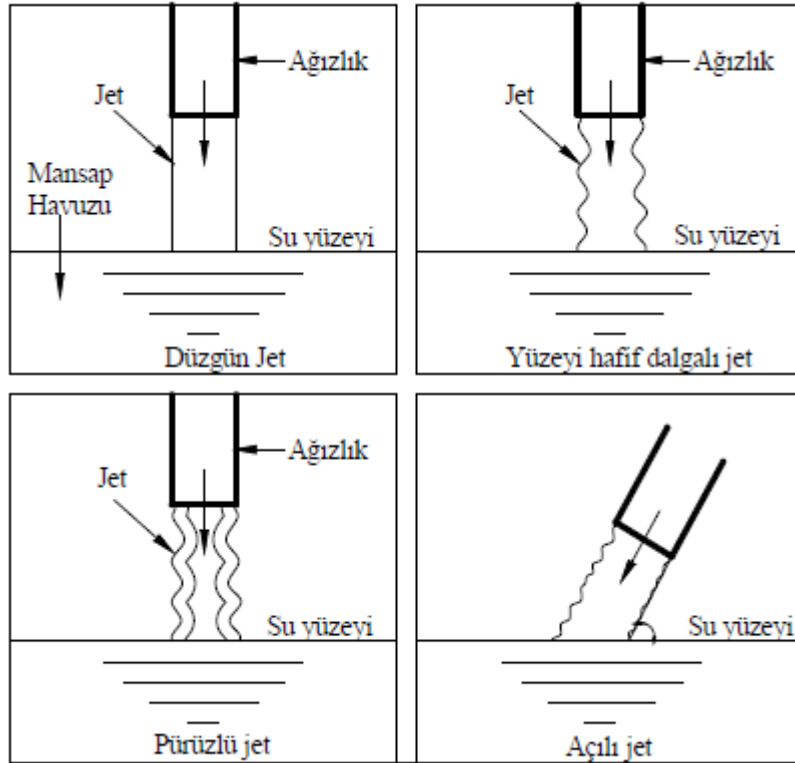
Şekil 4.13. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım (Ünsal, 2007).

4.2. Havalandırma Amaçlı Kullanılan Basınçlı Akım Sistemleri

Basınçlı akım, su taşıyan bir hidrolik yapının içinde bulunan akımın, tamamen dolu ve atmosferle teması olmadan akması durumuna denir. Basınçlı akıma sahip hidrolik yapılar, herhangi bir yerinden delindiğinde, içerisindeki suyu basınçlı olarak dışarıya verir. Boru, galeri, tünel ve kuyu gibi yapılarda basınçlı akım görülebilir. Burada suların havalandırılmasında kullanılabilecek basınçlı akım sistemlerine sahip, su jetleri, venturiler ve basınçlı konduitlerin hava giriş ve havalandırma verimleri incelenmiştir.

4.2.1. Su Jetleri

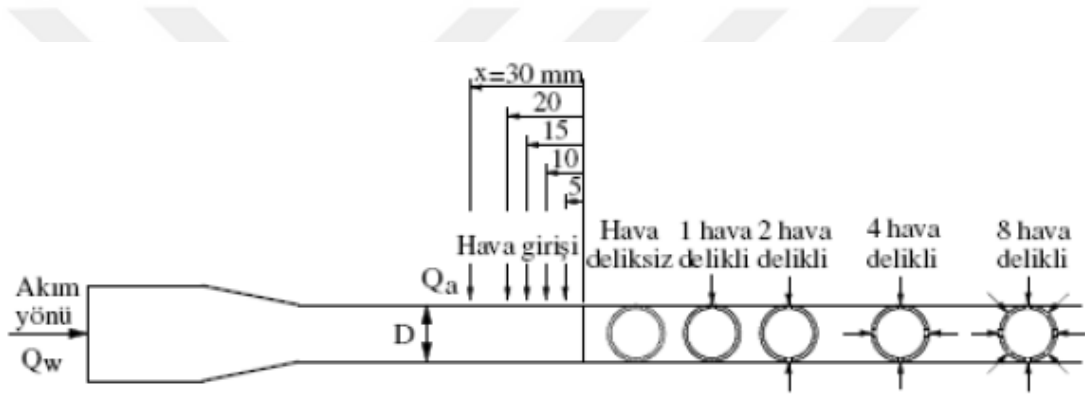
Su jeti, bir ağızlıktan çıkan yüksek hıza sahip akışkan akımına denir. Hava ortamından geçerek su havuzuna çarpan bir su jeti önemli ölçüde havayı su kütlesi içine taşıyarak, iki fazlı (gaz-sıvı) bir bölge oluşturmaktadır. Bunun sonucunda, havuz içerisine taşınan hava kabarcıkları ile havuz suyu arasında oksijen transferi gerçekleşmiş olur. Şekil 4.14 de su jeti tipleri görülmektedir.



Şekil 4.14. Su jeti tipleri (Emiroğlu ve Baylar, 2003).

Su jetleri basit olarak havadaki serbest oksijeni kullanır ve havalandırma işinin yanında karıştırma işini de yapar (Ahmed, 1974). Su jetleri ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde, araştırmacıların yaptıkları çalışmaların büyük bir bölümünde dairesel ağızlıkları kullandıkları görülmektedir.

Emiroğlu ve Baylar (2003), dairesel ağızlık ile ilgili yapmış oldukları çalışmalarında, dairesel ağızlık üzerine hava delikleri yerleştirip birbirinden farklı ağızlık tipleri geliştirmiş ve geliştirdikleri bu yeni ağızlıkların mansap havuzundaki hava giriş verimine etkisini incelemiştir. Araştırmacıların geliştirdikleri yeni ağızlıklar Şekil 4.15 de gösterilmektedir. Klasik olarak kullanılan dairesel ağızlıklara göre, geliştirilen bu yeni ağızlıklar ile daha yüksek hava giriş verimi sağlanmıştır (Emiroğlu ve Baylar, 2003).



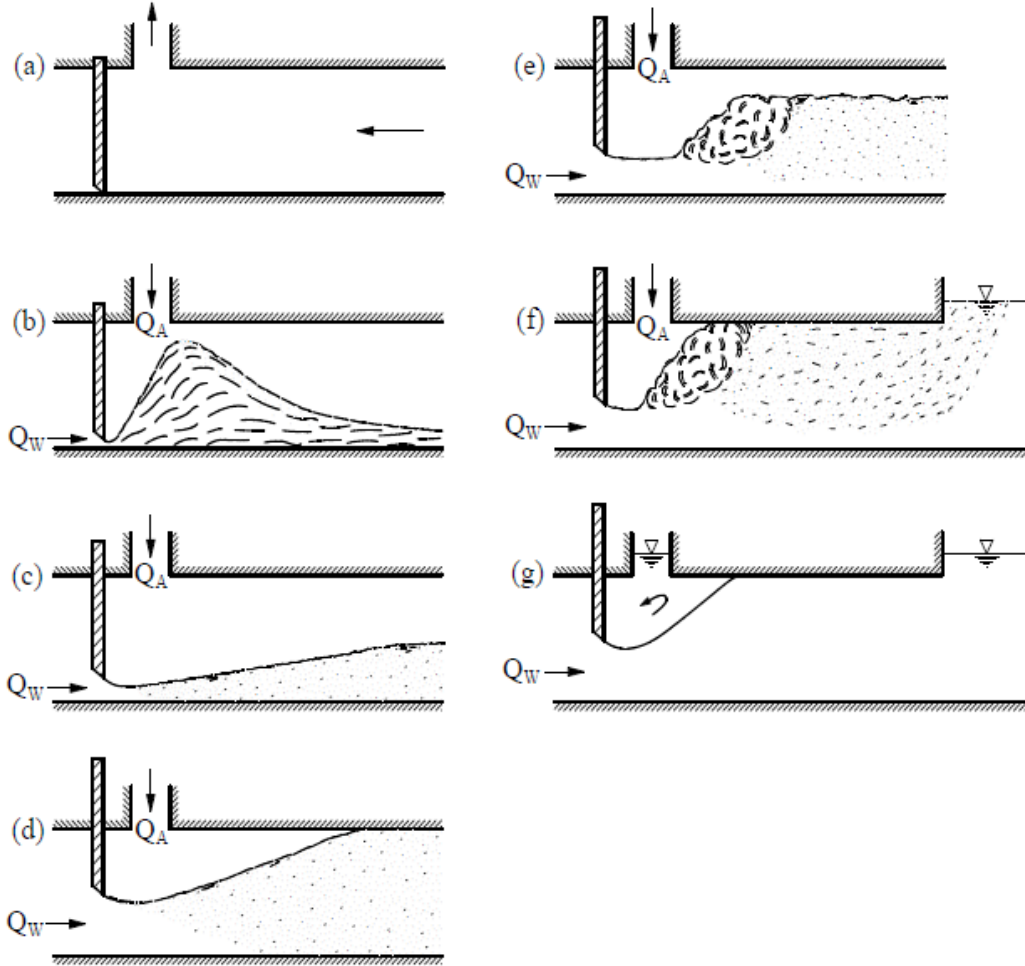
Şekil 4.15. Hava delikli ağızlıklar (Emiroğlu ve Baylar, 2003).

4.2.2. Venturiler

Venturiler, bir boru boyunca deşarj edilen akışkan akımının debisini ölçmek için kullanılır. Venturilerde, boru içindeki akışkan akımının hızını arttırabilmek amacıyla girişteki boru kesit alanından daha küçük kesit alanına sahip bir boğaz bölgesinde daralma yapılmıştır (Şekil 4.16). Bu daralan bölgede akışkan hızının artmasıyla birlikte basınç düşüşü gerçekleşmektedir. Böylece akışkan akımının debisi, iki kesit arasındaki basınç farkından yararlanılarak hidrolik olarak hesaplanmaktadır (Özkan, 2005).

Venturi aygıtları, içme suyu ve atık su tesislerinin havalandırma ünitelerinde kullanılmaktadır. Bu ünitelerde kullanılan klasik havalandırıcılara göre venturi aygıtı ile yapılan havalandırmalar daha verimli, daha az maliyetli ve işletimi daha kolaydır. Şekil 4.17 da bir venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı verilmiştir.

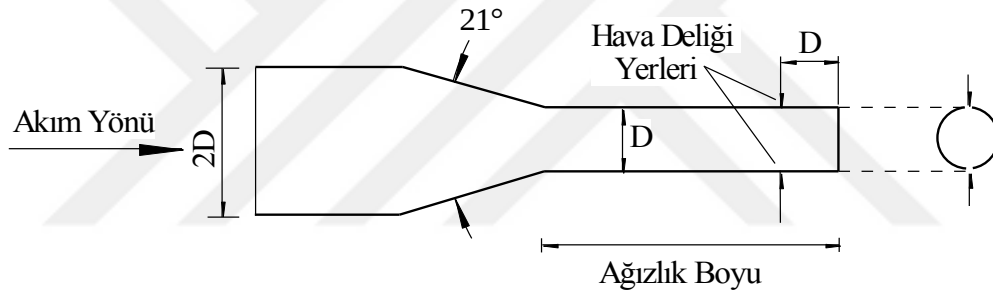
Şekil 4.19. (a-g)' de, yapılan son çalışmalarda kapaklı konduitlerde savaklama kapağı mansabında oluşabilecek iki fazlı akım rejimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Kapaklı konduit içerisinde oluşan iki fazlı akım rejimleri; **a)** sadece hava akışı, **b)** sprey (püskürtme şeklinde) akım, **c)** serbest yüzeyle akım, **d)** köpüklü akım, **e)** hidrolik sıçrama 1, **f)** hidrolik sıçrama 2, **g)** sadece su akışı (Sharma, 1976).

5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada suların havalandırılmasında ve sulara oksijen kazandırılması işleminde kullanılan havalandırma sistemlerinden biri olan, su jetleri kullanılmıştır. Su jeti, bir ağızlıktan çıkan yüksek hıza sahip akışkan akımıdır. Su jeti hava ortamından geçerken yüzeyindeki pürüzlülük oranınca havayı sürükleyerek çarptığı su havuzuna kabarcıklar halinde taşır ve bunun sonucunda oksijen transferi gerçekleşmiş olur. Bu çalışmada dairesel kesitli ağızlıklar kullanılmıştır. Jet pürüzlülüğünü artırmak için ağızlık sonuna 2 hava deliği açılmıştır. Hava giriş miktarını ve oksijen transfer verimini arttırmak amacıyla ağızlıkların boyları, delik çapları ve su havuzuna çarpma mesafeleri değiştirilerek farklı ağızlıklar üretilmiş ve bir dizi deney yapılmıştır.



Şekil 5.1. Dairesel kesitli, 2 hava delikli ağızlık boykesit ve enkesit örnek görünümü

Kullanılan ağızlıklarda jet çapı $D=14$ mm alınmıştır. Ağızlık boyları $2D$, $4D$ ve $8D$ olmak üzere 3 farklı boyda ağızlık üretilmiştir (Şekil 5.2). Hava delikleri ağızlığın uç kısmından $D=14$ mm kadar mesafe içeride olmak üzere 2 mm, 4 mm, 6 mm ve 8 mm çapında 2 karşılıklı hava deliği olacak şekilde üretilmiştir. Ağızlıkların materyali polyesterdir.



Şekil 5.2. 2D, 4D ve 8D boyuna sahip ağızlıkların fotoğraf görünümü

Deneylerde kullanılmak üzere 2D, 4D ve 8D boyuna sahip ağızlıklar üretilmiştir. Bu ağızlıklara sırası ile deneyler tamamlanarak 2mm, 4mm, 6mm ve 8mm çapında karşılıklı 2 hava deliği açılmıştır. Jet uzunluğunun etkisini araştırmak üzere 10 cm, 20 cm ve 40 cm olarak 3 farklı çarpma mesafesi kullanılmıştır. Her bir ağızlık boyu, hava deliği çapı ve çarpma mesafesi için $0.004 \text{ m}^3/\text{sn}$ aralıklarla 7 farklı debi değeri için hava debimetresi ile su jetlerinin sürüklediği hava miktarı ölçülmüştür. Hava debileri kapan üzerindeki 16 mm çapa sahip olan hava bacasından dijital hava debi ölçme aleti olan TESTO Model-435 anemometre (Şekil 5.3) ile ölçülmüştür.

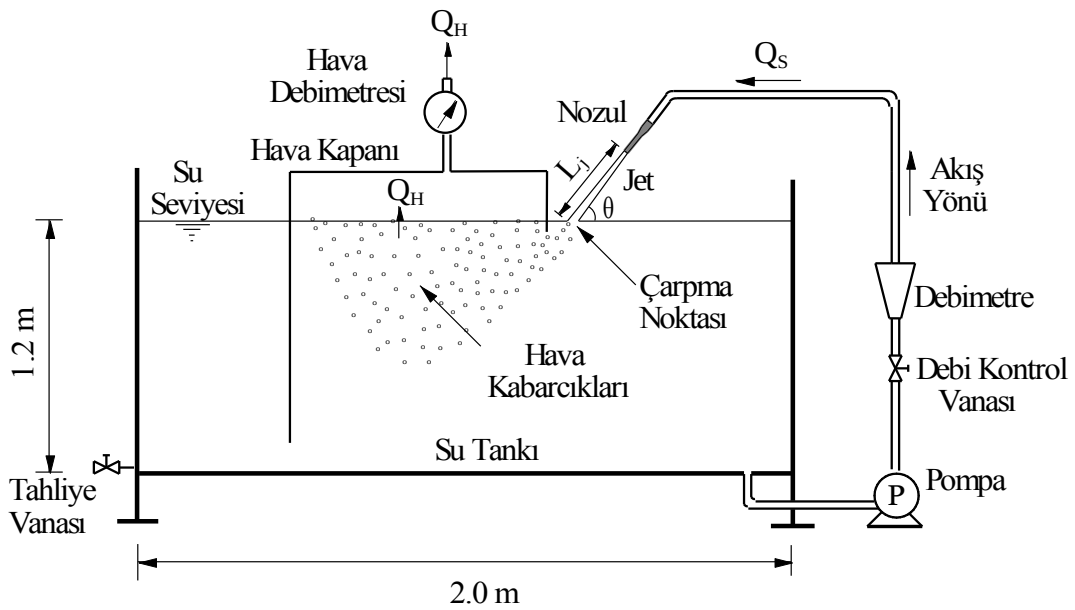


Şekil 5.3. TESTO Model-435 anemometre fotoğraf görünümü

Deneylerde şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Su tankı belli bir seviyeye kadar doldurulmuştur. Doldurulan su tankından suyu alıp jete göndermek için su tankı tabanı seviyesinde su pompası bulunmaktadır. Su pompası vasıtasıyla alınan su debi kontrol vanası ile istenilen debi değerine ayarlanmıştır. Sistemden geçen debi değerini ölçmek için dijital göstergeli elektromanyetik debimetre kullanılmıştır (Şekil 5.4). Aşağıda deney düzeneğinin şematik görünümü (Şekil 5.5) ve deney düzeneği ile deneylerde kullanılan materyallere ait fotoğraflar verilmiştir (Şekil 5.6 (a-h)).



Şekil 5.4 Dijital göstergeli elektromanyetik debimetre fotoğraf görünümü



Şekil 5.5 Deney düzeneğinin şematik görünümü.



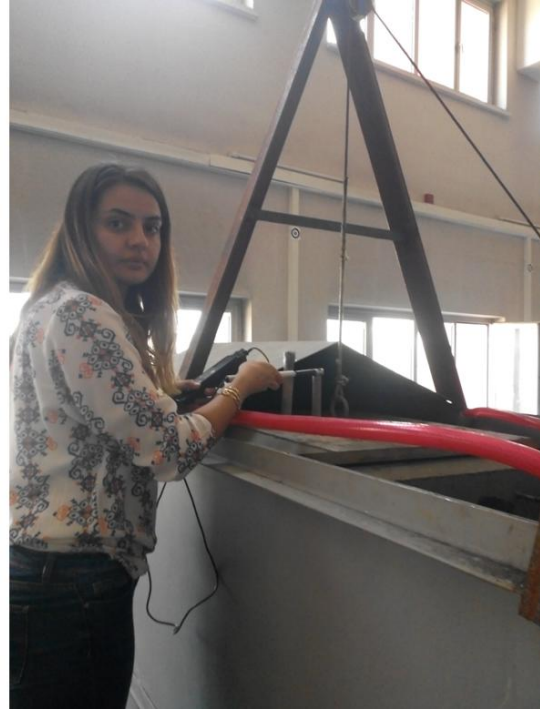
a) Deney düzeneğine ait fotoğraf görünümü



b) Jetin su tankına çarpması ve hava kapanı içine hava kabarcıklarının girmesi.



c) Deneylerde kullanılan akım kontrol vanası ve dijital göstergeli debimetre



d) Hava kapanı üzerindeki hava bacasından anemometre ile emilen hava miktarının ölçümü



e) Su jetinin su tankına 10 cm'lik mesafeden çarpması görünümü



f) Su jetinin su tankına 20 cm'lik mesafeden çarpması görünümü



g) Su jetinin su tankına 40 cm'lik mesafeden çarpması görünümü



h) Pürüzlü jet görünümü

Şekil 5.6. (a-h) Deney düzeneğine ve deneylerde kullanılan materyallere ait fotoğraflar

5.1. Deneyin Yapılışı

Deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerde 2D, 4D ve 8D olmak üzere 3 farklı uzunluğa sahip ağızlık kullanılmıştır. Aynı zamanda ağızlıklar karşılıklı 2 hava deliğine sahiptir. Bu karşılıklı iki hava deliği 2mm, 4mm, 6mm ve 8mm olmak üzere 4 farklı çapta imal edilmiş ve deneyler yapılmıştır. Deneylerde ağızlık boyu ve hava delik çapının havalandırma verimine etkisinin yanı sıra jetin su havuzuna çarpma mesafesinin de etkisi araştırılmıştır, bunun için deneyler 10cm, 20cm ve 40cm'lik çarpma mesafeleri için tekrarlanmıştır.

Polyesterden imal edilen üç farklı ağızlık içinde öncelikle 2mm hava delik çapına sahip olan ağızlıklar kullanılarak deneylere başlanmıştır. Daha sonra delik çapları büyütülerek 4mm, 6mm ve 8mm lik çaplar için ölçümler tekrarlanmıştır. Laboratuvardaki pompa gücüne bağlı olarak tesbit edilen maksimum debi değerine göre 0.004 m³/sn aralıklarla 7 farklı debi değeri için ölçümler yapılmıştır. Her debi değeri için su tankına sürüklenen havanın hızı, hava kapağı üzerindeki hava bacasından anemometre ile yaklaşık olarak 1 dakikalık süreler için ölçüm yapılarak tespit edilmiştir. Her bir ağızlık boyu ve hava delik çapı için 10cm, 20cm ve 40cm'lik çarpma mesafelerinde aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Deneylerde kullanılan her bir debi değeri için farklı su hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu hızlar kullanılarak her bir debi değerine ait Reynolds Sayıları bulunmuştur. Hesaplamalar için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır.

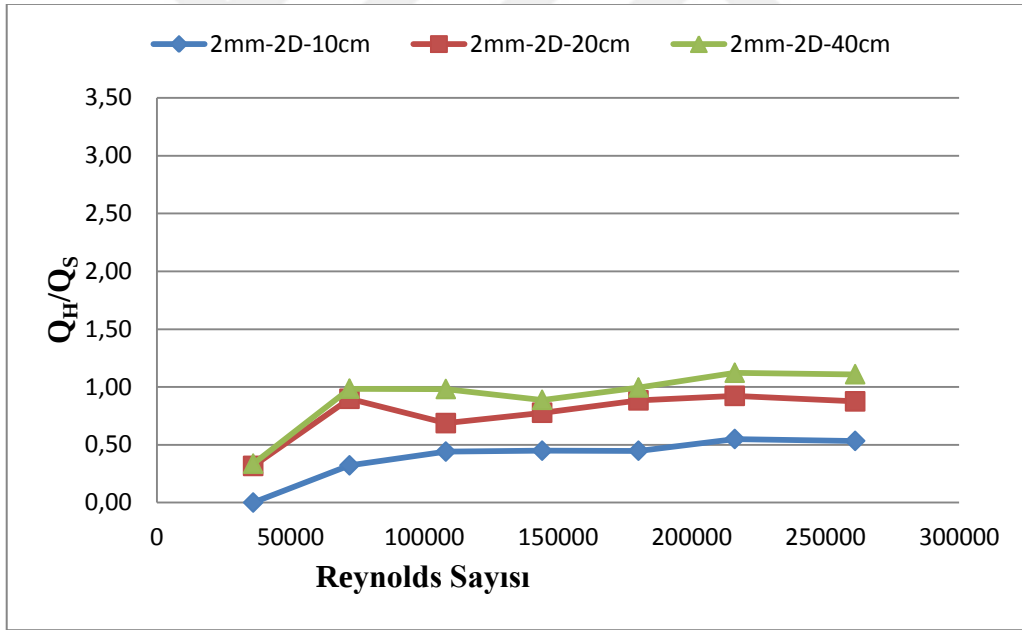
$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (5.1)$$

$$\nu = \mu/\rho \quad (5.2)$$

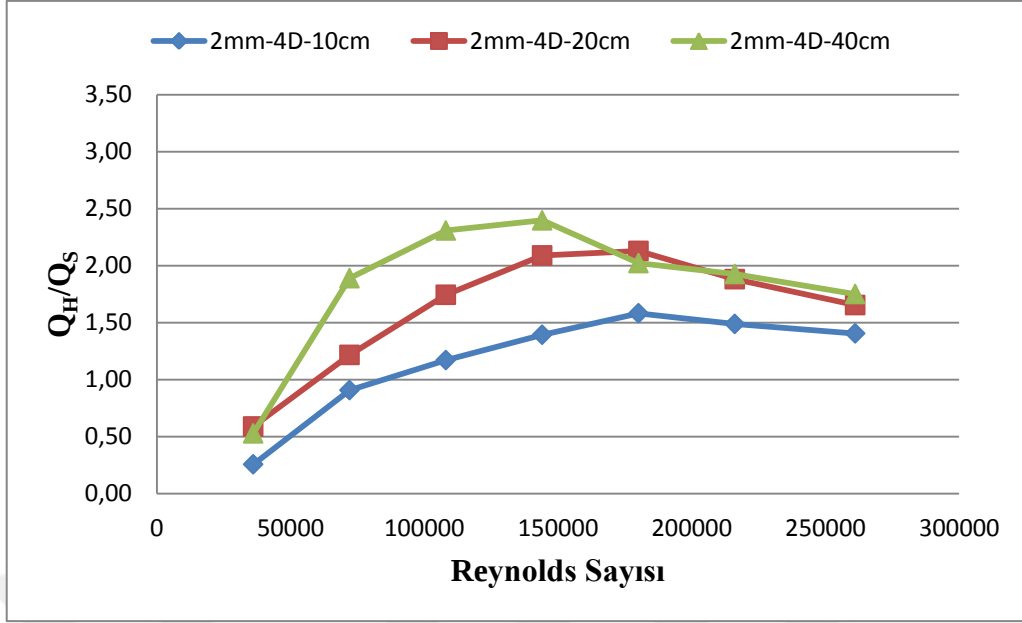
Burada V = Akışkanın hızı (m/sn), D = Boru çapı (m), ρ = Akışkanın yoğunluğu (kg/m³), μ = Akışkanın dinamik viskozitesi (N s/m²x10⁻³), ν = Akışkanın kinematik viskozitesi (m²/sn)' dir. Deneylere ait dataların tümü ekler kısmında sunulmuştur.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

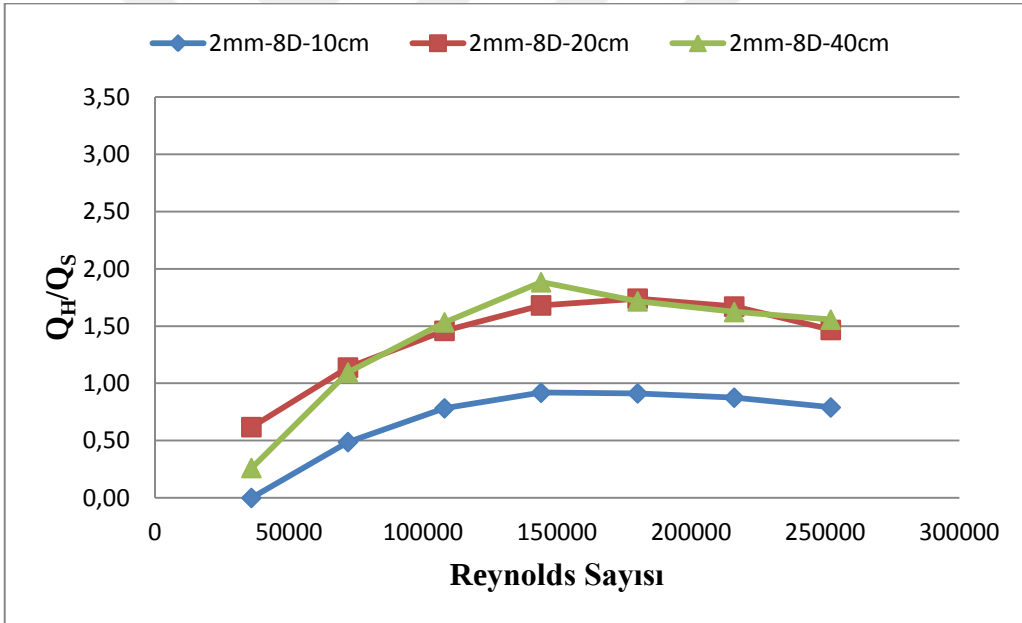
Şekil 6.1. (a-c)' de görüldüğü gibi 2 mm hava delik çapına sahip bütün ağızlık tipleri için Reynolds Sayısına (Re) bağlı hava giriş oranı (Q_H/Q_S) değişimleri incelendiğinde, su jetinin çarpma mesafesinin artışıyla hava giriş oranının arttığı görülmüştür. Bu artışın bütün ağızlık boyları için sürekli olmayıp belirli bir Reynolds değerinden sonra sabit kaldığı ya da azaldığı görülmüştür. Hava giriş oranlarının maksimuma ulaştığı Reynolds değeri ağızlık boyuna bağlı olarak farklılık göstermiştir. Yani boyu 2D olan ağızlıkta maksimum hava giriş oranı değeri yaklaşık 225000 Reynolds değerleri arasında görülürken, 4D ve 8D boyuna sahip ağızlılarda ise yaklaşık 150000 Reynolds değerinde görülmektedir. Çarpma mesafesinin artmasıyla hava giriş oranının artması su jetinin havayla temasının daha uzun süre olmasına bağlanmıştır.



(a)



(b)

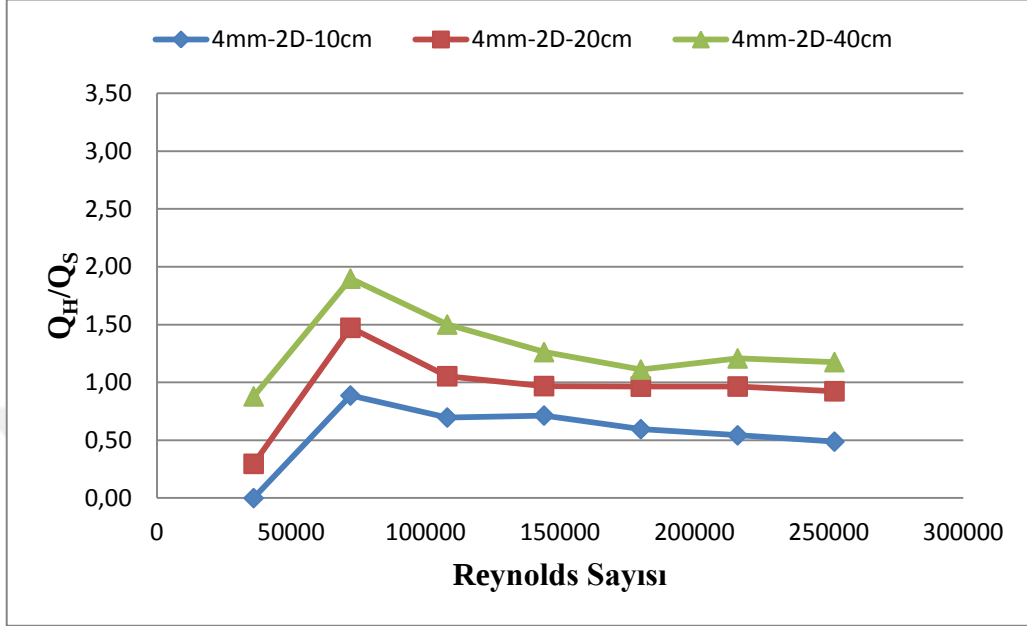


(c)

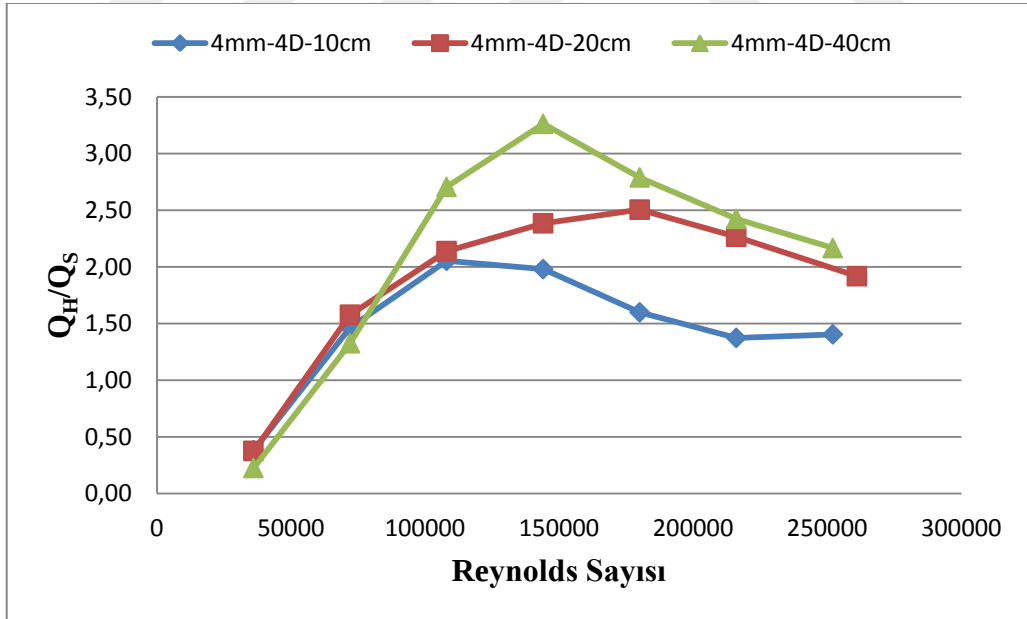
Şekil 6.1. (a-c) 2mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi

Şekil 6.2. (a-c)' de görüldüğü gibi 4 mm hava delik çapına sahip bütün ağızlık tipleri için su jetinin çarpma mesafesinin artışıyla hava giriş oranının arttığı görülmüştür. Ancak bu artışın sürekli olmayıp belirli bir Re değerinden sonra değişmediği ya da azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak artan hava debisine karşılık, su debisi artışının daha

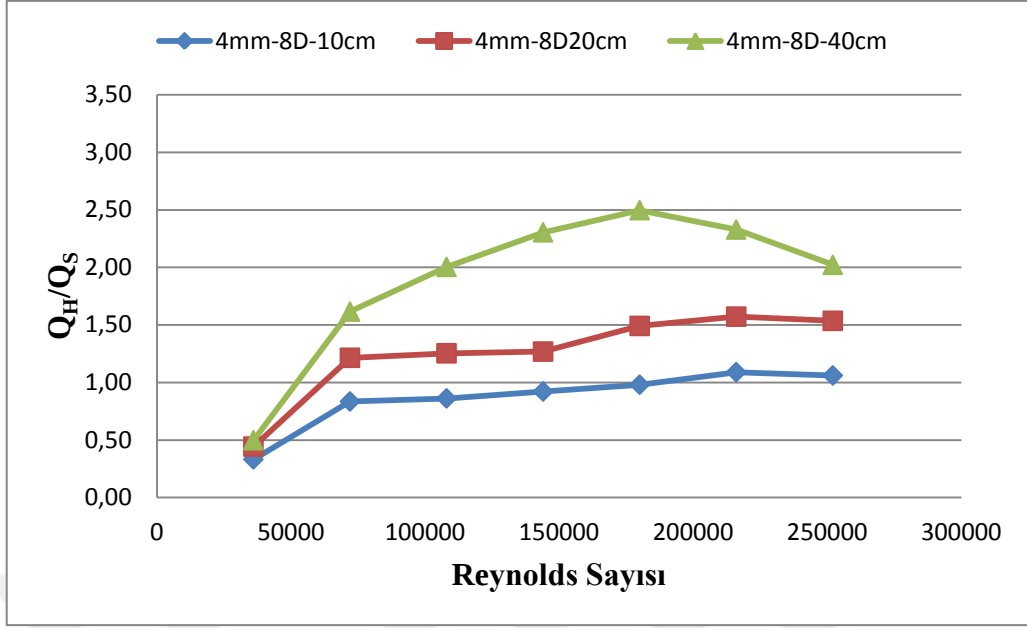
fazla olması düşünülmektedir. Aynı zamanda ağızlık boyuna bağlı olarak maksimum (Q_H/Q_S) değeri farklı R_e değerlerinde görülmüştür.



(a)



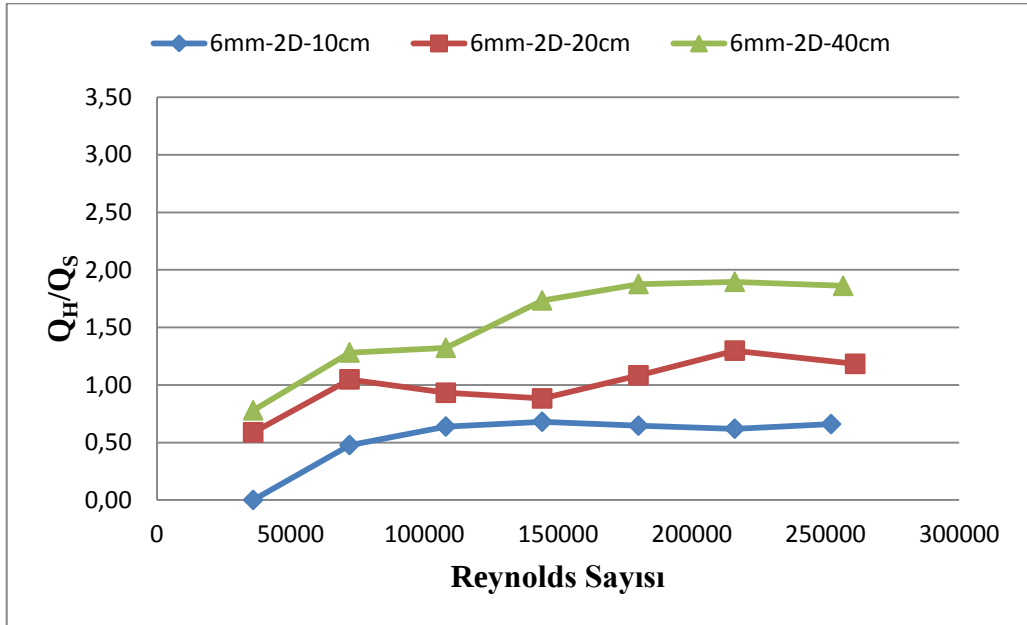
(b)



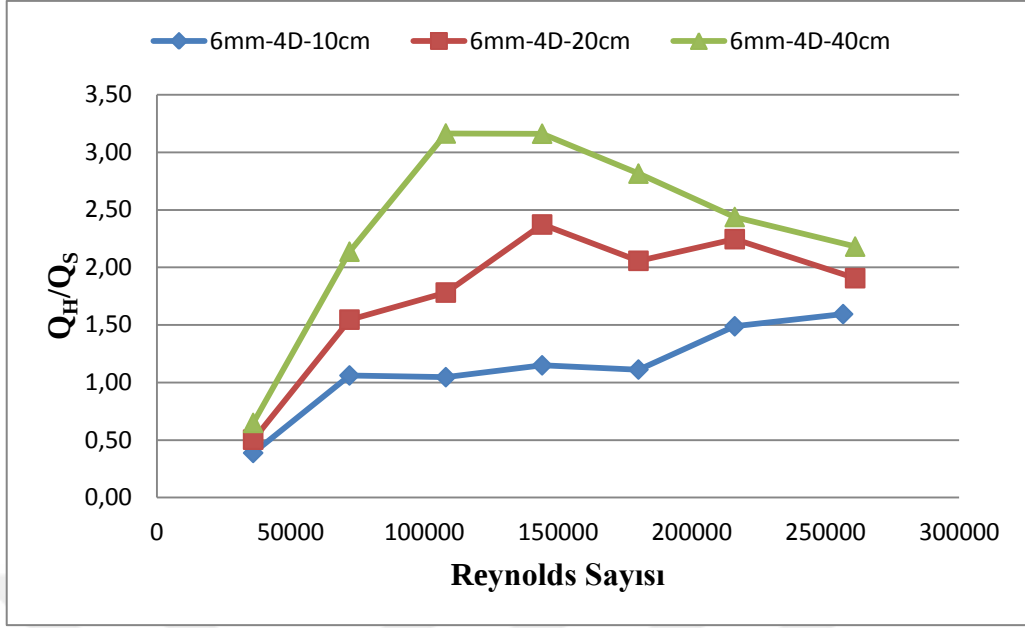
(c)

Şekil 6.2. (a-c) 4mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi

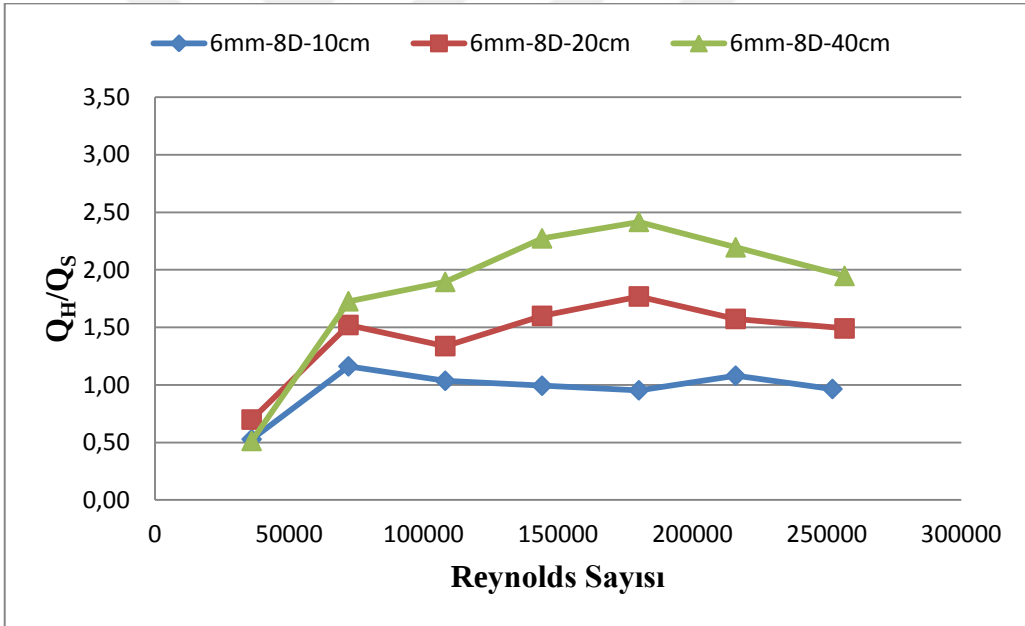
6mm hava delik çapına sahip ağızlıkların tümünde Şekil 6.3. (a-c)' de görüldüğü gibi maksimum (Q_H/Q_S) 40cm'lik çarpma mesafesinde elde edilmiştir. Ağızlıkların tümünde Re sayısının artışıyla hava giriş oranı artmış ancak belli bir noktadan sonra sabit kalmış ya da azalmıştır.



(a)



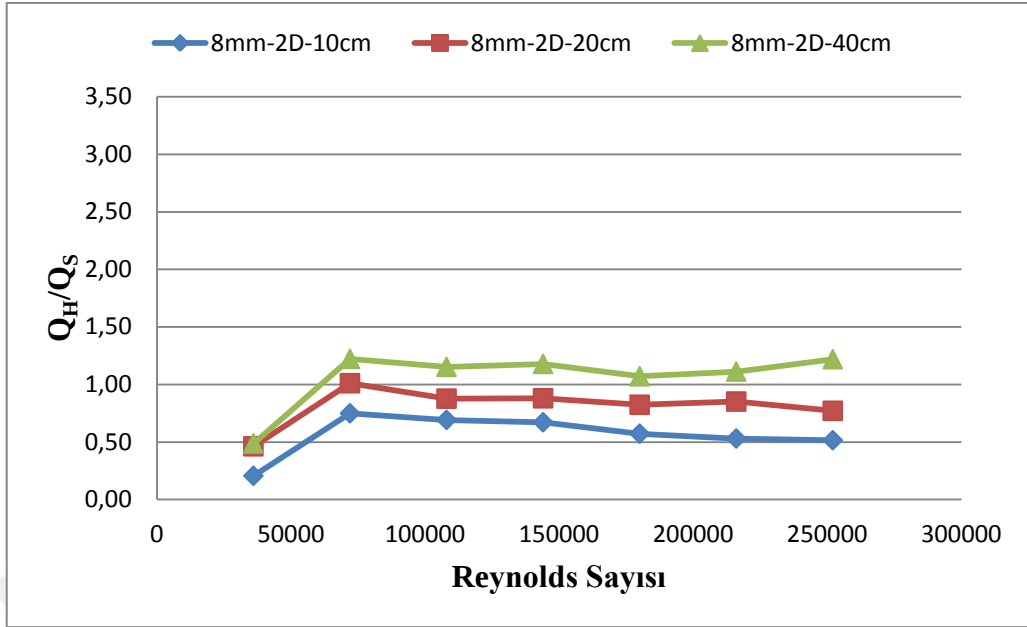
(b)



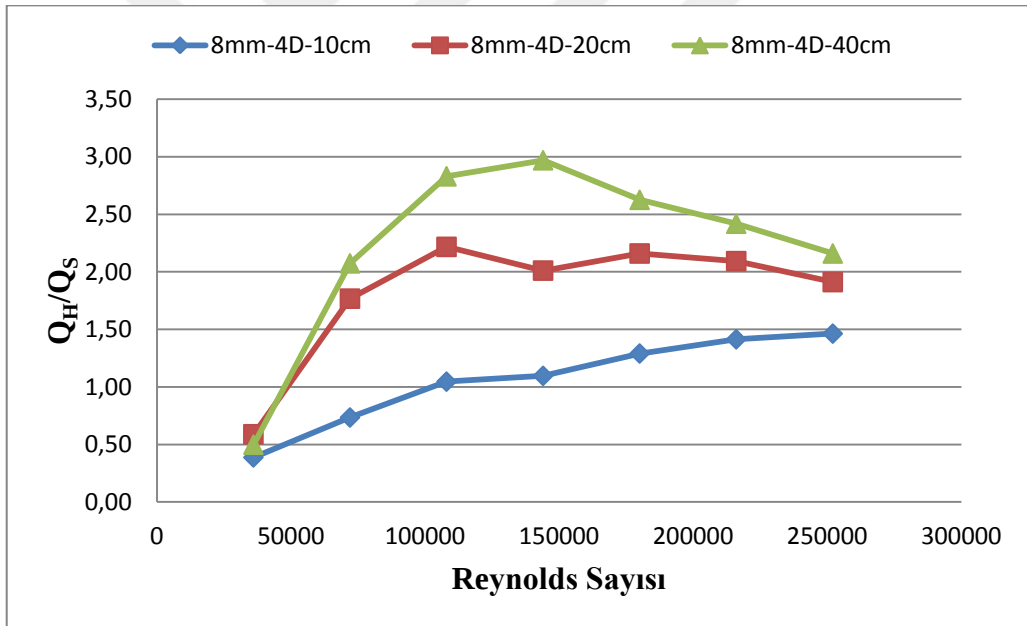
(c)

Şekil 6.3. (a-c) 6mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi

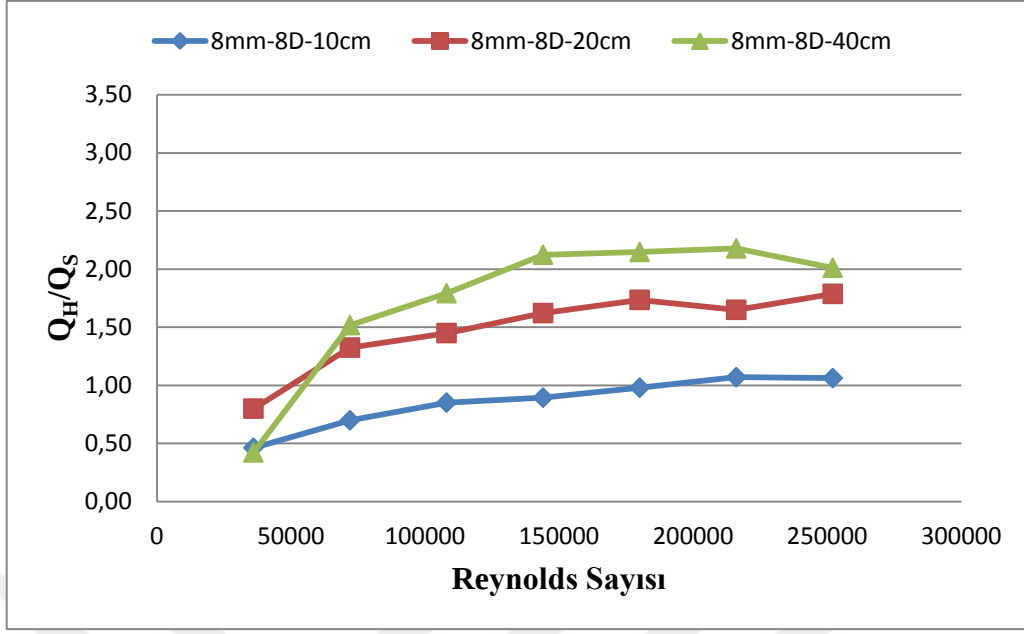
Şekil 6.4. (a-c)' de 8mm hava delik çapına sahip tüm ağızlıkları incelediğimizde maksimum (Q_H/Q_S)' nın jet uzunluğunun artmasıyla artış gösterdiği görülmüştür. Ağızlık boylarının etkisi ile maksimum hava giriş oranı farklı Re değerlerinde görülmüştür.



(a)



(b)

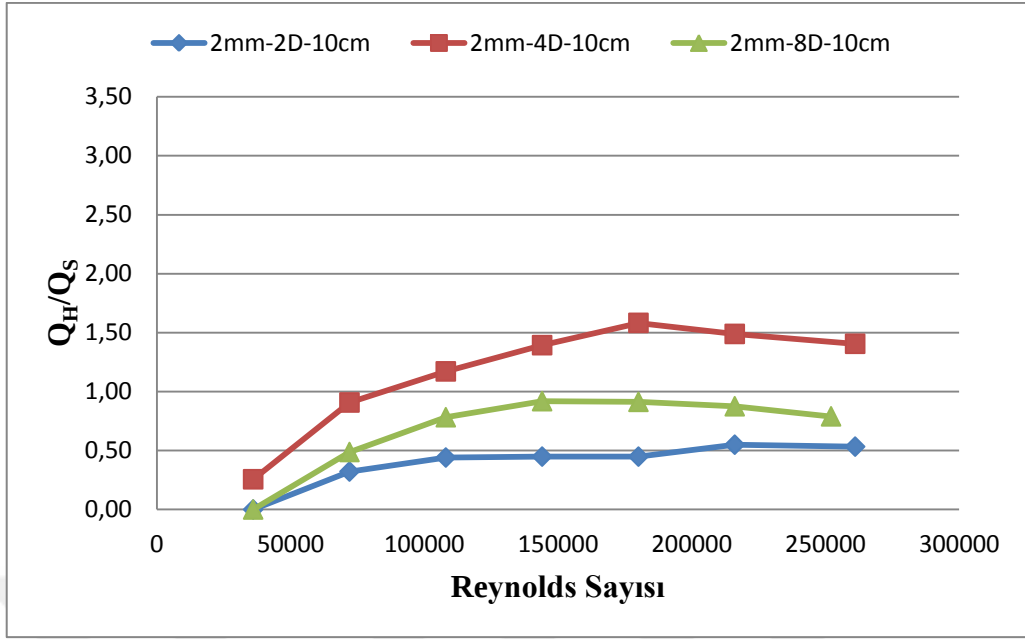


(c)

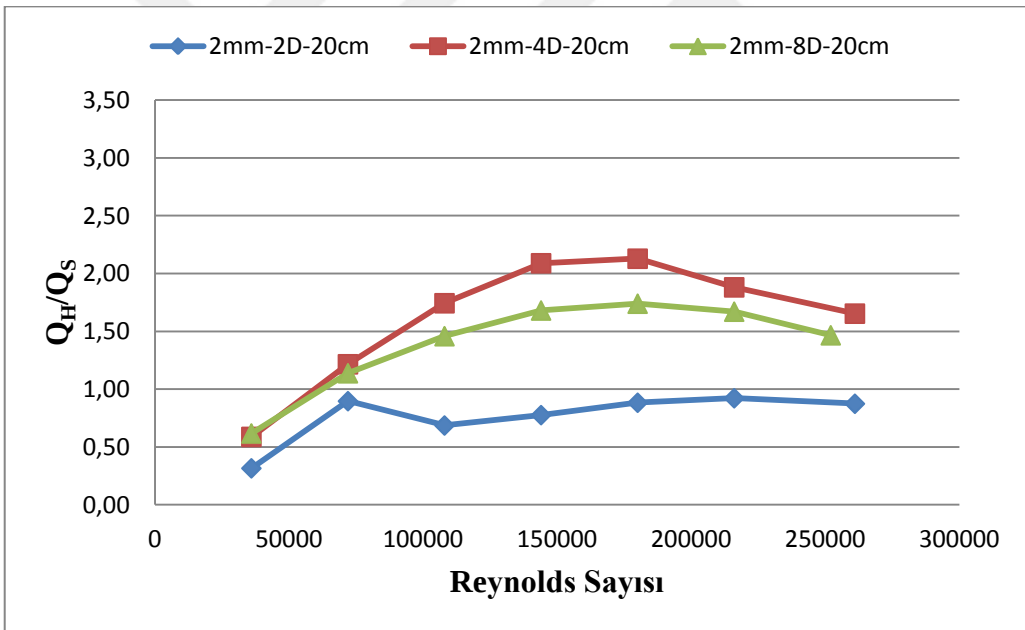
Şekil 6.4. (a-c) 8mm'lik havalandırma deliği için çarpma mesafelerinin hava giriş oranlarına etkisi

Şekil 6.1. (a-c), Şekil 6.2. (a-c), Şekil 6.3. (a-c) ve Şekil 6.4. (a-c)'de deneylerde kullanılan tüm ağızlıklar için su jetinin çarpma mesafesinin hava giriş oranı (Q_H/Q_S)'ye etkisi Re bağlı olarak araştırılmıştır. Yapılan deneylerde genel olarak hava giriş oranı su jetinin çarpma mesafesinin artması ile artış göstermiş ve uygulanan mesafeler içinde en uygun jet boyunun 40 cm olduğuna karar verilmiştir. Ağızlık boylarının değişimi ile maksimum hava giriş oranı değeri farklı Re sayılarında görülmüştür.

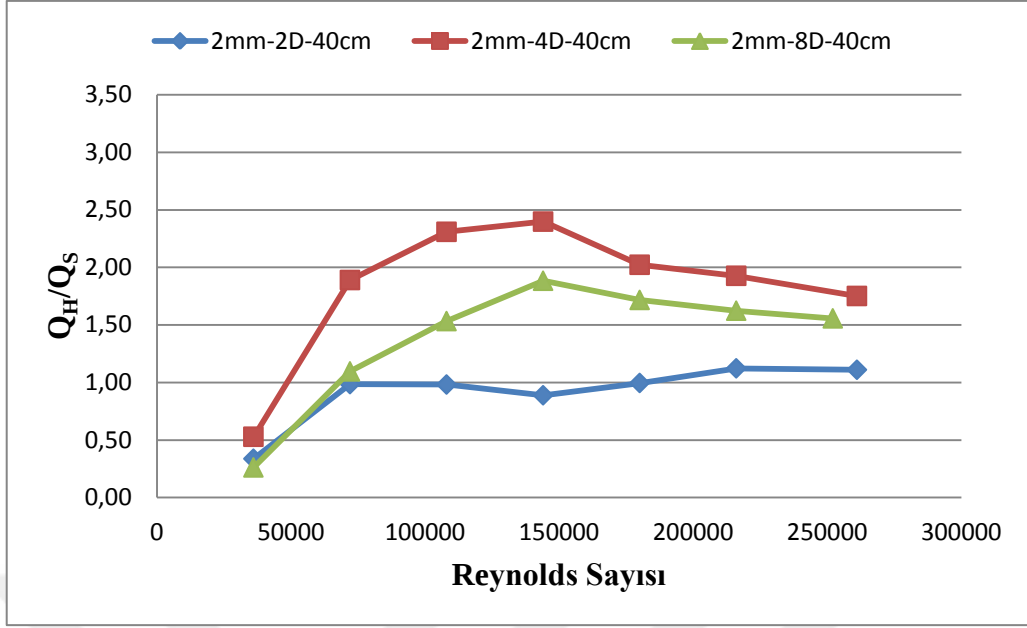
Aşağıda Şekil 6.5. (a-c)'de 2mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için 10cm, 20cm ve 40cm'lik çarpma mesafelerinde ağızlık boyunun hava giriş oranı Q_H/Q_S bakımından etkisi araştırılmıştır. Ağızlık boyunun artışı ile doğrusal bir artış olmadığı ve 4D ağızlık boyunda maksimum hava giriş oranının elde edildiği görülmüştür.



(a)



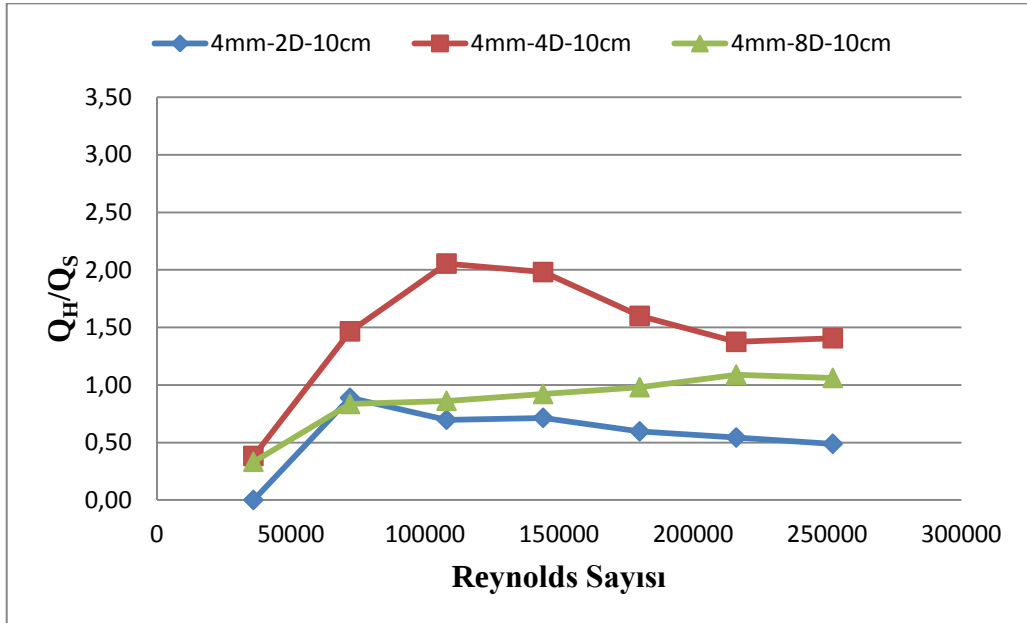
(b)



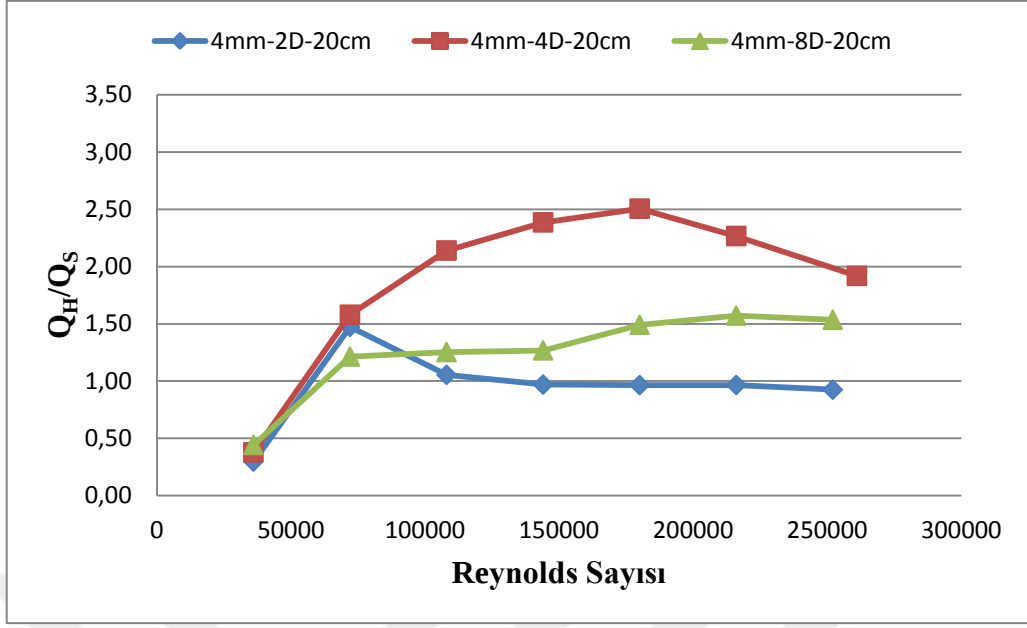
(c)

Şekil 6.5. (a-c) 2mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi

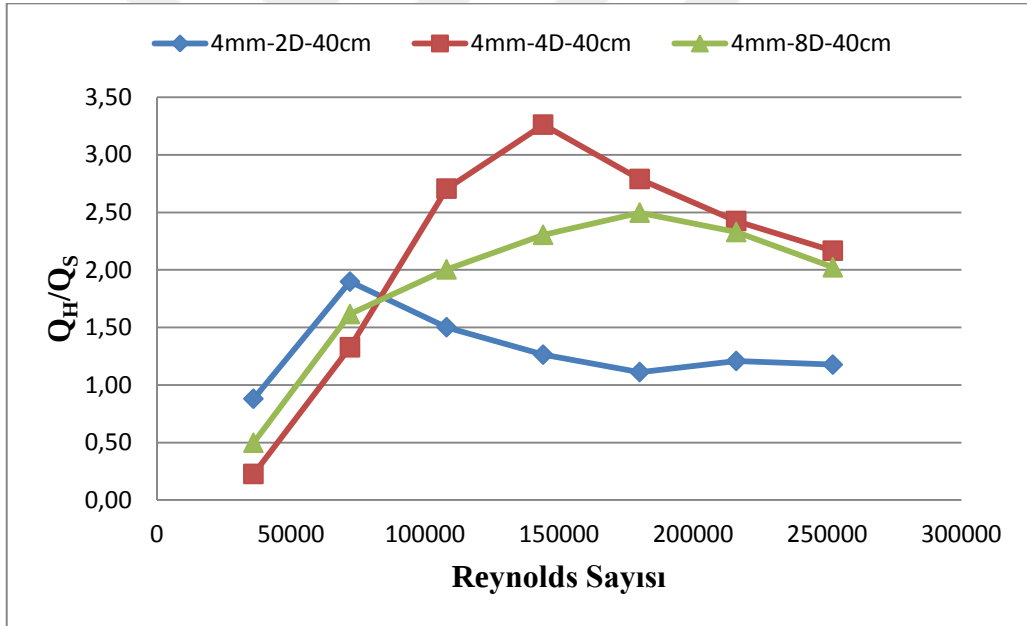
4mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için Şekil 6.6. (a-c) incelendiğinde genel olarak 4D ağızlık boyunun (Q_H/Q_s) bakımından en uygun ağızlık boyu olduğu görülmüştür. Çarpma mesafelerinin değişimi ile maksimum hava giriş oranı farklı Re değerlerinde görülmüştür.



(a)



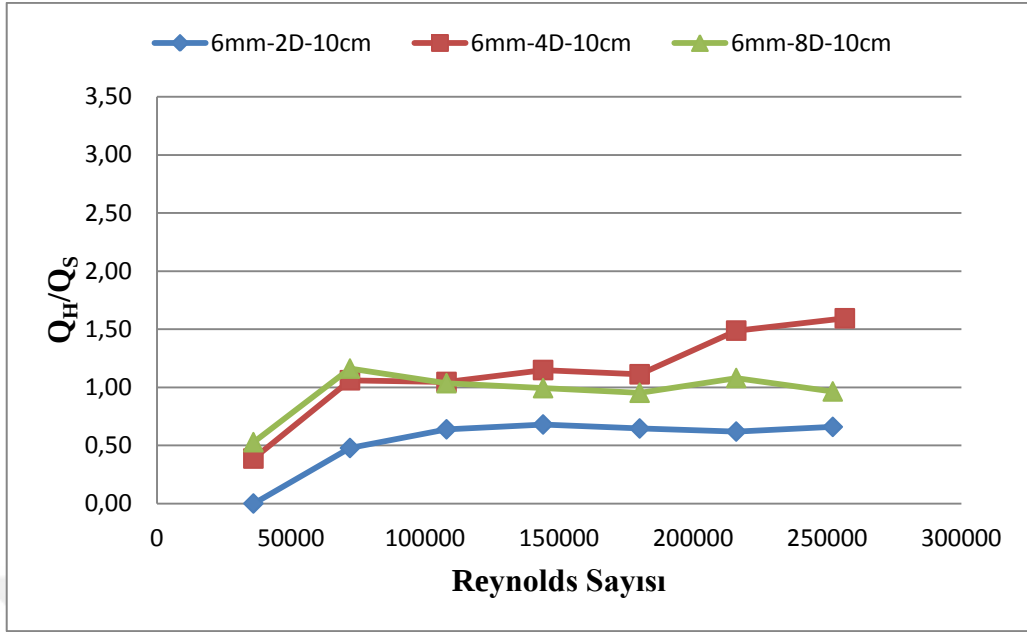
(b)



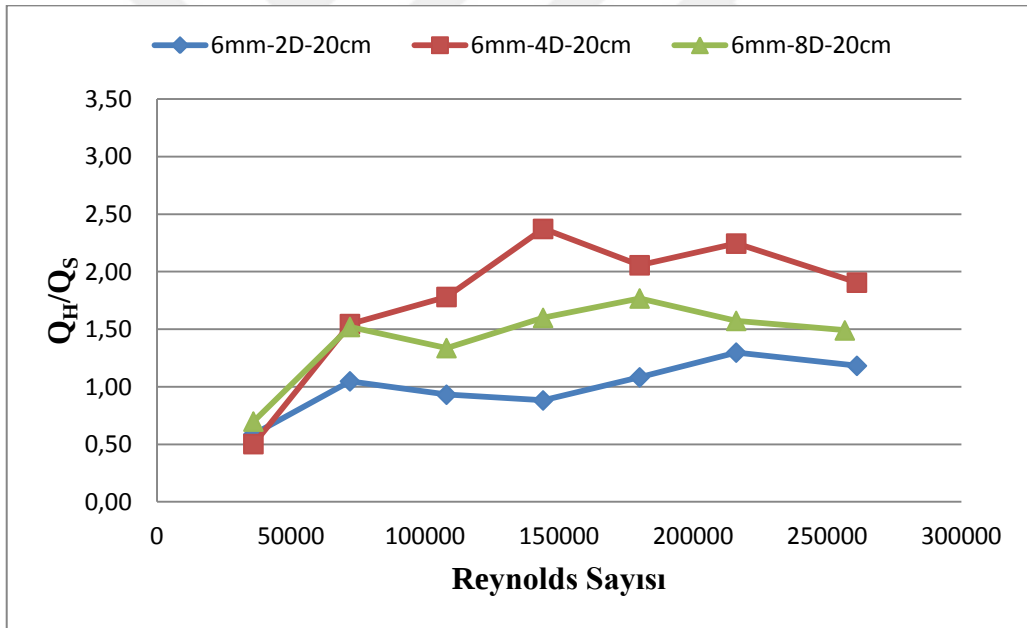
(c)

Şekil 6.6. (a-c) 4mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi

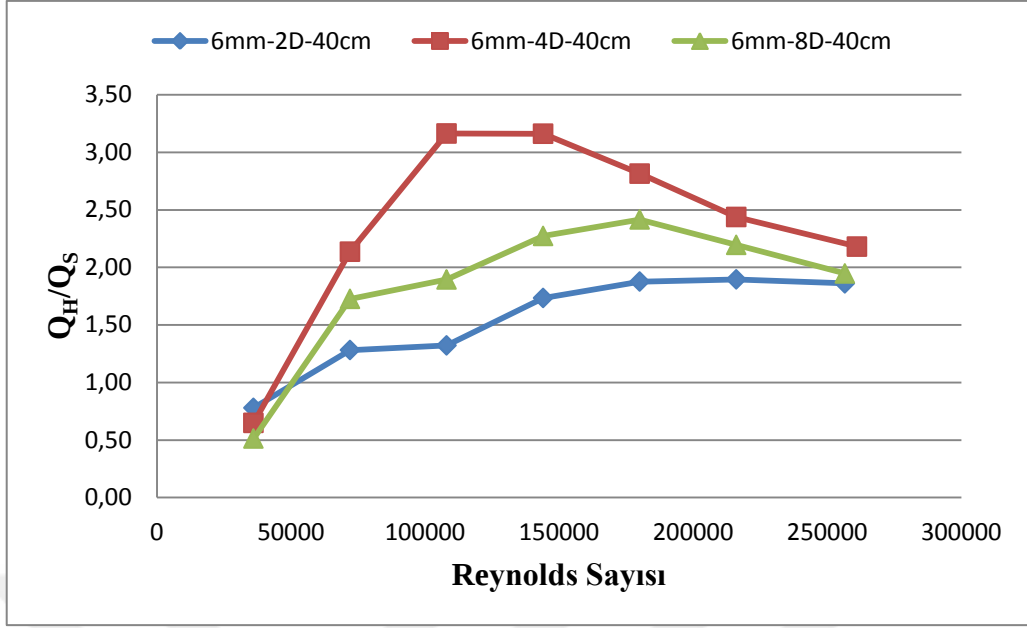
Şekil 6.7. (a-c)' de 6mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için genel olarak maksimum hava giriş oranı 4D ağızlık boyunda görülmüştür. Çarpma mesafelerinin değişimi ile maksimum hava giriş oranı farklı Re değerlerinde oluşmuştur.



(a)



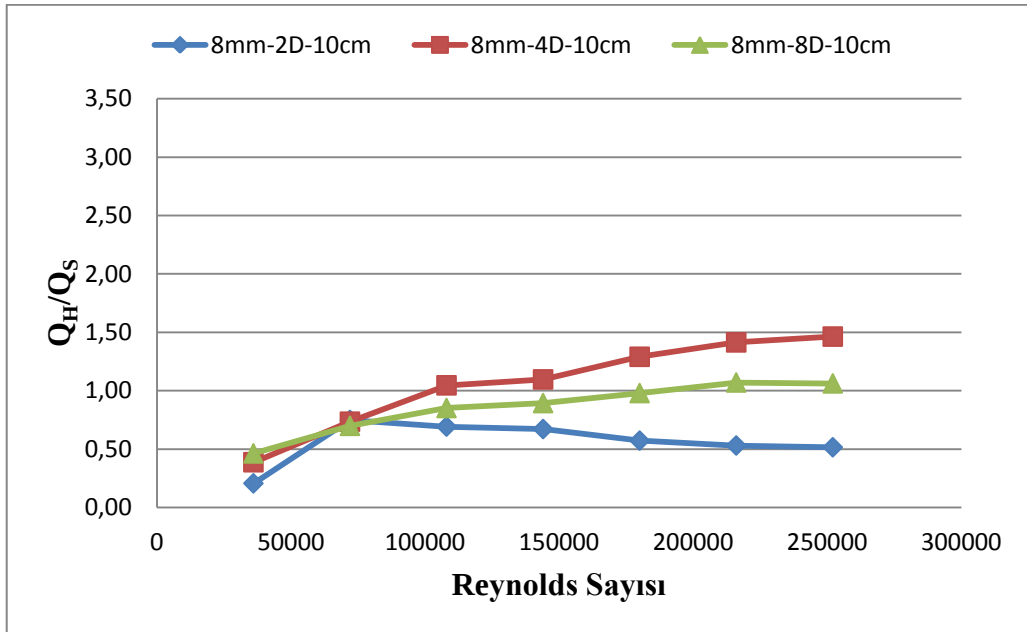
(b)



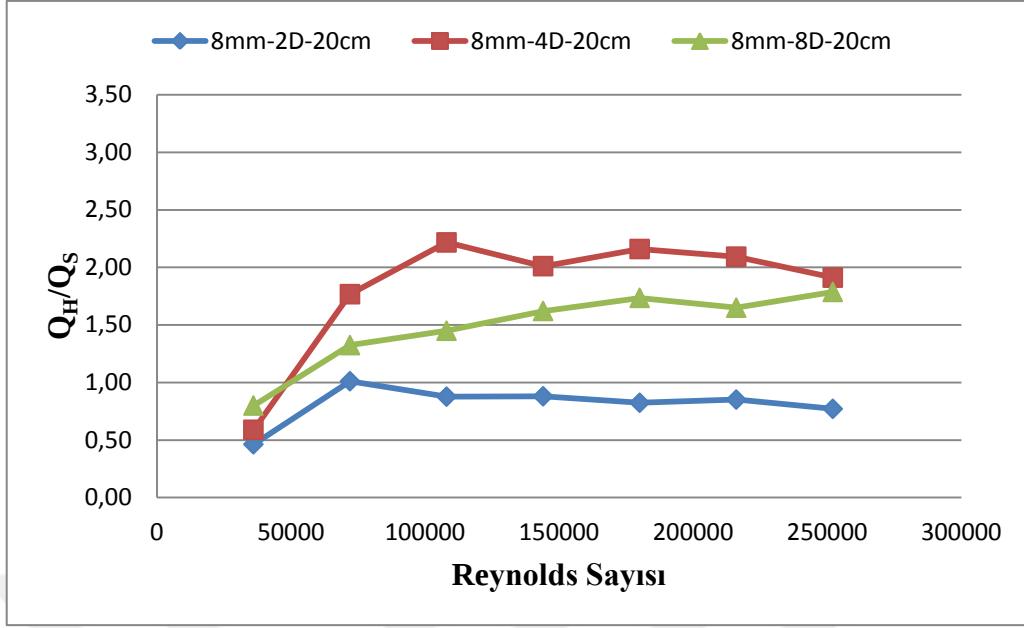
(c)

Şekil 6.7. (a-c) 6mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi

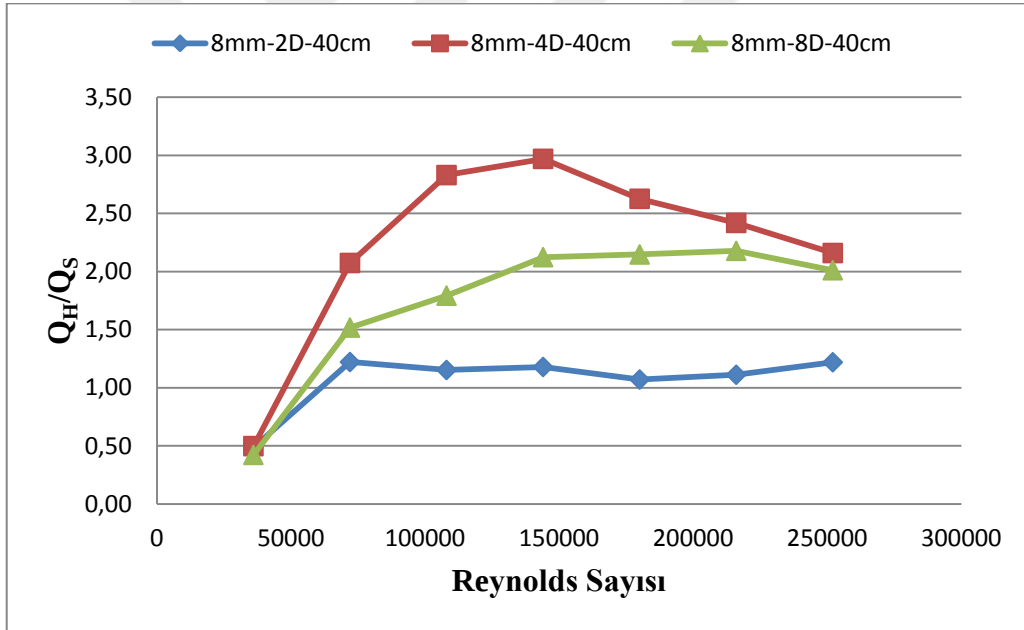
Şekil 6.8. (a-c)' de 8mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için genel olarak 4D ağızlık boyunun (Q_H/Q_S) bakımından en uygun ağızlık boyu olduğu görülmüştür. Re değerinin artmasıyla hava giriş oranı artmış, belli bir noktadan sonra ise sabit kalmış ya da azalmıştır. Bu durum üzerinde artan hava debisinin artan su debisine oranının giderek azalmasının etkili olduğu düşünülmektedir.



(a)



(b)



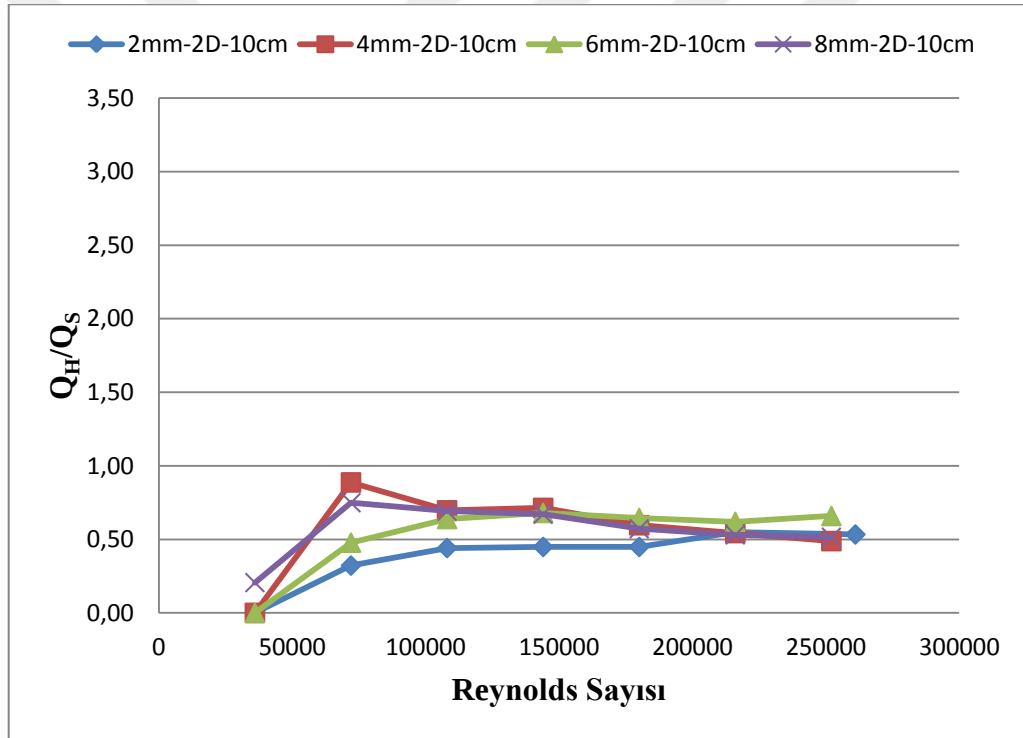
(c)

Şekil 6.8. (a-c) 8mm'lik havalandırma deliği için jet ağızlık boyunun hava giriş oranlarına etkisi

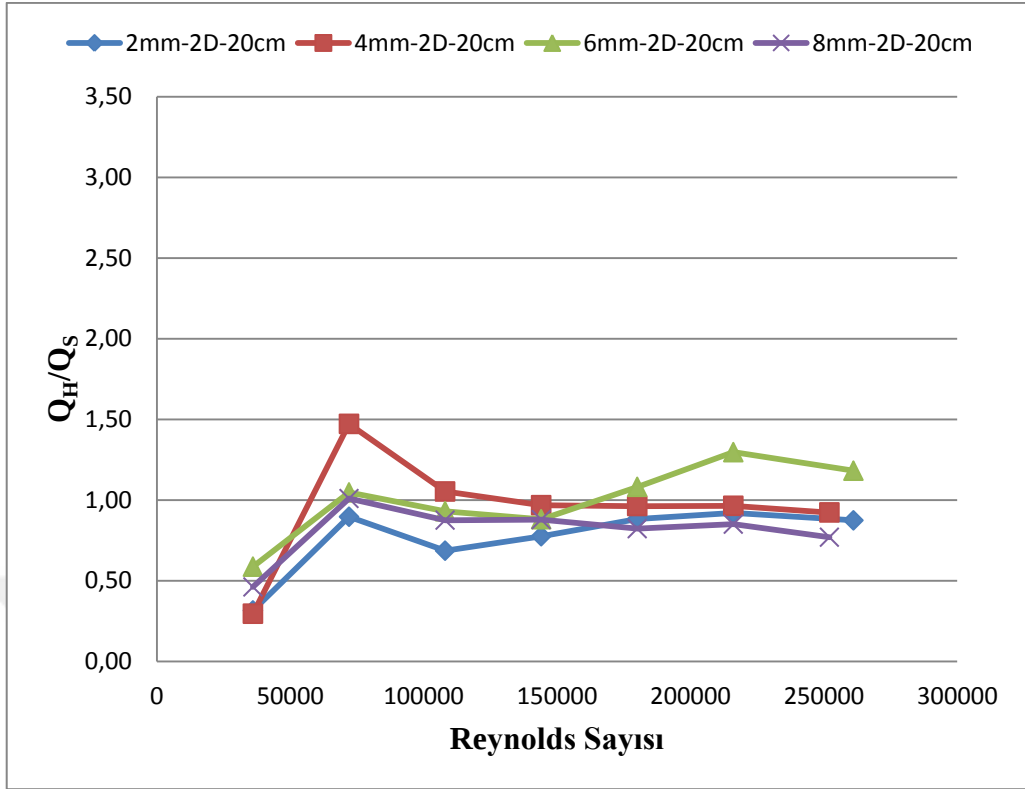
Şekil 6.5. (a-c), Şekil 6.6. (a-c), Şekil 6.7. (a-c) ve Şekil 6.8. (a-c)'de deneylerde kullanılan tüm ağızlıklar için ağızlık boyunun (Q_H/Q_S)' ye etkisi Re bağlı olarak araştırılmıştır. Yapılan deneylerde genel olarak en uygun ağızlık boyunun 4D ağızlık boyu olduğu görülmüştür. Bu durum ağızlık boyu artışıyla havalandırma veriminin sürekli artmadığını göstermektedir. Yani ağızlık boyu olarak bir optimum değerden bahsetmek

mümkündür. Bazı grafiklerde boy değişiminin etkisi küçük Re değerlerinde farklılık göstermiştir. Küçük Re değerlerinde ağızlık ucunda jet profilinin tam anlamıyla oluşmamasının bu farklılığa sebep olduğu düşünülmektedir.

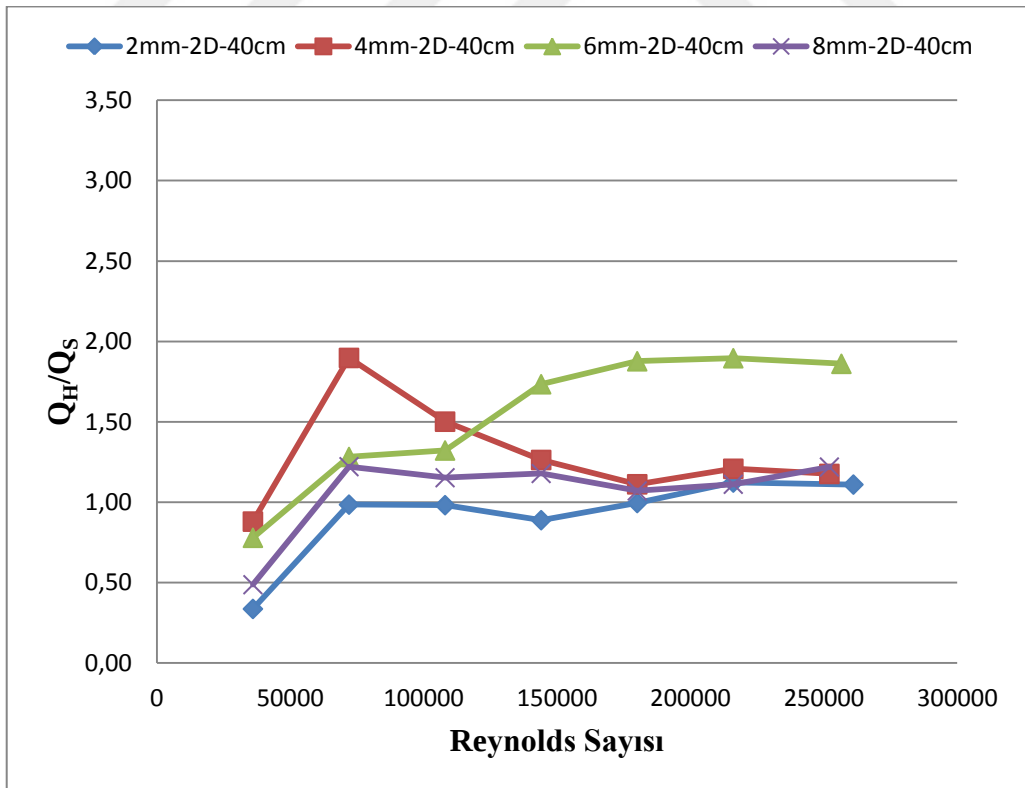
Aşağıda **Şekil 6.9. (a-c)**' de 2D boyundaki 2mm, 4mm, 6mm ve 8mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için hava delik çapının hava giriş oranına etkisi kıyas edilmiştir. 2D boyuna ait bütün grafiklerde Re artışıyla (Q_H/Q_S) de artmıştır. Ancak maksimum havalandırma oranı küçük Re değerleri için 4mm'lik hava delikli ağızlıklarda oluşurken büyük Re değerleri için 6mm'lik hava delikli ağızlıklarda oluşmuştur. 4mm hava delik çaplı ağızlıklarda 75000 Re değerleri civarı maksimum hava giriş oranı elde edilmiştir.



(a)



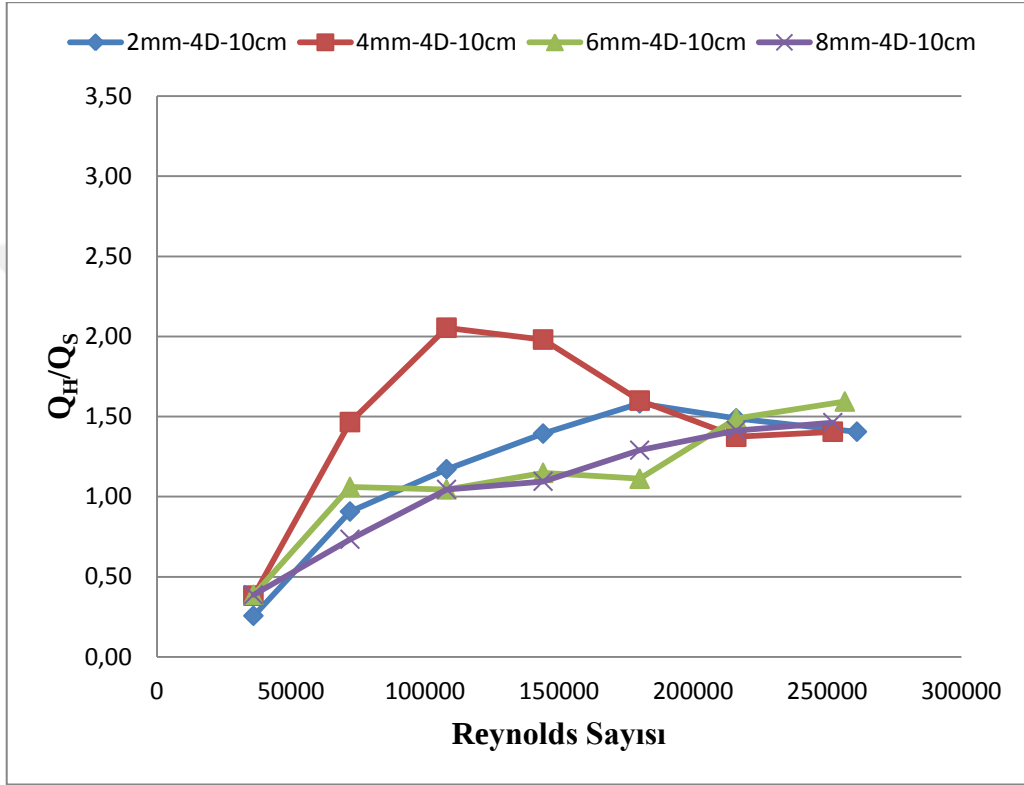
(b)



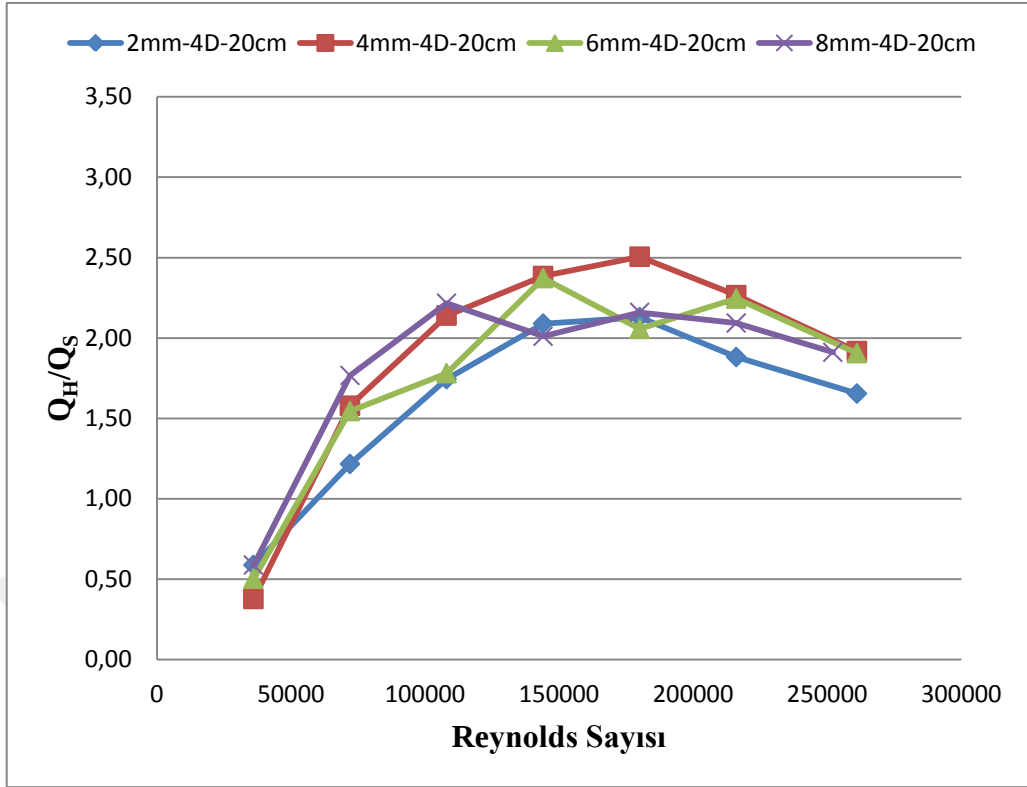
(c)

Şekil 6.9. (a-c) 2D ağızlık boyu için hava delik çaplarının hava giriş oranlarına etkisi

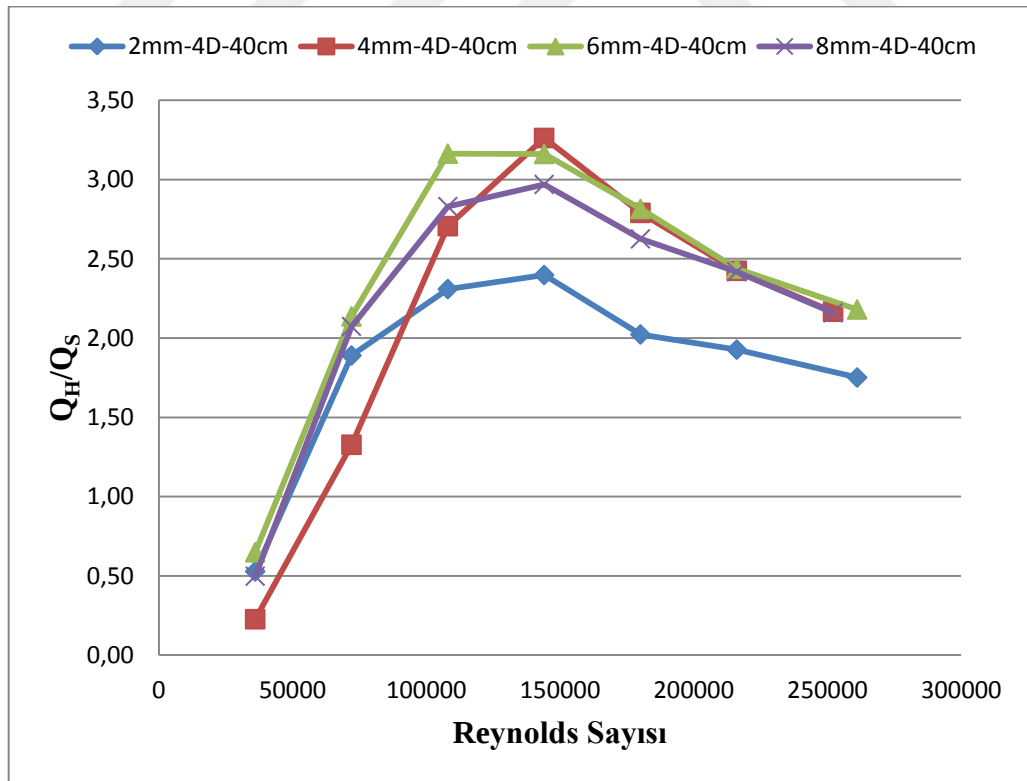
Şekil 6.10. (a-c)’ de 4D boyundaki 2mm, 4mm, 6mm ve 8mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için hava delik çapının hava giriş oranına etkisi kıyas edilmiştir. Ortalama 150000 R_e değerlerinde maksimum (Q_H/Q_S) oranı elde edilmiştir. Hava delik çaplarının hava giriş oranına etkisi R_e göre değişkenlik gösterirken tüm ağızlıklarda maksimum hava giriş oranı 4mm hava delik çapında görülmüştür.



(a)



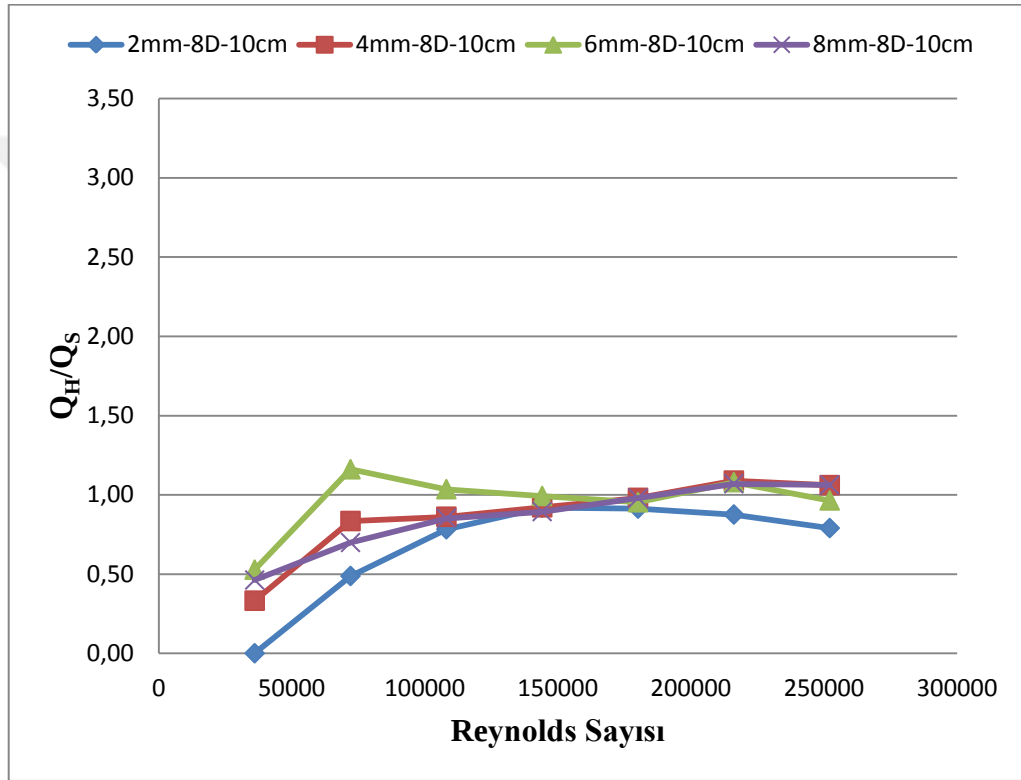
(b)



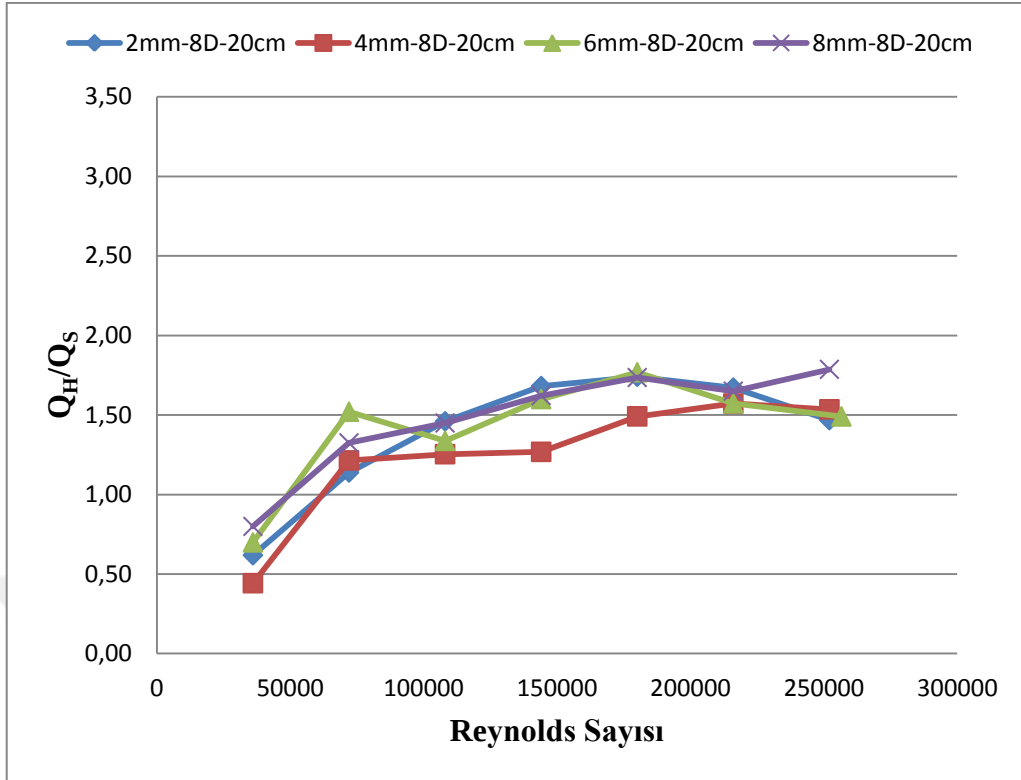
(c)

Şekil 6.10. (a-c) 4D ağızlık boyu için hava delik çaplarının hava giriş oranlarına etkisi

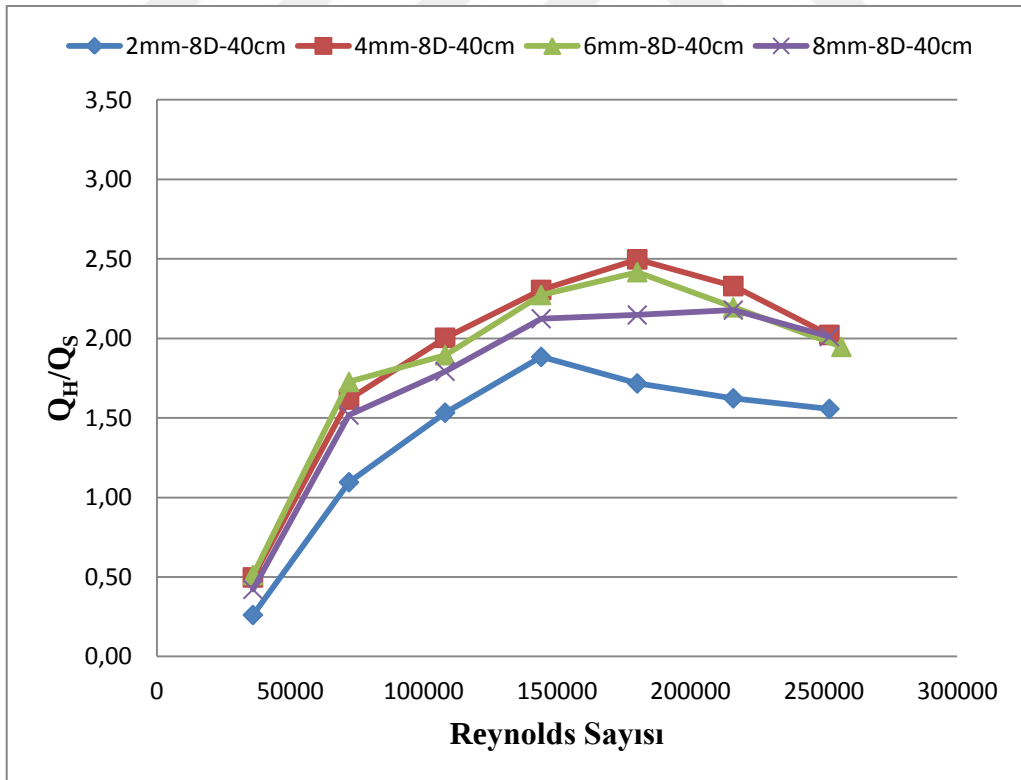
Şekil 6.11. (a-c)’ deki grafiklerde 8D boyundaki 2mm, 4mm, 6mm ve 8mm hava delik çapına sahip ağızlıklar için hava delik çapının hava giriş oranına etkisi kıyas edilmiştir. Hava delik çaplarının hava giriş oranına etkisi Re göre değişkenlik gösterirken ağızlıklarda maksimum hava giriş oranı değeri de hava delik çapı etkisi de değişkenlik göstermiştir. 10cm’lik çarpma mesafesinde 6mm, 20cm’lik çarpma mesafesinde 8mm, 40cm’lik çarpma mesafesinde ise 4mm hava delik çapında maksimum (Q_H/Q_S) görülmüştür. 8D boyundaki ağızlıklarda hava giriş oranları hava deliği çap değişiminden çok fazla etkilenmemiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.11. (a-c) 8D ağızlık boyu için hava delik çaplarının hava giriş oranlarına etkisi

Şekil 6.9. (a-c), Şekil 6.10. (a-c) ve Şekil 6.11. (a-c)'de deneylerde kullanılan tüm ağızlıklar için hava delik çapının (Q_H/Q_S)' ye etkisi R_e bağılı olarak araştırılmıştır. Hava giriş oranları bakımından genel olarak en iyi sonuçların 4mm ve 6mm hava delik çapına sahip ağızlıklarda olduğu görülmüştür. Küçük R_e değerlerinde 4mm, büyük R_e değerlerinde ise 6mm delik çapı daha iyi sonuç vermiştir. Ancak maksimum hava giriş oranları 4mm hava delik çapına sahip ağızlık tiplerinde elde edilmiştir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

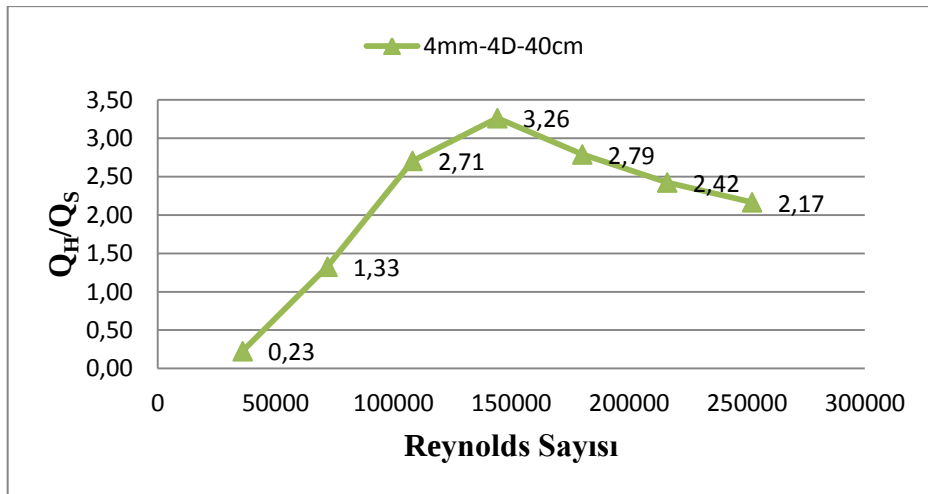
Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip su jeti ağızlıkları imal edilerek bir dizi deney yapılmış ve su jetlerinin havalandırma performansları kıyas edilip maksimum hava girişi için en uygun modelin tasarlanması amaçlanmıştır. Bu maksatla havalandırma performansına etki eden parametreler olarak; farklı su jeti ağızlık uzunlukları, farklı hava delik çapları ve jetin farklı çarpma mesafeleri için debi değerlerine bağlı olarak hava emme performansları belirlenmiştir.

Sonuçlar genel olarak jetin çarpma mesafesinin artmasıyla hava giriş oranının arttığını göstermiştir. Deneylerde kullanılan çarpma mesafeleri için genel olarak en uygun su jeti uzunluğunun 40cm olduğu görülmüştür.

Su jeti ağızlık boylarına bakıldığında ise hemen hemen hepsi için en uygun jet ağızlık boyunun 4D olduğu sonucuna varılmıştır. Su jeti ağızlık boyunun artmasının veya azalmasının hava giriş oranına doğrusal bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Hava delik çaplarının hava giriş oranı üzerindeki etkisi incelendiğinde küçük Re değerlerinde 4mm, büyük Re değerlerinde ise 6mm delik çapı daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak maksimum hava giriş oranları 4mmlik ağızlık tiplerinde elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmanın sonunda en iyi hava giriş oranı sonucu 4mm hava delik çapı, 4D jet ağızlık boyu ve 40cm çarpma mesafesine sahip su jetinde yaklaşık 150000 Re değerinde elde edilmiştir. Grafik aşağıda Şekil 7.1' de sunulmuştur.



Şekil 7.1. Re bağlı maksimum hava giriş oranı elde edilen ağızlığa ait grafik

Bu çalışmada su jetinin ağızlık uzunluğu, çarpma mesafesi ve hava delik çapı değiştirilmiş, jet pürüzlendirerek sadece hava giriş oranı üzerinde çalışılmış ve hava giriş oranı arttırılmaya çalışılmıştır. Su jetlerine ait penetrasyon derinliklerine dair herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Ancak daha önceki araştırmalar göstermiştir ki giren hava miktarının çokluğu kadar penetrasyon derinliği de havalandırma ve oksijen transferi açısından önemlidir. Bundan sonraki aşamalarda erimiş oksijen konsantrasyonunun ölçümleri yapılarak da en uygun nozzle boyu, çarpma mesafesi ve hava delik çapı belirlenebilir.



KAYNAKLAR

- Ahmed, A., 1974. "Aeration by plunging liquid jet", Ph.D. thesis, Loughborough University of Technology.
- Albrecht, D., 1968. Belüftung des ruhrwassers am wehr spiellenburg, Die Wasserwirtschaft, 11.
- Avery, S. and Novak, P., 1978. Oxygen transfer at hydraulic structures. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. 104 (HY11): 1521–1540.
- 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.
- Bagatur, T., 2008. Basamaklı kaskat havalandırıcıların optimal tasarımı, D.S.Đ. Teknik Bulteni, 104, 63-69 s.
- Baylar, A., 2002. Savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 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. and Emiroglu, M.E., 2007. The Role of Weir Types in Entrainment of Air Bubbles, International Journal of Science & Technology Volume 2, No 2, pp. 143-154.
- Baylar,A.,Özkan,F.,Ünsal,M., 2007. Serbest Yüzeyle Akım Sistemleri ile Sularda Hızlandırılmış Oksijen Transferi, III.Ulusal Su Mühendisliği Bildiriler Kitabı,s 37. İzmir.
- Bin, A. K., 1993. Gas entrainment by plunging liquid jets, Chemical 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
- Chanson, H., BattenbergT., 2000. Experimental study of the air-water shear flow in a hydraulic Jump. Int. J. of Multiphase Flow. 26, 583-607.
- Cummings, P. D. and Chanson H., 1997. Air entrainment in the developing flow region of plunging jets-part 1: Theoretical development, journal of fluids Engineering, 119, pp. 597-602.
- Cummings, P. D. and Chanson H., 1997. Air entrainment in the developing flow region of plunging jets-part 2: Experimental. journal of fluids Engineering, 119, pp. 603-608.

Emiroglu, M.E. and Baylar, A., 2003. 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.

Emiroglu, M.E. and Baylar, A., 2003. The effect of broad-crested weir shape on air entrainment, *Journal of Hydraulic Research*, 41 (6) pp. 649–655.

Grindron, J., 1962. British research on aeration at weir, *Water and Sawage Works*, October.

Gulliver, J. S., and Rindels, A. J., 1990. Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 116(3), 503-523.

Kobus, H. And Koschitzky, H.P., 1991. Local surface aeration at hydraulic structures, *Hydraulic Structures Design Manual*, No. 4, pp. 29-53.

Küçükali, S. 2002 Açık Kanallarda Oksijen Transferi. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

McKeogh and Elsayy 1980 Air retained in pool by plunging water jet. *J. Hydraul. Div. ASCE* 106:1577–1593.

McKeogh and Ervine 1981 Air entrainment rate and diffusion pattern of plunging liquid jets. *Chem. Eng. Sci.* 36:1161–1172.

Nakasone, H., 1987. Study of aeration at weirs and cascades, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*. 113 (1) pp. 64–81.

Novak, P., Guirot, V., Jeftery, A., Reeve, D.E., 2010. *Hydraulic Modelling An Introduction Principles method And Applications* pp. (148-151).

Ohkawa A, Kusabiraki D, Shiokawa Y, Sakai N, Fujii M. 1986. Flow and oxygen transfer in a plunging water system using inclined short nozzles and performance characteristics of its system in aerobic treatment of wastewater. *Biotechnol. Bioeng.* 28:1845–1856.e

Ozkan, F., 2005. Basıncı su borularında hava iletimi ve oksijen transferinin incelenmesi, *Doktora Tezi. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.*

Ozkan, F., Kaya, T. and Baylar, A., 2009. Study of the influence of venturi weir type on air bubble entrainment, *Scientific Research and Essays Vol.*, 4 (11), pp. 1184–1193.

Özkan, F., Baylar, A., Ünsal, M. Tuğal, M., 2009. Konduit ve Venturilerin Havalandırma Performanslarının Karşılaştırılması, *DSİ Teknik Bülten*, Sayı:106, 31-37 s.

Sharma, H. R. (1976). Air-entrainment in high head gated conduits. *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 102 (HY11), 1629–1646.

Tsang, C.C., 1987. Hydraulic and aeration performance of labyrinth weirs, *Ph.D. Thesis*, U.K. University of London,.

Twort AC, Law FM, Crowley FW, Ratnayaka DD. 1994. Water supply, p. 295–324. Edward Arnold, London.

Unsal, M., 2007. Suların havalandırılmasında yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli konduitlerin kullanılması, Doktora Tezi. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Ünsal, M., Tuğal, M., Özkan, F., 2005. Kapaklı Konduitlerde Boy Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi DAUM (Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi), Cilt No:3, Sayı No:3, 132-137.

Van de Sande and Smith 1973 Surface entrainment of air by high velocity water jets. Chem. Eng. Sci. 28:1161–1168

Wormleaton, P.R. and Soufiani, E., 1998. Aeration performance of triangular planform labyrinth weirs, Journal of Environmental Engineering, ASCE. 124 (8) pp. 709–719.

Wormleaton, P.R. and Tsang, C.C., 2000. Aeration performance of rectangular planform labyrinth weirs, Journal of Environmental Engineering, ASCE. 126 (5) pp. 456–465.

EKLER

Bu bölümde deneylere ait dataolar tablolarda halinde verilmiştir. Tablo isimleri sırasıyla hava delik çapı, ağızlık boyu ve çarpma mesafelerine göre ayrılmıştır,

Tablo 1. 2 mm- 2D- 10 cm

Sıra No	$Q_s \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_s (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	-	-	-
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	1,28	0,26	0,32
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	2,63	0,53	0,44
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	3,57	0,72	0,45
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	4,46	0,90	0,45
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	6,56	1,32	0,55
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	7,69	1,55	0,53

Tablo 2. 2 mm- 2D- 20 cm

Sıra No	$Q_s \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_s (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,63	0,13	0,32
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	3,57	0,72	0,90
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	4,10	0,82	0,69
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	6,18	1,24	0,78
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	8,79	1,77	0,88
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	11,01	2,21	0,92
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	12,62	2,54	0,87

Tablo 3. 2 mm- 2D- 40 cm

Sıra No	$Q_s \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_s (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,67	0,13	0,34
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	3,92	0,79	0,99
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	5,86	1,18	0,98
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,07	1,42	0,89
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	9,90	1,99	1,00
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	13,40	2,69	1,12
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	16,01	3,22	1,11

Tablo 4. 2 mm- 4D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,51	0,10	0,26
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	3,61	0,73	0,91
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	6,99	1,41	1,17
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	11,09	2,23	1,39
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	15,74	3,16	1,58
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	17,77	3,57	1,49
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	20,27	4,08	1,41

Tablo 5. 2 mm- 4D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,17	0,24	0,59
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,84	0,97	1,22
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	10,41	2,09	1,74
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	16,63	3,34	2,09
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	21,18	4,26	2,13
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	22,46	4,52	1,88
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	23,86	4,80	1,65

Tablo 6. 2 mm- 4D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,05	0,21	0,53
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	7,52	1,51	1,89
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	13,78	2,77	2,31
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	19,08	3,84	2,40
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	20,12	4,05	2,02
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	23,00	4,62	1,93
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	25,26	5,08	1,75

Tablo 7. 2 mm- 8D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	-	-	-
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	1,94	0,39	0,49
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	4,67	0,94	0,78
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,31	1,47	0,92
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	9,08	1,83	0,91
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	10,45	2,10	0,88
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	11,00	2,21	0,79

Tablo 8. 2 mm- 8D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,23	0,25	0,62
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,53	0,91	1,14
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	8,71	1,75	1,46
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	13,38	2,69	1,68
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	17,31	3,48	1,74
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	19,95	4,01	1,67
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	20,43	4,11	1,47

Tablo 9. 2 mm- 8D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,52	0,10	0,26
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,36	0,88	1,10
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	9,15	1,84	1,53
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	14,99	3,01	1,88
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	17,08	3,43	1,72
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	19,38	3,90	1,62
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	21,68	4,36	1,56

Tablo 10. 4 mm- 2D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	-	-	-
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	3,53	0,71	0,89
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	4,16	0,84	0,70
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	5,68	1,14	0,71
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	5,93	1,19	0,60
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	6,48	1,30	0,54
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	6,80	1,37	0,49

Tablo 11. 4 mm- 2D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,59	0,12	0,30
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	5,86	1,18	1,47
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	6,29	1,26	1,05
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,71	1,55	0,97
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	9,59	1,93	0,96
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	11,52	2,32	0,97
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	12,87	2,59	0,92

Tablo 12. 4 mm- 2D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,75	0,35	0,88
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	7,55	1,52	1,90
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	8,96	1,80	1,50
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	10,05	2,02	1,26
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	11,06	2,22	1,11
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	14,42	2,90	1,21
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	16,38	3,29	1,18

Tablo 13. 4 mm- 4D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,76	0,15	0,38
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	5,83	1,17	1,47
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	12,26	2,47	2,05
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	15,76	3,17	1,98
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	15,91	3,20	1,60
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	16,40	3,30	1,37
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	19,57	3,93	1,41

Tablo 14. 4 mm- 4D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,75	0,15	0,38
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	6,28	1,26	1,58
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	12,77	2,57	2,14
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	18,98	3,82	2,39
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	24,92	5,01	2,51
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	27,05	5,44	2,27
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	27,67	5,56	1,92

Tablo 15. 4 mm- 4D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,45	0,09	0,23
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	5,28	1,06	1,33
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	16,15	3,25	2,71
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	25,96	5,22	3,26
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	27,75	5,58	2,79
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	28,94	5,82	2,42
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	30,17	6,07	2,17

Tablo 16. 4 mm- 8D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,66	0,13	0,33
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	3,32	0,67	0,83
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	5,14	1,03	0,86
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,33	1,47	0,92
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	9,75	1,96	0,98
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	13,00	2,61	1,09
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	14,77	2,97	1,06

Tablo 17. 4 mm- 8D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,88	0,18	0,44
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,83	0,97	1,21
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	7,48	1,50	1,25
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	10,09	2,03	1,27
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	14,83	2,98	1,49
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	18,76	3,77	1,57
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	21,38	4,30	1,54

Tablo 18. 4 mm- 8D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,99	0,20	0,50
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	6,43	1,29	1,62
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	11,96	2,40	2,00
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	18,34	3,69	2,30
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	24,84	4,99	2,50
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	27,80	5,59	2,33
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	28,16	5,66	2,02

Tablo 19. 6 mm- 2D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,00	0,00	0,00
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	1,90	0,38	0,48
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	3,81	0,77	0,64
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	5,41	1,09	0,68
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	6,42	1,29	0,65
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	7,39	1,49	0,62
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	9,18	1,85	0,66

Tablo 20. 6 mm- 2D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,17	0,24	0,59
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,17	0,84	1,05
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	5,56	1,12	0,93
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,02	1,41	0,88
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	10,77	2,17	1,08
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	15,49	3,11	1,30
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	17,06	3,43	1,18

Tablo 21. 6 mm- 2D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,55	0,31	0,78
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	5,10	1,03	1,28
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	7,89	1,59	1,32
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	13,80	2,77	1,73
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	18,67	3,75	1,88
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	22,63	4,55	1,90
7.	2,9	1,539	18,51	1,4000	256628,90400	1,6	26,38	5,30	1,86

Tablo 22. 6 mm- 4D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,77	0,15	0,39
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,22	0,85	1,06
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	6,24	1,25	1,05
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	9,14	1,84	1,15
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	11,06	2,22	1,11
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	17,76	3,57	1,49
7.	2,9	1,539	18,51	1,4000	256628,90400	1,6	22,59	4,54	1,59

Tablo 23. 6 mm- 4D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,00	0,20	0,50
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	6,15	1,24	1,55
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	10,63	2,14	1,78
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	18,88	3,80	2,37
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	20,46	4,11	2,06
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	26,80	5,39	2,25
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	27,49	5,53	1,91

Tablo 24. 6 mm- 4D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,29	0,26	0,65
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	8,50	1,71	2,14
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	18,88	3,80	3,16
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	25,16	5,06	3,16
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	28,00	5,63	2,81
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	29,10	5,85	2,44
7.	2,9	1,539	18,84	1,4000	261131,16547	1,6	31,45	6,32	2,18

Tablo 25. 6 mm- 8D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,05	0,21	0,53
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,62	0,93	1,16
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	6,18	1,24	1,04
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,90	1,59	0,99
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	9,48	1,91	0,95
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	12,89	2,59	1,08
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	13,43	2,70	0,96

Tablo 26. 6 mm- 8D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,39	0,28	0,70
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	6,05	1,22	1,52
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	7,98	1,60	1,34
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	12,73	2,56	1,60
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	17,59	3,54	1,77
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	18,78	3,78	1,57
7.	2,9	1,539	18,51	1,4000	256628,90400	1,6	21,13	4,25	1,49

Tablo 27. 6 mm- 8D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,02	0,21	0,51
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	6,87	1,38	1,73
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	11,31	2,27	1,90
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	18,09	3,64	2,27
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	24,04	4,83	2,42
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	26,21	5,27	2,20
7.	2,9	1,539	18,51	1,4000	256628,90400	1,6	27,60	5,55	1,95

Tablo 28. 8 mm- 2D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,41	0,08	0,21
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	2,98	0,60	0,75
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	4,13	0,83	0,69
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	5,34	1,07	0,67
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	5,69	1,14	0,57
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	6,33	1,27	0,53
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	7,17	1,44	0,51

Tablo 29. 8 mm- 2D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,92	0,18	0,46
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,02	0,81	1,01
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	5,23	1,05	0,88
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,00	1,41	0,88
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	8,19	1,65	0,82
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	10,16	2,04	0,85
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	10,73	2,16	0,77

Tablo 30. 8 mm- 2D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,97	0,20	0,49
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	4,86	0,98	1,22
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	6,88	1,38	1,15
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	9,38	1,89	1,18
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	10,65	2,14	1,07
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	13,27	2,67	1,11
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	16,98	3,41	1,22

Tablo 31. 8 mm- 4D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,77	0,15	0,39
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	2,92	0,59	0,73
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	6,24	1,25	1,05
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	8,72	1,75	1,10
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	12,83	2,58	1,29
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	16,87	3,39	1,41
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	20,37	4,10	1,46

Tablo 32. 8 mm- 4D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,17	0,24	0,59
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	7,03	1,41	1,77
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	13,23	2,66	2,22
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	16,00	3,22	2,01
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	21,48	4,32	2,16
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	24,98	5,02	2,09
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	26,61	5,35	1,91

Tablo 33. 8 mm- 4D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,99	0,20	0,50
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	8,25	1,66	2,07
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	16,89	3,40	2,83
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	23,63	4,75	2,97
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	26,12	5,25	2,63
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	28,87	5,80	2,42
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	30,07	6,05	2,16

Tablo 34. 8 mm- 8D- 10 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,92	0,18	0,46
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	2,78	0,56	0,70
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	5,08	1,02	0,85
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	7,11	1,43	0,89
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	9,74	1,96	0,98
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	12,77	2,57	1,07
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	14,79	2,97	1,06

Tablo 35. 8 mm- 8D- 20 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_S (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	1,59	0,32	0,80
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	5,27	1,06	1,32
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	8,65	1,74	1,45
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	12,90	2,59	1,62
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	17,26	3,47	1,74
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	19,69	3,96	1,65
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	24,88	5,00	1,79

Tablo 36. 8 mm- 8D- 40 cm

Sıra No	$Q_S \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	$A_w \times 10^{-4}$ m ²	V_w (m/sn)	$d \times 10^{-2}$ m	Re (-)	$d_A \times 10^{-2}$ (m)	V_A (m/sn)	$Q_H \times 10^{-3}$ (m ³ /sn)	Q_H/Q_A (-)
1.	0,4	1,539	2,60	1,4000	36018,09179	1,6	0,84	0,17	0,42
2.	0,8	1,539	5,20	1,4000	72036,18358	1,6	6,04	1,21	1,52
3.	1,2	1,539	7,80	1,4000	108054,27537	1,6	10,70	2,15	1,79
4.	1,6	1,539	10,39	1,4000	144072,36716	1,6	16,90	3,40	2,12
5.	2,0	1,539	12,99	1,4000	180090,45894	1,6	21,36	4,29	2,15
6.	2,4	1,539	15,59	1,4000	216108,55073	1,6	26,00	5,23	2,18
7.	2,8	1,539	18,19	1,4000	252126,64252	1,6	28,01	5,63	2,01

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Malatya’ da doğdu. İlköğretim ve orta öğretimi Malatya’ da tamamladı. 2013 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği programından mezun oldu. 2013-2016 yılları arasında özel şirketlerde inşaat mühendisliği yaptı. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisansa devam etmekte.

