



**KAPAKLI KONDUİTLİ FLOTASYON HÜCRELERİ
FİZİKSEL PARAMETRELERİNİN
HAVALANDIRMA PERFORMANSINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnşaat Müh. Ayça AYTAÇ
(152115101)**

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M.Cihat TUNA

MAYIS-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPAKLI KONDUİTLİ FLOTASYON HÜCRELERİ FİZİKSEL
PARAMETRELERİNİN HAVALANDIRMA PERFORMANSINA ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

AYÇA AYTAÇ
152115101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.04.2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.05.2017

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Danışman: Yrd.Doç.Dr.M.Cihat TUNA

Üye: Prof.Dr.Fahri ÖZKAN

Üye: Doç.Dr.Mehmet ÜNSAL

MAYIS-2017

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında destek ve yardımlarını gördüğüm, bilimsel anlamda bu çalışmayı yöneten danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. M. Cihat TUNA'ya bütün emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmasına ait deney setlerinin kurulmasındaki yardımlarından dolayı Bünyamin Canpolat ile Hidrolik Laboratuvarı teknisyeni Muhammet Kartal'a, bu süreçte göstermiş oldukları desteklerinden dolayı Hüma Bozkurt ve tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayça AYTAÇ
ELAZIĞ - 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Havalandırma Kavramı.....	2
1.1.1. Havalandırma Amaçlı Kullanılan Hidrolik Yapılar	3
1.1.1.1. Su Jetleri	4
1.1.1.1.1. Su Jeti Dalma Açısı ve Su Jeti Penetrasyon Derinliği.....	4
1.1.1.2. Venturiler	5
1.1.1.3. Konduitler	6
1.1.1.3.1. Serbest Yüzeyli Konduitler.....	6
1.1.1.3.2. Basınçlı Konduitler	7
1.1.2. Havalandırma İle İlgili Literatür Özeti	8
1.2. Flotasyon Kavramı.....	12
1.2.1. Flotasyon Çeşitleri	13
1.2.1.1. Hava Flotasyonu	13
1.2.1.2. Vakum Flotasyonu	13
1.2.1.3. Çözünmüş Hava Flotasyonu	14
1.2.1.4. Su Jeti İle Flotasyonu (Yüzdürme).....	15
1.2.2. Flotasyon İle İlgili Literatür Özeti	16
2. MATERYAL VE METOT	19
2.1. Deneylerin Yapım Aşaması.....	25
3. BULGULAR	27
3.1. Flotasyon Hücre Çapının Havalandırma Performansına Etkisi.....	27
3.2. Flotasyon Hücresine Giren Su Jeti Dalma Açısının Havalandırma Performansına Etkisi.....	35
3.3. Flotasyon Hücresi Kolon Boyunun Havalandırma Performansına Etkisi.....	44
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	54
5. ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Hızla artan dünya nüfusu ve endüstride yaşanan hızlı gelişme; evsel ve endüstriyel atıkların dönüştürülmesi zorunluluğu, mevcut kaynakların daha etkin kullanımı gibi sorunları beraberinde getirirken, ortaya çıkan bu çok boyutlu problemlerin çözümü için disiplinler arası çalışmalar yapılması zorunlu hale gelmiştir. Maden, malzeme, çevre ve inşaat mühendisliği gibi farklı bilim dallarının ortak çalışma prensiplerini içeren flotasyon işlemi bahse konu olan problemlerin çözümü için son yıllarda yaygın olarak kullanmaya başlanmıştır.

Flotasyon, metalik ve metalik olmayan cevherlerin işlenmesi, partiküllerin ve yağların atık sudan ayrılmasının etkili bir yoludur. Flotasyon hücreleri içerisine çeşitli yöntemlerle sokulan hava kabarcıkları sayesinde flotasyon işlemi daha etkin bir şekilde yapılmaktadır. Bir nevi havalandırma olarak da nitelendirilebilecek bu işlem flotasyon teknolojileri arasında yerini almıştır. Havalandırılma çeşitli şekillerde yapılabilir. Özellikle suların havalandırılmasında kullanılan yüksek basınçlı konduitler bunun bir örneğidir. Basınçlı konduitte akım yüksek hızlı hava-su karışımı akışını içerir. Çok sayıda kabarcık şeklinde akıma sürüklenen hava, havalandırma verimliliğini dolayısıyla flotasyon performansını artırır.

Bu çalışmada, yüksek basınçlı bir konduit, flotasyon hücresine entegre edilerek sisteme hava kabarcığı girişinin sağlanması amaçlanmıştır. Geliştirilen pilot ölçekli yeni sistemde hücre çapı, hücre kolon boyu, hücreye giren hava-su jeti dalma açısı ve sisteme verilen su debisi gibi parametrelerin havalandırma performansı ve flotasyon verimine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak; bu sistem sayesinde flotasyon hücresine çok yüksek miktarda hava kabarcığı girişi sağlanmıştır. Yeni nesil bir flotasyon ve havalandırma sistemi olan konduit ile desteklenmiş flotasyon hücresinin flotasyon işlemi içinde çok etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Havalandırma, Konduit, Flotasyon, Su jeti

SUMMARY

The Effect On Aeration Performance Of Physical Parameters Of Head Gated Conduits Flotation Cells

Rapidly growing world population and rapid development which is experienced in industry; the necessity of converting household and industrial waste, while bringing problems such as more efficient use of available resources, making interdisciplinary studies have been required to solve these multidimensional problems. Flotation process which is including the common working principles of different sciences such as mining, materials, environment and civil engineering has been used generally in recent years for the solution of the mentioned problems.

Flotation is an effective way of separating particles and oils from waste water and processing of metallic and non-metallic ores. Flotation is carried out more efficiently through air bubbles introduced into the flotation cells by various methods. This process which can be described as a kind of aeration takes place among the flotation technologies. Aeration can be done in various forms. Especially high pressure conduits used for the aeration of water are an example of this. The air which is led to flow like numerous bubbles increases air efficiency where it increases flotation performance.

In this study, it is aimed to supply the system with air bubbles by integrating conduit with high pressure into flotation cell. In improved pilot scale new system, the aeration performance and efficiency on flotation efficiency of the parameters such as water flow that is given to the system, cell diameter, cell column length, plunge angle of air-water jet entering into cell, has been studied experimentally. As a result; it is provided a large amount of air bubble entry to flotation cell by the agency of this system. It has been seen that the flotation cell supported by conduit which is new generation flotation and aeration system can be used very effectively in the flotation process.

Keywords: Aeration, Conduit, Flotation, Water jet.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. (a-b) Savaklar	3
Şekil 1.2. Su jeti tipleri	4
Şekil 1.3. Bir venturi aygıtının görünümü	6
Şekil 1.4. Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı	6
Şekil 1.5. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım	7
Şekil 1.6. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım	7
Şekil 1.7. Kapaklı konduit içerisinde oluşan iki fazlı akım rejimleri; a) sadece hava akışı, b) sprey (püskürtme şeklinde) akım, c) serbest yüzeyli akım, d) köpüklü akım, e) hidrolik sıçrama 1, f) hidrolik sıçrama 2, g) sadece su akışı	8
Şekil 2.1. Deney düzeneği kesiti.....	19
Şekil 2.2. Deney düzeneğinin üstten görünümü.....	19
Şekil 2.3. Flotasyon hücre çaplarının şematik görünüşü.....	20
Şekil 2.4. Flotasyon hücresinde farklı hava-su jeti dalma açısı sağlayan 1-2-ve 3 nolu girişler.....	21
Şekil 2.5. Flotasyon hücresinde farklı kolon boyları	22
Şekil 2.6. Yüksek basınçlı kapaklı konduit.....	22
Şekil 2.7. Debimetre.....	24
Şekil 2.8. Anenometre	24
Şekil 3.1.1. $H=0$ cm, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	27
Şekil 3.1.2. $H=0$ cm, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi	28
Şekil 3.1.3. $H=0$ cm, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi	28
Şekil 3.1.4. $H=25$ cm, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi	29
Şekil 3.1.5. $H=25$ cm, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi	29
Şekil 3.1.6. $H=25$ cm, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	30
Şekil 3.1.7. $H=50$ cm, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	30
Şekil 3.1.8. $H=50$ cm, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	31

Şekil 3.1.9. $H=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	31
Şekil 3.1.10. $R=0.92$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü.....	32
Şekil 3.1.11. $R=1.30$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü	33
Şekil 3.1.12. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü	34
Şekil 3.2.1. $R=0.92$ m, $h=0$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	36
Şekil 3.2.2. $R=0.92$ m, $h=25$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	36
Şekil 3.2.3. $R=0.92$ m, $h=50$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	37
Şekil 3.2.4. $R=1.30$ m, $h=0$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	37
Şekil 3.2.5. $R=1.30$ m, $h=25$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	38
Şekil 3.2.6. $R=1.30$ m, $h=50$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	38
Şekil 3.2.7. $R=1.60$ m, $h=0$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	39
Şekil 3.2.8. $R=1.60$ m, $h=25$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	39
Şekil 3.2.9. $R=1.60$ m, $h=50$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	40
Şekil 3.2.10. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü	41
Şekil 3.2.11. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=45^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü	42
Şekil 3.2.12. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=30^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü	43
Şekil 3.3.1. $R=0.92$ m, $\alpha=30^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	45
Şekil 3.3.2. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	45
Şekil 3.3.3. $R=0.92$ m, $\alpha=60^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	46
Şekil 3.3.4. $R=1.30$ m, $\alpha=30^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	46
Şekil 3.3.5. $R=1.30$ m, $\alpha=45^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	47
Şekil 3.3.6. $R=1.30$ m, $\alpha=60^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	47
Şekil 3.3.7. $R=1.60$ m, $\alpha=30^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	48
Şekil 3.3.8. $R=1.60$ m, $\alpha=45^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi.....	48
Şekil 3.3.9. $R=1.60$ m, $\alpha=60^\circ$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi	49
Şekil 3.3.10. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$, $h=0$ cm alternatifi ve kabarcık görünümü	50
Şekil 3.3.11. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$, $h=25$ cm alternatifi ve kabarcık görünümü.....	51
Şekil 3.3.12. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$, $h=50$ cm alternatifi ve kabarcık görünümü.....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler	23
--	----



SEMBOLLER LİSTESİ

g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H	: Flotasyon kolon yüksekliği (cm)
Q_a	: Hava debisi (m^3/s)
Q_w	: Su debisi (m^3/s)
q_j	: Birim genişlikten geçen debi ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
R	: Kolon hücre çapı (m)
r	: Kolon hücre yarıçapı (m)
Fr	: Froude Sayısı
V_A	: Hava debisinin hızı (m/sn)
V_j	: Su jeti hızı (m/sn)
V_w	: Su debisinin hızı (m/sn)
α	: Jet dalma açısı (derece)
ε	: Su jeti yüzey pürüzlülüğü
μ	: Akışkanın dinamik vizkositesi
ρ	: Akışkanın yoğunluğu
ρ_{20}	: 20 °C sıcaklıktaki özgül kütle
σ	: Yüzey gerilmesi
ν	: Akışkanın kinematik vizkositesi
ν_{20}	: 20 °C sıcaklıktaki kinematik vizkosite

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyamızda endüstrinin baş döndürücü bir hızla gelişmesine paralel olarak mevcut yer altı kaynaklarının veya evsel ve endüstriyel kaynaklı atıkların değerlendirilmesine yönelik farklı bilim dallarını da içine alan birçok çalışma yapılmaktadır. Malzeme mühendisliği, maden mühendisliği, çevre ve inşaat mühendisliği bilim dalları bu konularda ortak çalışmalar yürütmektedir. Bahse konu bilim dallarının bu ortak çalışmalarından en bilinenlerinden biri flotasyon yöntemidir. Flotasyon yöntemi, metalik ve metalik olmayan cevherlerin işlenmesi, evsel ve endüstriyel kaynaklı atık suların tasfiyesi, maden işleme tesislerinde cevher yüzdürme gibi onlarca amaç için yapılmaktadır. Tüm bu işlemlerin yapılmasında havalandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla flotasyon tesislerinde havalandırma ünitelerinin performansının önemi oldukça büyüktür.

Havalandırmanın gayesi hava içerisindeki oksijenin su içerisine transfer edilmesi veya su içerisindeki istenmeyen gazların uzaklaştırılması olarak açıklanabilir.

Oksijen, su içerisinde gerçekleşen birçok kimyasal ve biyolojik olayda kullanılır. Bu olaylar sonucunda sudaki çözünmüş oksijen yoğunluğu azalır. Azalan bu çözünmüş oksijen yoğunluğu sınır değerlerine yükseltilmelidir. Bu amaçla atmosferden alınan oksijenin, tekrar suya kazandırılması gerekir.

Günümüzde İnşaat Mühendisliği prensipleri kullanılarak tasarlanan hidrolik yapılar ile havalandırma işlemi yapılmaktadır. Bu sayede atmosferdeki oksijenin suya kazandırılması mümkün olmaktadır [61].

Ayrıca farklı bir disiplin dalı olan malzeme mühendisliğinde, cevher zengileştirme yöntemi olarak yapılan flotasyon işleminde de cevher-su konsantrasyonuna çeşitli yöntemlerle havalandırma işlemi uygulanmaktadır. Flotasyon, ince katı tanelerin sıvı içerisine havalandırma yöntemi ile sağlanacak hava veya gaz kabarcıklarına tutunarak sıvı yüzeyine taşınması işlemi olarak tarif edilebilir.

Bu çalışma ile malzeme ve çevre mühendisliğinin konusu olan flotasyon işlemi ve su mühendisliğinde kullanılan havalandırma işlemi pilot ölçekli bir deney düzeneği kullanılarak birleştirilmiş ve havalandırma performansı ile flotasyon hücresine olan etkileri incelenmiştir. Hali hazırda kullanılan havalandırma sistemlerine alternatif gösterilebilecek kapaklı kondüitler ve yeni nesil bir flotasyon ve havalandırma sistemi olan kondüit ile desteklenmiş flotasyon hücresi üzerinde, bir takım deneysel ve gözlemsel çalışmalar

yapılmıştır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalar Fırat Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarında yürütülmüştür.

Farklı bilim disiplinlerini bir araya getiren bu yöntemde, iki fazlı yüksek basınçlı akım meydana gelmektedir. Bu akım modellerinde küçük kabarcıklar şeklinde flotasyon hücresine sokulan hava, farklı değişkenlere bağlı olarak atmosferden çekilmektedir. Hücre içerisine yoğun bir şekilde giren hava kabarcıklarının flotasyon işleminin performansını doğrudan arttıracakları öngörülmektedir.

Yapılan bu çalışmada, kapaklı kondüit ile desteklenmiş flotasyon hücrelerinde havalandırma performansı için önemli olan işletim parametreleri tanımlanmış, kondüitlerde; farklı debi değerleri için, flotasyon hücresindeyse; farklı hücre çapları, farklı su jeti dalma açıları ve farklı kolon boyları için geri devirli sistemlerde havalandırma performansları deneysel olarak elde edilmiştir.

1.1. Havalandırma Kavramı

Atmosferdeki oksijenin suya geçişi bir gaz transfer olayıdır. Sıvıların havalandırılma işlemi ise sıvı ve gaz fazları arasında gerçekleşen bir kütle transferidir. Havalandırma kavramı, havanın suyla temasının artırılması ve suyun fiziki durumunu iyileştirme amacı ile kullanılan tabii veya yapay metodların genelidir.

Günümüzde birçok farklı sebeple akarsulardaki çözünmüş oksijen yoğunluğu azalmaktadır. Bu azalma ekolojik dengede büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Ekolojik sistemi muhafaza etmek için, akarsularda azalan oksijen yoğunluğu yeniden limit değerlerine getirilmelidir. Fazla miktarda hava kabarcığının suya kazandırılması oksijen transferini hızlandırmaktadır. Bu hava kabarcıkları, kütle transferinin gerçekleşmesi için gereken yüzey alanının arttırır. Böylece suya kazandırılan oksijen miktarında da artış gerçekleşir.

Havalandırma sistemlerinin genel olarak kullanım amaçları şunlardır:

- Suyun, atmosferde bulunan oksijen gazını tekrardan kazanmasını sağlamak
- Atık suların arıtılmasını sağlamak
- Karbondioksitin kazandırılmasını veya ortamdan çıkarılmasını sağlamak
- Uçucu özelliğe sahip yağ ve kimyasal maddelerin uzaklaşmasını sağlamak
- Su ortamındaki hidrojen sülfürün uzaklaşmasını sağlamak
- Metan gazının su içerisinden uzaklaşmasını sağlamak

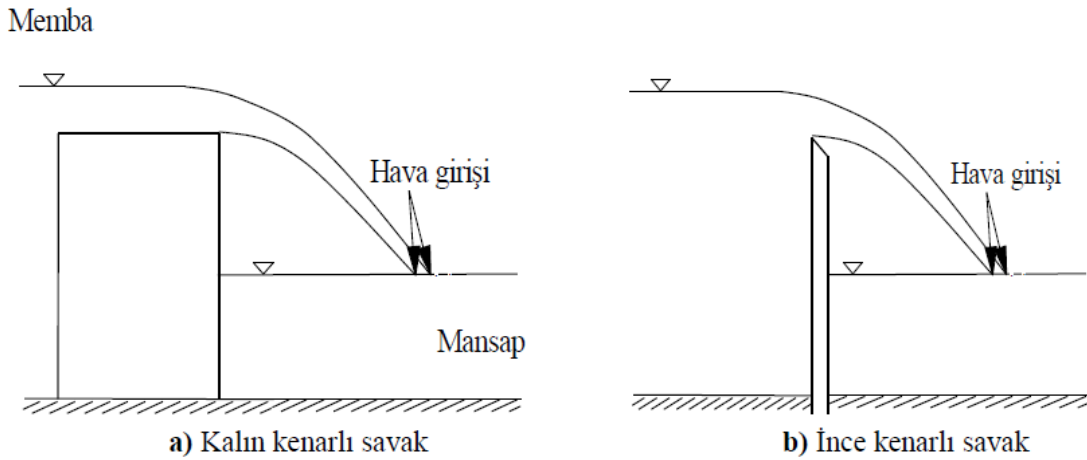
1.1.1. Havalandırma Amaçlı Kullanılan Hidrolik Yapılar

Hidrolik yapıların bir kısmı havalandırma amacıyla da kullanılmaktadır. Bu yapılar iki kısma ayrılır. Bunlar; serbest yüzeyli ve basınçlı akım sistemleridir.

Serbest yüzeyli akımlar, sadece atmosfer basıncının sıvı yüzeyine temas ettiği akımlardır. Nehirler, kanal ve kapalı yatakları tümüyle doldurmayan akımlar bu akım türünün örnekleri olarak gösterilebilir. Serbest yüzeyli kondüitler, savak ve basamaklı kaskat örnekleri serbest yüzeyli hidrolik yapılar arasında yer almaktadır.

Atmosfer basıncının sıvı yüzeyine etki etmediği yani serbest yüzeyin olmadığı ve kesiti tümüyle doldurmuş olan akımlar ise basınçlı akım olarak tanımlanmaktadır. Bu tür akımların olduğu hidrolik yapılarda, yapının herhangi bir yerinde oluşacak bir delik yapının içinde bulundurduğu suyu basınçlı bir şekilde dışarıya çıkaracaktır. Basınçlı akımlara birçok yapıda rastlanılmaktadır. Borular, kuyular, galeri ve tüneller bu yapılara örnektir. Basınçlı akım sistemleri suların havalandırılmasında da kullanılmaktadır. Bu sistemlere örnek olarak; basınçlı kondüit, su jeti, venturi ve nozzle gösterilebilir.

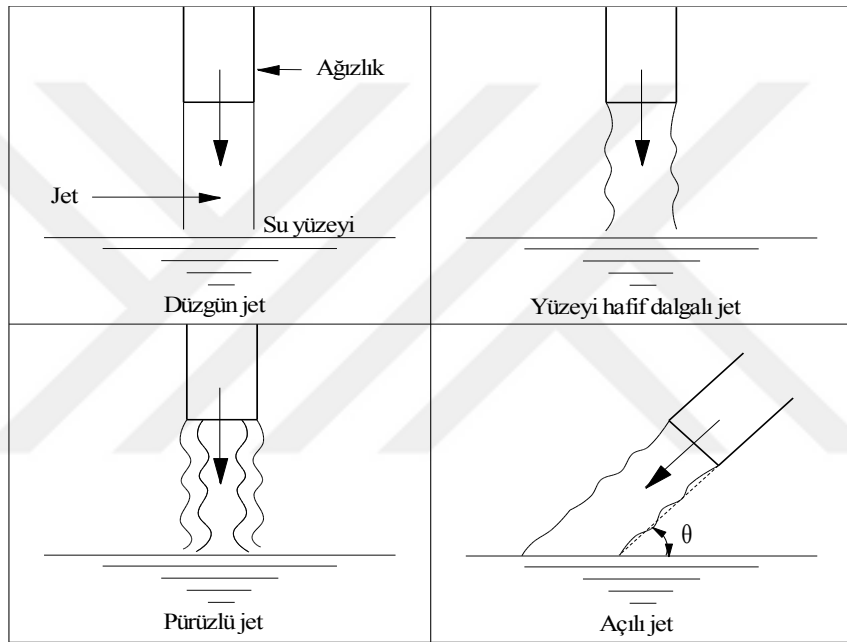
Hidrolik yapıların seçimi esnasından birçok özellik dikkate alınmalıdır. Akarsuyun büyüklüğü, akarsunun bulunduğu konum gibi özellikler bunların başında yer almaktadır. Örnek olarak Şekil 1.1'de bulunan savak tiplerinde, suyun mambadan mansaba düşüm yüksekliğinin kritik bir limiti aşması durumunda serbest düşen su jeti parçacıklar şeklinde gelmiş ve mansapta küçük bir penetrasyon derinliğine yol açmaktadır [1].



Şekil 1.1. (a-b) Savaklar [1].

1.1.1.1.Su Jetleri

Yüksek hızlı ve bir ağızlıktan çıkan akışkan akımı su jeti olarak adlandırılır. Şekil 1.2.'de de görüldüğü üzere; su jeti bir orifis veya boru ucundan çıkan akışkan akımıdır. Hava veya başka bir sıvı akışkan ile çevrelenmiştir. Hava ile çevrelenen su jeti, serbest jet olarak isimlendirilir ve direkt olarak yerçekimi etkisi altındadır. Akışkanlar mekaniğinde bu tarz su jetleri dalmalı jet olarak adlandırılır. Eğer su jeti farklı bir sıvı akışkan (örneğin; su) ile çevrelenmişse bu tarz su jetleri ise batık jet olarak adlandırılmaktadır [2].



Şekil 1.2. Su jeti tipleri [2].

Su jetleri havadaki serbest oksijeni kullanarak havalandırmanın yanı sıra karıştırma işini de yapmaktadır [3]. Su jetleri hakkında araştırmaların yapmış oldukları çalışmalar incelendiği zaman bu çalışmaların büyük bir kısmında dairesel ağızlıklardan yararlanıldığı görülmüştür.

1.1.1.1.1. Su Jeti Dalma Açısı ve Su Jeti Penetrasyon Derinliği

Jetin çarpma açısı havalandırma performansını önemli derecede etkilemektedir. Çift ağırlıklı jetlerde yüksek oksijen transferi, 60 derece çarpma açısında elde edilmektedir [57].

Sıvı karışımı üzerinde de çarpmanın etkili olduğu söylenebilir. Karışım zamanı düşürkem jet gücünü arttırarak mümkün olmasına rağmen jet açısı değişimi ile daha küçük jet güçlerinde daha küçük karışım zamanı elde edilebilir.

Hava kabarcıkları penetrasyon derinliği, su tankı havalanan bölgenin en son noktası ile su yüzeyi arasındaki düşey mesafedir. Bu derinliğin yükselen hava kabarcıkları ve bu kabarcıkları çeviren su ortamı arasında oksijen transferinin artmasına neden olur.

Ağızlık çapı çarpma açısı ve jet hızının yükselen değerlerinde penetrasyon derinliğindeki artış yönünde bir yönelme olur. Buna mukabil jet uzunluğunun artan değerlerinde azalmaya doğru bir yönelme gösterir. Jet çapı ve hızıyla penetrasyon derinliğindeki artış jet momentumunun yükselmesiyle açıklanabilir. Jet uzunluğunun artmasıyla meydana gelen azalışla jet yüzey pürüzlülüğünün artması sonucu hava transfer miktarı da (Q_a) artış gösterdiğinden yoğun hava sürtünmeleri jet hızının düşmesine neden olur. Ayrıca, transfer edilen hava kabarcıklarının yüzeye çıkma kuvvetlerinin yükselişi de bir başka nedendir [58].

Havuz derinliğinin azaltılması ile jetin daha derinlere etki etmesi sağlanır. Böylece tutulan havanın hacmi artar. Hava hacminin maksimize olduğu noktada optimum derinlik meydana gelir [55].

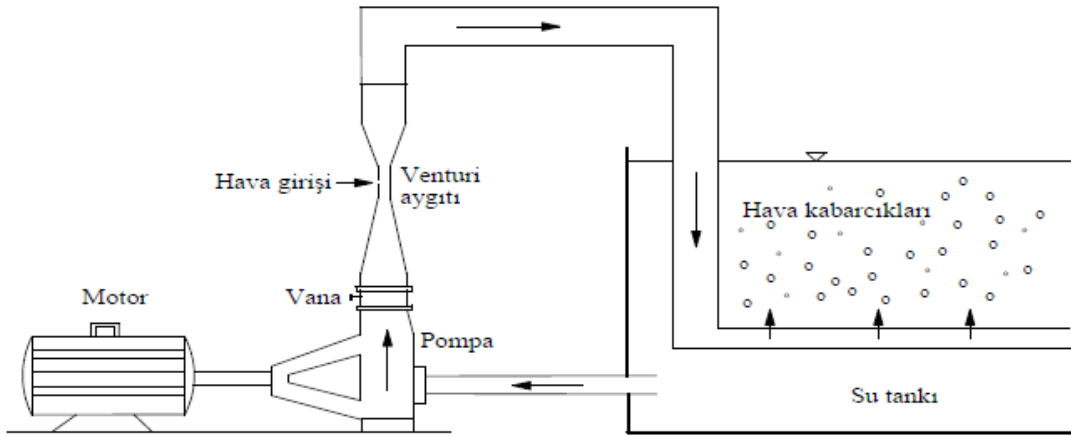
1.1.1.2.Venturiler

Süregelen yıllardan beri boru boyunca boşaltılan akım debi ölçümünde venturi aygıtı kullanılmaktadır. Venturilerde Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi boru içinde bulunan akışkan akım hızının arttırılması için girişteki boru kesit alanından daha küçük kesit alanına sahip olan boğaz kısmında daralma yapılmıştır. Daralma olan bu bölgede akışkan hızının artması ile birlikte basınçta düşme meydana gelir. Bunun sonucunda akışkan akım debisi, iki kesit arasında meydana gelen basınç farkından faydalanılarak hesaplanılmaktadır [4].

Venturi aygıtları birçok alanda kullanılmaktadır. Bunların başında, içme suyu ve atık su tesislerinin havalandırma üniteleri gelmektedir. Standart havalandırma ünitelerine kıyasla venturi ile yapılan havalandırmalar daha elverişli olmaktadır. Örneğin, daha az maliyetli, daha verimli ve işletimi daha kolay olmaktadır. Şekil 1.4.'de havalandırma amaçlı kullanılan venturi aygıtı gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Bir venturi aygıtının görünümü [4].

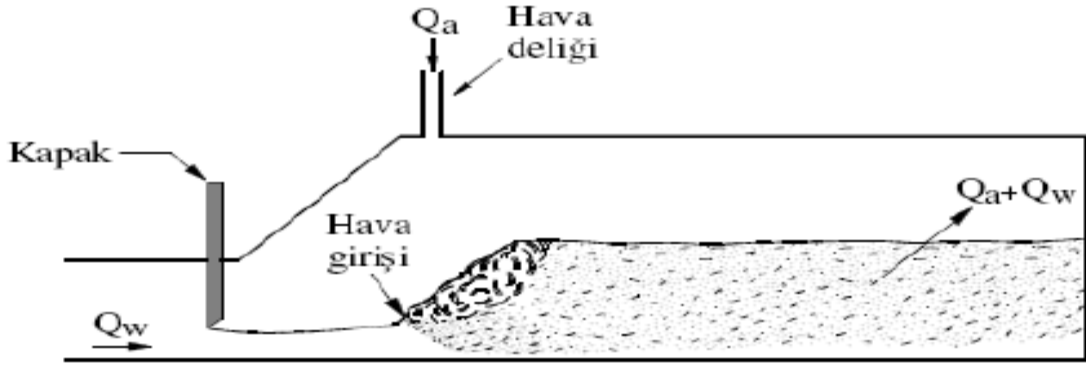


Şekil 1.4. Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı [4].

1.1.1.3.Konduitler

1.1.1.3.1. Serbest Yüzeyli Konduitler

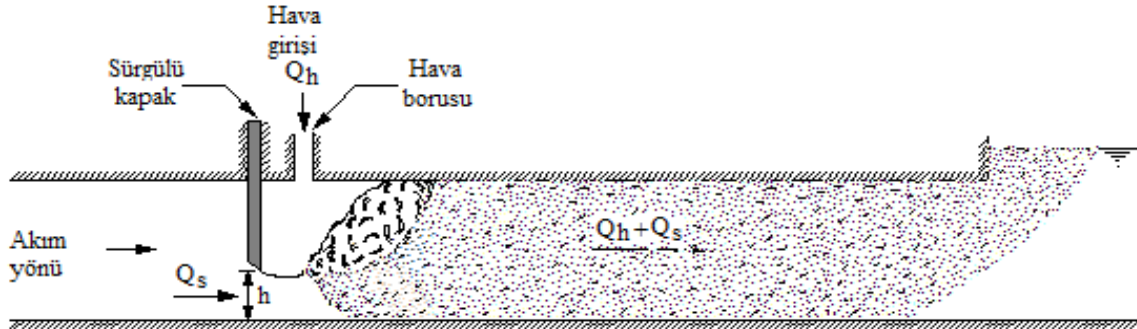
Bu konduitlerde kapağın kısmi açılması ile birlikte yüksek bir hız meydana gelir. Bu nedenle kapak mansabındaki hava deliğinde açık hava basıncından düşük bir basınç meydana gelir. (Şekil 1.5) [5]. Meydana gelen düşük basınçtan dolayı hava deliğinden hava vakumlanır. Bunun sonucunda iki fazlı akım ortaya çıkar.



Şekil 1.5. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım [5].

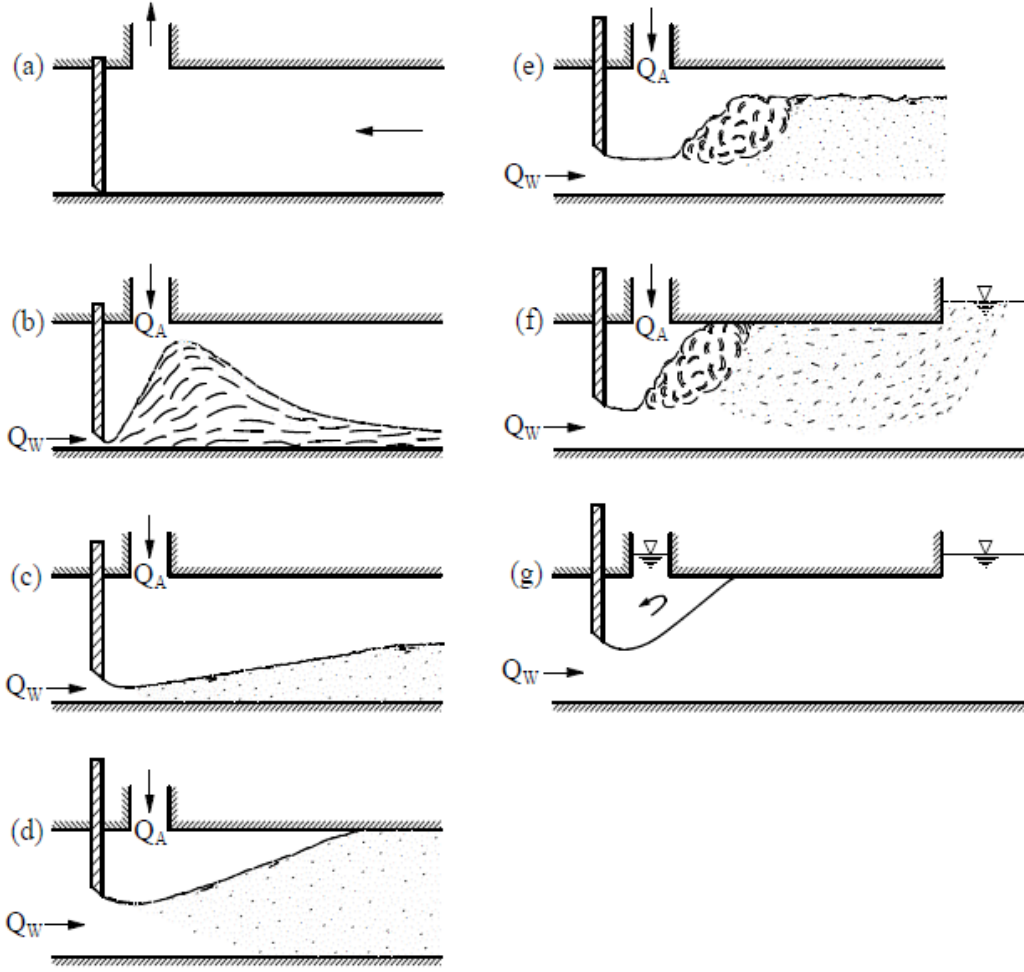
1.1.1.3.2. Basınçlı Konduitler

Kapaklı konduitler, basınçlı akım şartlarında türbülans ve hidrolik sıçrama sonucunda havanın suya karışmasına imkan verir. Pompa aracılığıyla suyun basınç değeri yükselterek su akımına hava girişi sağlanır. Kapak mansap kısmındaki su hızlı bir şekilde savaklanma sonucunda, düşük basınç nedeniyle o noktada bir vakumlanmaya neden olur. Bu düşük basıncın etkisi ile dışardan alınan hava, kabarcıklar şeklinde suya karıştırılır (Şekil 1.6.) [4].



Şekil 1.6. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım [4].

Şekil 1.7. (a-g)'de son yapılan çalışmalar içerisinde kapaklı konduitlerdeki savaklanma kapağı mansap kısmında meydana gelebilecek iki fazlı akım rejim tipleri gösterilmiştir [6].



Şekil 1.7. 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 [6].

1.1.2. Havalandırma İle İlgili Literatür Özeti

Ekolojik dengede oksijeninin rolü oldukça önemlidir. Bu nedenle limit değerlerin altına düşen oksijen yoğunluğunun yeniden istenilen değerlere ulaştırılması gerekmektedir. Fazla sayıdaki hava kabarcığının su içerisine kazandırılması, oksijen transferini hızlandıracaktır. Kütle transferi için gereken mevcut yüzey alanı su içerisine transfer edilen hava kabarcıkları ile arttırılmış olacaktır. Bu duruma göre havalandırma performansı ile oksijen transferi arasında doğru bir orantı olduğu ortaya çıkmıştır. Havalandırma yöntemlerinin birçoğu oksijen tranfer verimini arttırma amacıyla kullanılmaktadır. Araştırmacılar en

ekonomik ve verimli havalandırma yöntemini tayin etmek için birçok çalışma yapmışlardır.

Havalandırma amacı ile kullanılmak üzere inşa edilen hidrolik yapılar ve suların havalandırılması konusunda, Chanson [7], Gulliver ve Rindels [8], Ünsal vd. [9], Bin, 1993 [10], Tuna vd. [11], Wormleaton ve Soufiani [12], McKeogh ve Ervine [22], Albrecht [13], Kobus ve Koschizky [14], Özkan vd. [15], Tsang [16], Grindron [17], Wormleaton ve Tsang [18], Cummings ve Chanson [19], Nakasone [20], Baylar ve Emiroğlu [21] gibi birçok bilim adamı önemli çalışmalar yapmışlardır.

Havalandırma amaçlı inşa edilen hidrolik yapılar ve suların havalandırılması konusundaki yapılmış çalışmaların, içerikleri ve elde edilen sonuçları hakkında aşağıda genel olarak bilgi verilmiştir.

- Grindron [17] ve Albrecht [13], havalandırmanın etkisinin kuyruk suyu derinliğinin artmasıyla birlikte artış göstereceğini işaret etmişlerdir.
- McKeogh ve Ervine [22], sıvıya dalan jetlerin yayılışını ve hava sürüklenme oranlarını incelemek üzere bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmalarının birinci kısmında 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. Aynı çalışmanın ikinci kısmında 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.
- Nakasone [20], 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. Aynı çalışmanın diğer kısmında ise 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.

- Kobus ve Koschizky [14], 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 [10], 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.
- Cummings ve Chanson [19], 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 [19], 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.
- Baylar [23], Emiroğlu ve Baylar [24], 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 [23], Emiroğlu ve Baylar [24], farklı tiplerdeki savakların hava sürüklenme hızı üzerine yürüttükleri çalışmalarında ise savakların sahip olduğu hava sürüklenme hızı değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğunu göstermişlerdir. Labirent savakların hava sürüklenme hız değerini tespit edebilmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır.
- Ünsal vd. [9], 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.
- Özkan vd. [15], 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.
- Tuna vd. [11], yapmış oldukları çalışmayla yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin havalandırma performansını arttırmak için birçok çalışma yapmış ve bu çalışmalar sonucunda havalanma performansını etkileyen parametrelere ait denklemler ortaya koymuşlardır.

1.2. Flotasyon Kavramı

Flotasyon mineralleri yüzeylere yüzey özellik farkından yararlanarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem ince katı taneleri sıvı içinde oluşturulan hava veya gaz kabarcıklarından tutunarak sıvı yüzeyine dayanan ceher zenginleştirme yöntemidir [26,27]. Taneciklerin yoğunluklarından ziyade yüzey özellikleri flotasyon yönteminde etkili olmaktadır. Özgül ağırlığı suyun özgül ağırlığından büyük olan taneciklerin su yüzeyine çıkabilmeleri, tanelerin yüzey geriliminin etkisi ile sağlanmaktadır. Bahsedilen bu gerilimin düşürülmesi ile mineral taneciklerin yüzebilirliği artmaktadır. Görüldüğü üzere taneciklerin özgül ağırlığı gibi fiziksel özellikler flotasyon işleminde çok önemli bir etkiye sahip değildir.

Kısacası flotasyon, hava kabarcıklarına yapışan hidrofob taneciklerin meydana gelen köpük ile beraber pülp yüzeyi üzerine taşınması; kabarcıklara tutunmayan hidrofil taneciklerin ise özellikle yerçekimi gibi kuvvetlerin de tesiri ile çökmesine dayanmaktadır.

Flotasyon yönteminin fazlasıyla uygulandığı sektörler öncelikle madencilik ve çevre mühendisliğidir. Flotasyon yöntemi, maden mühendisliğinde bilinen ve uygulanan cevher zenginleştirme tekniklerinin başındadır. Çevre mühendisliğinde de bu yöneme fazlasıyla başvurulmaktadır. Özellikle atık su arıtım işlemlerinde flotasyon tekniğinden yararlanılmaktadır. Flotasyon yöntemi, önceleri cevher zenginleştirme işlemleri için geliştirilmiş olup günümüzde çok daha yaygın bir uygulama sahasına sahiptir. Mineral endüstrisi dışında flotasyon geri dönüşüm atık kâğıtlarından mürekkep giderme [28,31], kolloidal atık suların temizlenmesi [29,30], zirai amaçlı olarak toprağın iyileştirilmesi [32,33], plastik malzemelerin geri dönüşümü [29-31], fotoğraf çözeltilerinden gümüşün kazanılması, tohumların flotasyonla ayrılması, lavvar atık sularının temizlenmesi [32,33] gibi birtakım endüstriyel işlemlerde bazen temel işlem bazen de yardımcı işlem olarak uygulanmaktadır.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarla daha da gelişen flotasyon yöntemi, birçok uygulama alanına sahiptir. Bu alanlar şu şekildedir:

- Metalik cevherlerin konsantrasyonunda
- Gıda endüstrisinde (kepeğin zenginleştirilmesinde)
- Hidrolikte

- Katı yakıtların temizlenmesinde
- Çevre kirliliğinde
- İyon değıştiricilerin zenginleştirilmesinde
- Fotoğrafçılık (gümüşün tekrar kazanılmasında)
- Non metalik cevherlerin zenginleştirilmesinde
- Kimya endüstrisinde (naftalin zenginleştirmede)
- Kükürdün suni ipek parçacıklarından temizlenmesinde
- Kağıt endüstrisinde

1.2.1. Flotasyon Çeşitleri

1.2.1.1.Hava Flotasyonu

Atmosferik basınç etkisiyle suyun havalandırılması şeklinde gerçekleştirilen flotasyon çeşiti hava flotasyonu olarak adlandırılır. Havanın suya verilmesi için farklı ekipmanlardan faydalanılır. Bunların en başında yüzeysel havalandırıcı, difüzör veya dönen pervaneler gelmektedir. Bunların yardımıyla havanın suya verilmesi ile suda hava kabarcıkları elde edilmiş olur. Ancak kısa müddetli bir havalandırma katı taneciklerin tamamının flotasyonu için istenilen düzeyde verimli değildir. Bu flotasyon yönteminde meydana getirilen hava kabarcıkları diğerlerine oranla daha büyüktür (yaklaşık 1 mm). Bu nedenle hava flotasyonu daha çok cevher zenginleştirme gibi endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır.

1.2.1.2.Vakum Flotasyonu

Arıtılacak suyun öncelikle atmosferik basınç altında havalandırılması vakum flotasyonun ilk aşamasını oluşturmaktadır. Böylece arıtımı yapılacak su havaya doymun duruma getirilir. Bunun için iki yöntem vardır. İlk yöntemde havalandırma havuzunda direkt hava ile doyrulur. İkinci yöntemde ise atık su pompasının yan kısmından hava giriş izni verilip suyun havaya doymunluğu gerçekleştirilir. Böylece kısmi vakum uygulaması ile suda hava kabarcıkları meydana getirilerek flotasyon işlemi gerçekleştirilir. Meydana gelen bu kabarcık miktarının, atmosferdeki çözünmüş maximum hava kadar olması vakum flotasyonunun kısıtlayıcı bir faktördür. Bu flotasyon yönteminde kimyasal maddeler de katkı olarak kullanılmaktadır. Şöyle ki; inorganik maddeler (demir tuzu, aktif silika vb.) ile

polimerler suya karıştırılırlar. Karıştırma hızına göre bu işlemler sonucunda arıtılacak su flotasyon ünitesine alınır.

Sınırlı vakum elde edilen kapalı silindir şeklindeki havuz, flotasyon ünitesi olarak adlandırılır. Bu havuzun başlıca bölümleri arasında köpük sıyırma ve çamur sıyırma mekanizmaları gelmektedir. Köpük ile yüzen tanecikler düzenli olarak toplama çukuruna aktarılır. Daha sonra ise pompa yardımıyla uzaklaştırılır. Vakum pompaları, havalandırma havuzu, çamur ve köpük uzaklaştırılmasını sağlayan pompalar bu sistemin diğer ekipmanlarıdır.

1.2.1.3. Çözünmüş Hava Flotasyonu

Bu flotasyon mekanizmalarında havanın, atıksu üzerinde uygulanan basınç yardımıyla çözünmesinden yararlanılır. Böylece atıksuyun havaya doyumu gerçekleşir. Bu işlemin devamında suya uygulanan basınç kaldırılır ve bu sırada ortaya çıkan hava kabarcıkları ile flotasyon işlemi gerçekleşir. Bu sistemlerde farklı kimyasal maddeler de kullanılmaktadır. Böylece arıtma verimi yükseltilir.

Çözünmüş hava flotasyon üniteleri (DAF); geri devirsiz ve geri devirli sistemler olmak üzere iki çeşitten oluşmaktadır. Her iki sistemde de suyun havaya çokça doymun duruma gelmesi için aynı yöntem kullanılır. Bu yöntem, atık suya ya da atık suyun geri devir eden bölümüne basınçlı hava verilerek gerçekleştirilir.

Çözünmüş hava flotasyon kısmına giren havanın basıncı düşer. Böylece atık sudan ortaya çıkan kabarcıklar flotasyon olayını meydana getirir.

Küçük atık su debilerinin bulunduğu sistemlerden gelen su akımının tamamı 275-350 KPa kadar sıkıştırılan havayla bir süre basınç tankında tutulur. Basınç indirgeme vanası yardımıyla basınç düşürülür. Böylece flotasyon havuz giriş kısmında hava kabarcıkları meydana gelir. Bütün sıvı içerisinde bu şekilde flotasyon gerçekleştirilir.

Daha fazla debilerin geldiği flotasyon ünitelerinde tüm debiye basınç uygulanmaz. Yalnızca geri devir akımına basınç uygulanır. Flotasyon havuzuna ulaşmadan önce bu iki akım karıştırılır. Basınçlı ve basınçsız akımın karıştırılması sonucundan flotasyon havuzunun giriş kısmında hava kabarcıkları meydana gelir. Basınçlı geri devir akımı için daha az basınçlandırma pompası ile yüzeysel kontrollere gerekmektedir. Atık su debisinin tamamına basınç uygulandığı geri devirsiz sisteminin üstünlüğü; hava kabarcığı tanecik temasını sağlamasıdır.

Flotasyon sürecinde genellikle kimyasal maddeler de yardımcı olması açısından kullanılmaktadır. Bu maddeler yardımıyla hava kabarcıkları kolaylıkla absorbe edilmektedir. Ayrıca bu kimyasal maddeler, hava kabarcıklarını yakalamak için yapı taşı da meydana getirebilirler. Aktif silika, alüminyum tuzları, demir tuzları ve polielektrolitler bu kimyasal maddelerin başında gelmektedir.

1.2.1.4. Su Jeti İle Flotasyon (Yüzdürme)

Avusturalya’da atık sularda ince disperse olan maddeleri ayırmak için gaz dispersiyon tekniğinin kullanıldığı bir flotasyon işlemi geliştirilmiştir [56]. İşlem atık suda emilsüfiye olan yağ-gres hacmini 50 ppm’de 5 ppm (mg/1) gibi bir seviyeye kadar indirebilmektedir. Sistem az akımla kuvvetli bir ortam oluşturduğundan düşük enerji seviyelerine ihtiyaç duyar. Yüksek hızlarda ise akıma enjekte edilen ince su jetleri ile (4-5 mm) havalandırma temin edilir. Bu jetler enerji ve hava taşıyıcıdır. Pilot olarak seçilen bir tesiste geri devirsiz %70, geri devirli %90 oranında yağ-gress suları arıtılmıştır.

Yüksek hızlı jetlerle (50 m/s) flotasyon havuzuna transfer edilen ince hava kabarcıkları su hacmindeki emilsüfiye yağ ve gres partiküllerini su yüzeyinde doğru çıkarırlar. Yüzeye çıkan partiküller perdelerle köpük kanalına transfer edilir. Jet hızıyla, su hacminin karışım şiddeti, kesme oranı (hızı) ve hızlandırma seviyeleri kontrol edilir.

Flote edilen su fleksibil olan çıkış kanalından boşaltılır. Kalan su hacmine ise geri devir yaptırılır. Yüksek flotasyon oranlarının gerçekleştiği işlem geleneksel flotasyon yöntemlerine göre 1/3-1/4 oranında bekleme gerektirir ve 1-10 µm büyüklüğündeki çok ince partikülleri ayırabilir. Ancak, diğer tekniklerde sadece 10-100 µm büyüklüğündeki partiküller flote edilebilmektedir [56].

1.2.2. Flotasyon İle İlgili Literatür

Flotasyon son yıllarda maden ve metal endüstrisinde büyük ilgi görmektedir. Bu konuda birçok bilimsel ve endüstriyel çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar hakkındaki kısa literatür aşağıda taranarak özetlenmiştir.

Yianatos vd [34], köpük yayılma hızı ve üst köpük seviyelerinin karakterizasyonunda kullanılan flotasyon oranı için yeni yöntem adlı çalışmalarında endüstriyel operasyonlarda yüzdürme karakterizasyonu için yeni bir metodoloji önermişlerdir.

Cowburn, Harbort, Manlapig, ve Pokrajcic [35], yayınladıkları makalede, yüksek jet hızının daha fazla hava girişi ve türbülansın artması anlamına geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca su jetinin hızının azaltılması ile düşük enerji ve düşük türbülans meydana geldiği bunun da iri tane boyutundaki minerallerin flotasyonunun verimini arttırdığı belirtilmiştir.

Zhang [36], mekanik bir flotasyon hücresi içinde kabarcık büyüklüğüne viskozite değişiklikleri etkisinin değerlendirilmesi adlı çalışmasında; işletim flotasyon tesislerinde, pülpün viskozitesinin önemli ölçüde değişebileceğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, birçok tesis için su sıcaklığındaki mevsimsel değişikliklerin deneyim olarak kabarcık boyutunda ortaya çıkan etkinin ilgi çekici olduğunu ifade etmiştir.

Harbort, Manlapig ve DeBono [37], yaptıkları çalışmada Jameson hücresi düşey borusundaki parçacık toplanma mekanizmasını incelemişlerdir. Parçacıkların toplanmasının, ince tabaka göçü (thin film migration), anlık toplanma (instantaneous collection), karışım bölgesi (the mixing zone), kalma zamanı (the residence time dependence) ve kabarcık-yüzey alanı değişimi (bubble-surface area flux) mekanizmalarının gerçekleşmesi ile sağlanacağından bahsetmişlerdir.

Filho vd., [38], çökme ve flokolasyon ardından çözünmüş hava flotasyonu (DAF) ile sülfat iyonlarının uzaklaştırılması adlı çalışmalarında atık sudan sülfat iyonlarının uzaklaştırılması madencilik, metalürji, kimya ve petrokimya endüstrisi gibi birçok sanayi sektörünün karşılaştığı bir çevre sorunu olduğunu ifade etmişlerdir. Ve bu konuda bir dizi deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Gray, Harbort ve Murphy [39], MIM Process Technologies'in olanakları çerçevesinde yaptıkları çalışmada, Jameson hücresi devre dizaynı yapmışlar ve mekanik hücre devre dizaynı ile karşılaştırmışlardır. Yapılan bu çalışmaya göre: Jameson hücresi aynı işi mekanik hücrenin 4 katı kadar daha az bir zamanda yapmaktadır ki devre hemen hemen aynı yüksekliği işgal ederken Jameson kolonu devresi tesis çapında 600 m²'lik bir alanı

kaplamakta, mekanik hücre devresi 969 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Ayrıca Jameson hücresi devresi aynı iş için 1,598 kW'lık enerjiye ihtiyaç duyarken, mekanik hücre 1,789 kW'lık enerjiye gereksinim duymuştur.

Taşdemir, T. [40], yaptığı çalışmada, hold-up ölçümlerinin yapıldığı deneylerde jet uzunluğunun, jet hızının, nozul çapının, düşey boru çapının ve APR`nin hold-up üzerine etkilerinin olduğu ve flotasyon verimi üzerinde jet hızı, jet uzunluğu, bias faktör ve düşey boru dalma derinliğinin etkili olduğu belirtilmiştir.

Dawson ve Jackson [41] hidrometalurjik bir artıktan, organik bileşenlerinin kazanılabilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca, geri beslemeli çalışmalarında, kontrolün kolaylaştırdığını ve verimin arttığını belirtmişlerdir.

Şahbaz, O. [42], yaptığı yüksek lisans çalışmasında, Tunçbilek Termik Santrali kazanlarında yakılmadan cüruflla birlikte ızgara altından atılan kömürün Jameson flotasyon hücresi ile kazanılabilirliğini araştırmıştır.

Mohanty ve Honaker [43] laboratuvar çapta (15 cm çaplı hücre ve 33 mm'lik düşey boru) Jameson hücresi kullanarak performans optimizasyon çalışması yapmışlardır.

Murphy, Honaker, Manlapig, Lee ve Harbort [44] yaptıkları çalışmada; taşıma kapasitesi modeli geliştirmişler, çok ince tanelerde flotasyon verimini arttıran yüksek hızlı koşullandırma (high intensity conditioning-HIC) metodunu açıklamışlar ve yeni hücre dizaynlarından bahsetmişlerdir. Buna göre, taşıma kapasitesine en büyük etkiyi parçacık boyutu ve hava hızının yaptığı ortaya konulmuştur.

Aplan ve Arnold [45] yayınladıkları makalede, kömür flotasyonun da kullanılan ekipmanlardan biri olarak Jameson hücresini vermişlerdir. MIBC'in en çok kullanılan köpürtücü olduğunu belirttikleri makalede, gaz yağı toplayıcı olarak ve cam suyunun da dağıtıcı olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Harbort ve Manlapig [46], Jameson hücresinin çalışma parametrelerini ve yapısını tanımlamışlardır.

Harbort, Carr ve Lawson [47], parçacıkların flotasyon sürelerini incelemişler ve Jameson hücresinin, mekanik hücreye göre en az 4 kat daha hızlı sürede ürün verdiğini ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca kalma süresi (residence time) olarak adlandırılan bu flotasyon süresinin; hava debisi, sıvı ve gaz miktarı ve düşey boru içerisindeki kabarcık yüksekliğine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Akers ve arkadaşlarının [48], yaptığı çalışmaya göre yüksek kil ve kül içeren kömürde Jameson hücresi klasik hücrelere göre daha verimli çalışmaktadır. %94 verimle, %5 küllü konsantre yüksek kil (%25) içeren beslemeden elde edilmiştir.

Greame J. Jameson [49], kendi icadı olan Jameson hücresini içerisine düşey boru daldırılmış bir jet flotasyon olarak tanımlarken, en büyük avantajlarının; parçacıkların hızlı toplanması ve yüksek çarpışma olasılığı, ekipmanın az yer kaplaması, işlem kolaylığı ve havayı bir kompresöre gerek duymadan dışardan vakumlaması olarak bildirmiştir.

Avusturalya-Queensland'da [50], atık su temizleme projesinde Jameson hücresi kullanılmış, %95 oranında yağ ve gres uzaklaştırılırken, %90 oranında süspansiyon halinde su içerisinde kalmış katı organik atıklar %80 oranında uzaklaştırılmıştır.

Patwardhan ve Honaker [51], parçacık boyutu, yoğunluk, boyut dağılımı ve hava oranını baz alarak bir taşıma kapasitesi modeli geliştirmişler ve yakın boyut dağılımında beslenen malzeme ile taşıma kapasitesinin arttığını saptamışlardır.

Güney ve arkadaşları [52], yaptıkları çalışmada çok ince kömür tanelerinin zenginleştirmesinde Jameson hücresinin konvansiyonel teknolojilerin yerine geçtiğini vurgulamışlardır.

Ata ve Önder [53], cevher ve kömür flotasyonunda en son teknoloji olan Jameson hücresini ve optimum çalışma parametreleri olarak, yaklaşık 20 cm köpük derinliği, 0,9-1,1 arasında değişen hava/besleme oranı ve 5-25 ppm arasında değişen köpürtücü miktarını belirlemişlerdir. Ayrıca kolondaki kabarcık boyutunun 300-600 mikron arasında değiştiğini açıklamışlardır.

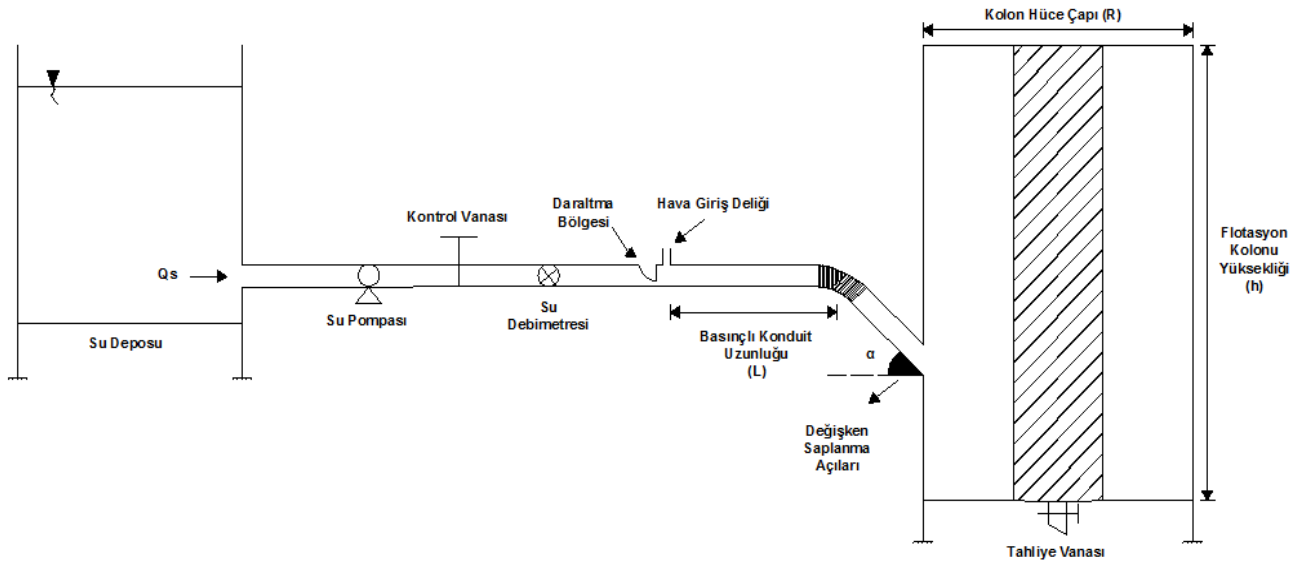
Harbort ve arkadaşları [54], Arjantin'deki bir bakır tesisindeki Jameson hücresi uygulamasından bahsetmişlerdir. Yapılan çalışmada Jameson hücresi sayesinde durağan ve dalgalanması az bir besleme elde edilmiştir. %60-80 arasında bir verimle çalışmalar sonuçlandırılmıştır.

Avustralya Kömür Araştırma Programı çerçevesinde sunulan raporda [59], ince kömürde Jameson hücresinin başarılı olduğu vurgulanarak kullanıldığı şirketlerden örnekler verilmiştir. Jameson hücresinin konvansiyonel teknolojilere göre çok daha verimli çalıştığı belirtilmiştir.

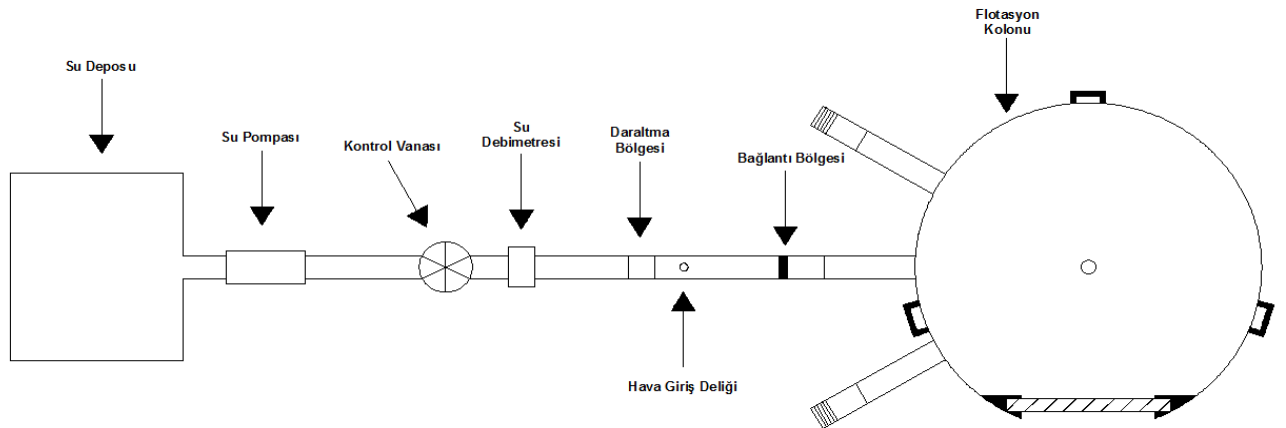
Cloke, M., Barraza, J. ve Miles, N.J., [60], yaptıkları pilot çaptaki çalışmada, Jameson hücresi ile %23,7 oranında kül içeren 75-250 mikron boyutundaki kömür numunesinden, %8,4 kül içeren ürünü %43,5 verimle elde etmişlerdir.

2. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında flotasyon hücresinde hücre fiziksel parametrelerinin değişimine paralel olarak flotasyon işlemi için arzu edilen hava kabarcıklarının en optimum hangi koşullarda oluşturulabileceğinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu amaçla Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında Şekil 2.1'de kesiti ve Şekil 2.2'de şematik planı verilen pilot ölçekli kondüitle desteklenmiş flotasyon hücreleri kurulmuştur. Kapaklı kondüitli flotasyon hücresinde havalandırma verimini tayin etmek amacıyla geri devirli bir deney düzeneği kullanılmıştır.



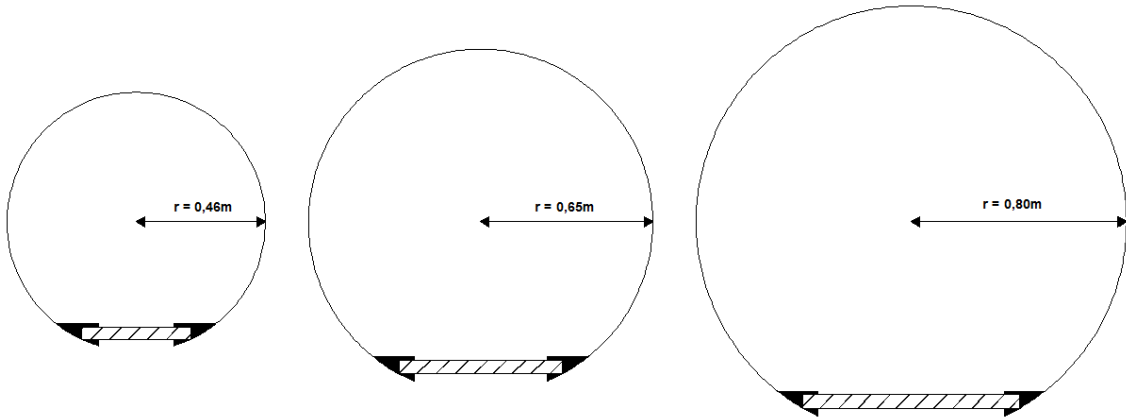
Şekil 2.1. Deney düzeneği kesiti



Şekil 2.2. Deney düzeneğinin üstten görünümü

Flotasyonda hava kabarcığı üretimi kurulan flotasyon makinesinin tipine bağlı olarak çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bu konu üzerinde yapılan detaylı incelemeler sonucunda kolon flotasyonunu en çok etkileyecek olan hava kabarcıkları üzerinde durulmuş, Şekil 2.2’de görünüşü verilen farklı fiziksel özelliklere sahip hücelere ait gözlemler ve elde edilen bulgular incelenmiştir.

Flotasyon kolonunda oluşturulacak hava kabarcığı miktarının daha detaylı incelenebilmesi için Şekil 2.3.’de kesiti verilen 0.92 m, 1.30 m ve 1.60 m çapta ve yüksekliği 1,5m olan üç adet deney düzeneği imal edilmiştir. Flotasyon hücre çapları, içerisinde hava kabarcığı oluşturulmak istenen su miktarları 0.92 m hücre çapı için 1 m^3 , 1.30 m hücre çapı için 2 m^3 ve 1.60 m hücre çapı için 3 m^3 olacak şekilde dikkate alınarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılacak suyu temin etmek için, hücelere dışarıdan sürekli su girişi sağlanmış ve istenilen hacim değerine ulaştıktan sonra akım kesilmiştir. Daha sonra hacmi belli olan su sürekli devir ettirilmiştir.

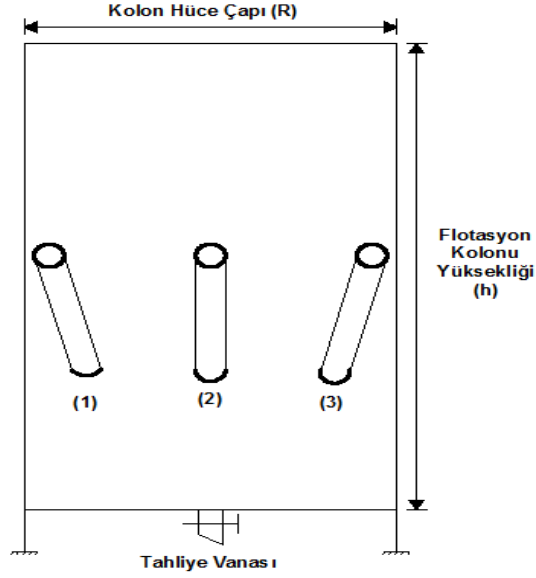


Şekil 2.3. Flotasyon hücre çaplarının şematik görünüşü

Her deney düzeneğinde oluşturulmak istenen hava kabarcıklarının optik olarak gözlemlenebilmesi ve bu kabarcıkların izlediği yolların belirlenmesi için her flotasyon hücresinde o hücre çapının 1/4’i oranında açıklık hücre yüksekliği boyunca bırakılmış olup bu açıklık 10 mm temperli şeffaf cam ile kaplanmıştır.

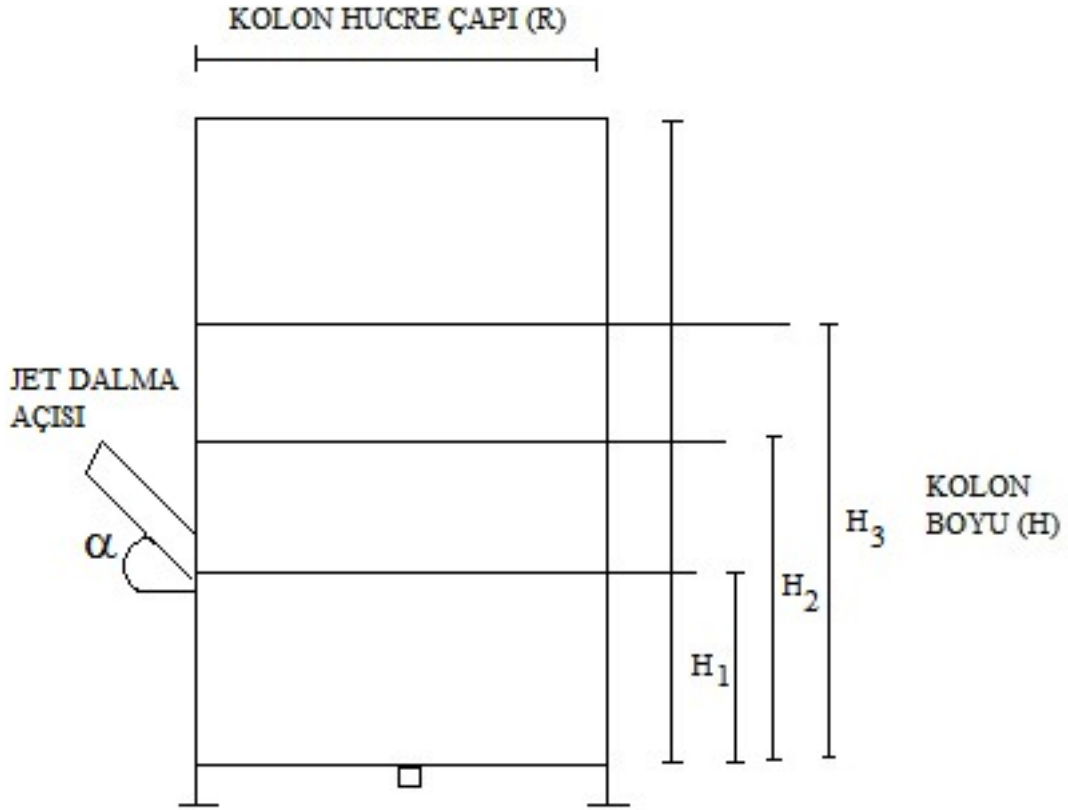
Ayrıca flotasyon hücresine giren hava-su jetinin dalma açısını ve jetin penetrasyon derinliğini ayarlayabilmek için Şekil 2.4’de görüldüğü gibi hücre tabanında 0,75 m yükseklikte 30° , 45° ve 60° derece açılarla saplanan üç ayrı bağlantı bulunmaktadır. İlaveten her bir flotasyon hücresi atık tahliyelerinin yapılabilmesi amacıyla laboratuvar

tabanından 50 cm yükseklikte olacak şekilde hücreye kaynatılmış üç adet U profil ayakları üzerinde durmaktadır.



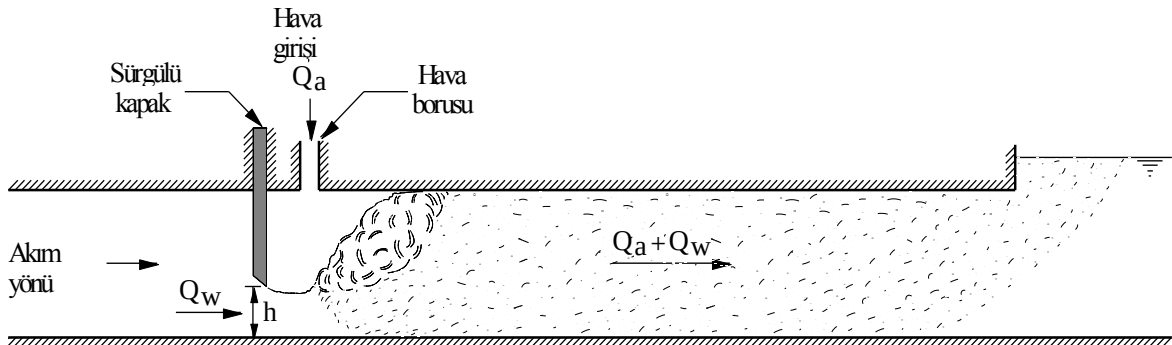
Şekil 2.4. Flotasyon hücresinde farklı hava-su jeti dalma açısı sağlayan 1-2-ve 3 nolu girişler

Flotasyon hücre boyu veya kolon yüksekliği etkisini deneysel olarak araştırmak için saplanma açısı merkezi baz alınarak Şekil 2.5’de görüldüğü gibi üç farklı hücre boyu belirlenmiş olup ilk seviye batık olmayan $H=0$ cm ikinci $H=25$ cm batık ve üçüncü seviye ise batık olarak $H=50$ cm olarak çalışılmıştır.



Şekil 2.5. Flotasyon hücresinde farklı kolon boyları

Deneylerde kapaklı konduit olarak dairesel kesitli çapı 8.09 cm ve boyu 200 cm olan galvanizli metal bir boru kullanılmıştır. Konduit kapağının açıklık oranı %10 dur. Yani dairesel kesitli su borusunun sadece %10 luk kısmı açık bırakılmıştır. Dolayısıyla Şekil 2.6 de görülen suyun geçtiği h yüksekliği 0,875 cm olarak tasarlanmıştır. Konduit kapağının mansabında 14.00 mm çapında bir hava borusu açılmış dış ortamdaki havanın buradan boru içerisine girmesi sağlanmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yüksek basınçlı kapaklı konduit

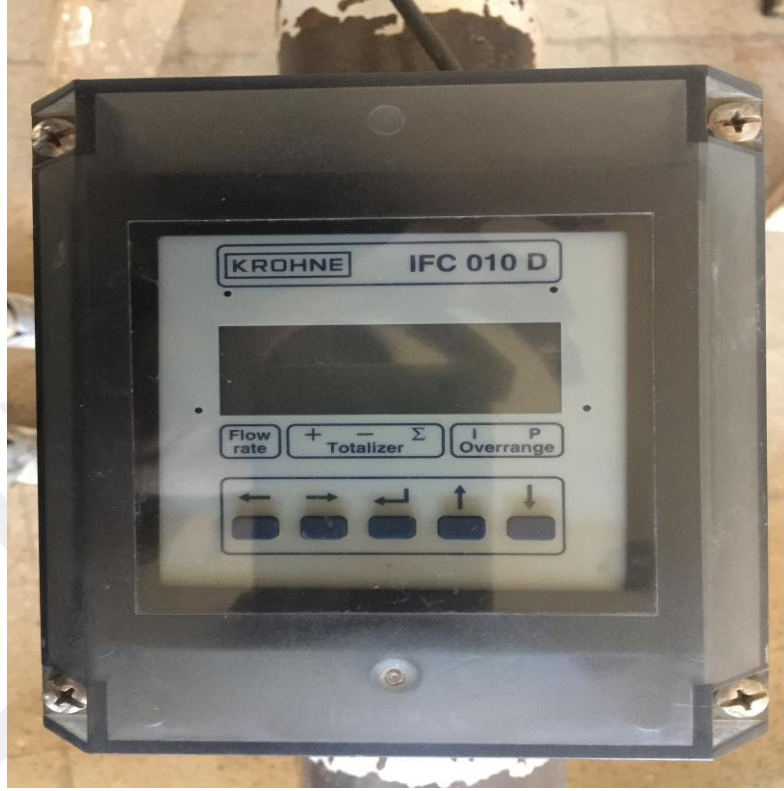
Sonuç olarak geliştirilen pilot ölçekli sistemde hücre çapı, hücre kolon boyu, hücreye giren hava-su jeti dalma açısı ve sisteme verilen su debisi gibi parametrelerin havalandırma performansı ve flotasyon verimine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde yer aşan tüm alternatifler Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler

Hava-su Jeti Dalma Açıları	Flotasyon Hücre Çapları	Farklı Debiler					Farklı Kolon boyları		
$\alpha = 30$	R=1.60	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 45$	R=1.60	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 60$	R=1.60	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 30$	R=1.30	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 45$	R=1.30	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 60$	R=1.30	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 30$	R=0.92	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 45$	R=0.92	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3
$\alpha = 60$	R=0.92	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	H_1	H_2	H_3

Deneyler esasında ihtiyaç duyulan su şebeke suyundan temin edilmiştir. Sistemde debi, bir elektromanyetik debimetre kullanılarak belirlenmektedir. Deneylerde kullanılan debimetre Şekil 2.7.'de görülmektedir. Vana yardımı ile ayarlanan farklı debi miktarlarında; hava kabarcık miktarı ve oluşturulan hava kabarcık tabakası fotoğraflama yöntemiyle, konduitten çekilen hava hızı iste bir anemometre ile ölçülüp tablodaki

yerlerine kaydedilmektedir. Deneylerde kullanılan anemometreye ait fotoğraf Şekil 2.8.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Debimetre



Şekil 2.8. Anenometre

2.1. Deneylerin Yapım Aşaması

Geri devirli olarak yapılan deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı ortamda atmosfer basıncı 677 mm Hg ve ortalama nisbi nem ise yaklaşık % 65 olarak tespit edilmiştir.

Deneylere farklı çaplarda flotasyon hücreleri ve farklı kolon boyuna sahip flotasyon hücrelerinin hava emme performanslarının ölçülmesiyle başlandı. Ölçümlerde Şekil 2.1.'de görülen deney düzeneği üzerinde yapılan çalışmalarda, hava kabarcığı üretebilmek ve konduitten çekilen hava miktarının en optimum hangi koşullarda oluşturulabileceğini belirlemek için farklı parametreler belirlenmiştir. Flotasyon hücresi dışarıdan temiz su ile belirli bir seviyeye kadar doldurulduktan sonra pompa ile sürekli devir yaptırılmıştır. Devri daim sırasında kontrol vanası yardımıyla ayarlanan debi değerleri debimetre yardımıyla okunmuştur. Ölçüm işlemlerinde beş farklı debi değeri kullanılmıştır. Bunlar 2 lt/sn, 4 lt/sn, 6 lt/sn, 8 lt/sn, 10 lt/sn ve 12,3 lt/sn dir.

Sisteme entegre edilen konduit üzerinde hava girişini sağlayan 1 adet 35 mm çaplı hava deliklerinden negatif basınç nedeniyle çekilen hava su ile beraber flotasyon hücresine hava kabarcıkları şeklinde sürüklenmiştir. Flotasyon hücresine giren havanın miktarını doru bir şekilde belirleyebilmek için anlık ölçüm yapan hava debimetreler yerine ortalama hız değerini verebilen Anomometre yardımıyla 1 dakika süreyle hava giriş hızı ortalama değerleri ölçülmüştür. Havanın sisteme giriş yaptığı delik çapına bağlı olarak da hava debisi hesaplanmıştır.

Geri devirli olarak tasarlanan deney düzeneğinde Şekil 2.3'de görüldüğü üzere değişik fiziksel parametrelere sahip flotasyon hücrelerinin havalandırma performansının belirlenmesi için kullanılan 0.92 m, 1.30 m ve 1.60 m genişliğinde, 1.0, 1.25 ve 1.50 m yüksekliğinde ve bir yüzeyi cam olan flotasyon hücreleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan su, "Deney Düzeneği" bölümünde anlatıldığı gibi sisteme dışarıdan alınmıştır. Dışarıdan su alınırken devir pompası sürekli çalıştırılmak suretiyle sistemde mevcut borular içerisindeki suyun flotasyon hücresi içerisindeki seviyeyi etkilemesi önlenmiş ve aynı zamanda kontrol vanası ile istenilen debi değeri ayarlanmıştır.

Şekil 2.4'de görüldüğü üzere flotasyon hücresine 50 cm uzunluğunda ve yatayla olan açıları 30, 45 ve 60 derece olan galvanizli borular kaynatılarak hücreye giren hava-su jetinin dslma açısı ve penetrasyon derinliğini ayarlamaya yarayan aparatlar ilave edilmiştir.

Böylelikle deneyler esnasında su jeti dalma açısının hava emme performansında meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir ve gözlemlenmiştir.

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi flotasyon hücresi kolon boyundaki su seviyesi için üç farklı su yüksekliği değeri (1.0 m, 1.25 m ve 1.50 m) ve dolayısıyla üç farklı hacim değeri (1.0 m³, 2.0 m³ ve 3.0 m³) kullanılmıştır. Böylelikle deneyler esnasında flotasyon kolon boyunun hava emme performansında meydana getirdiği değişiklikler belirlenmiştir.

Flotasyon hücresi üzerinde hücre çevresinin 1/4’i kadar açık bırakılan şeffaf temperli camdan hücre içerisinde oluşturulan hava kabarcığı sayısı, boyutu, penetrasyon derinliği ve hava kabarcığı tabaka kalınlığı bilgisayar destekli izleme yöntemiyle izlenilmiş ve kayıt altına alınmıştır.

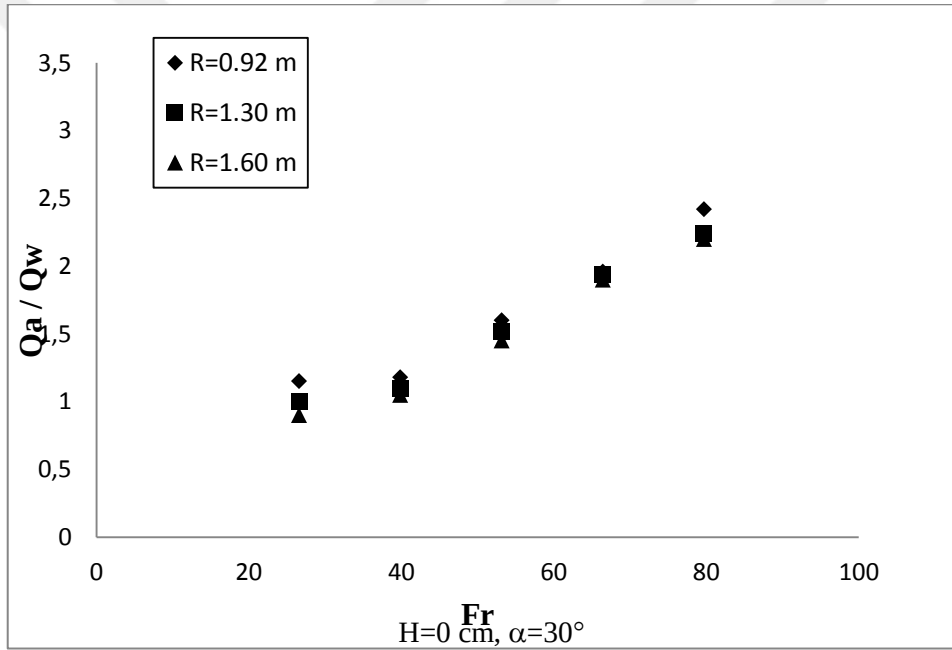


3. BULGULAR

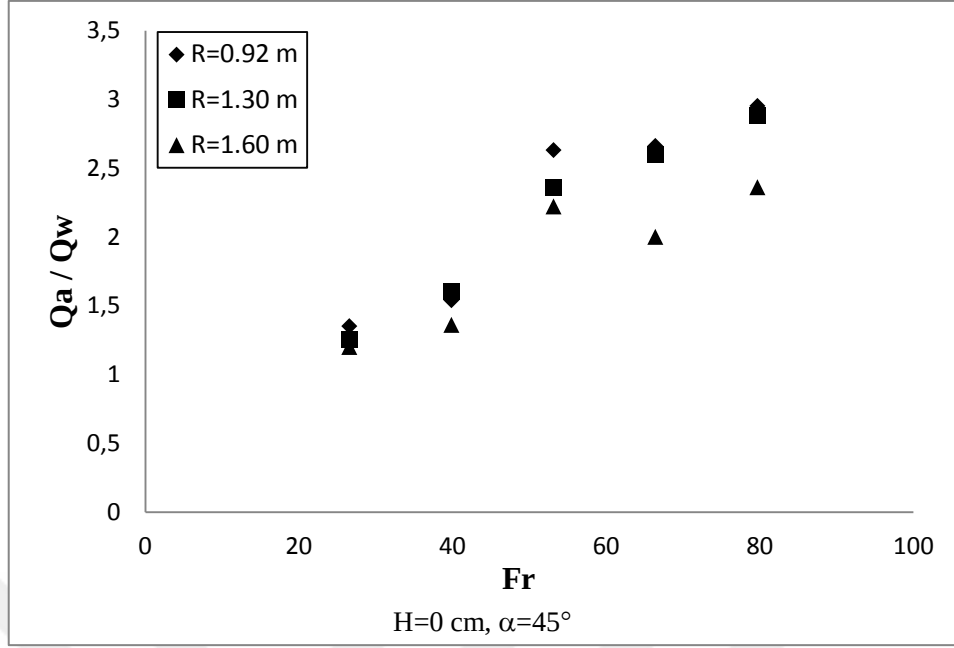
3.1. Flotasyon Hücre Çapının Havalandırma Performansına Etkisi

Şekil 3.1.1-3.1.9’da yer alan tüm deney grupları incelendiğinde flotasyon kolon çapının $R=0.92$ m olduğu alternatiflerde havalandırma performansının en yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

Tank çapı arttıkça havalandırma verimi azalmaktadır. Tank çapının $R=1.30$ m ve $R=1.60$ m olduğu deney grupları da incelendiği zaman; en düşük havalandırma performansının $R=1.60$ m olan deney gruplarında olduğu gözlemlenmiştir.

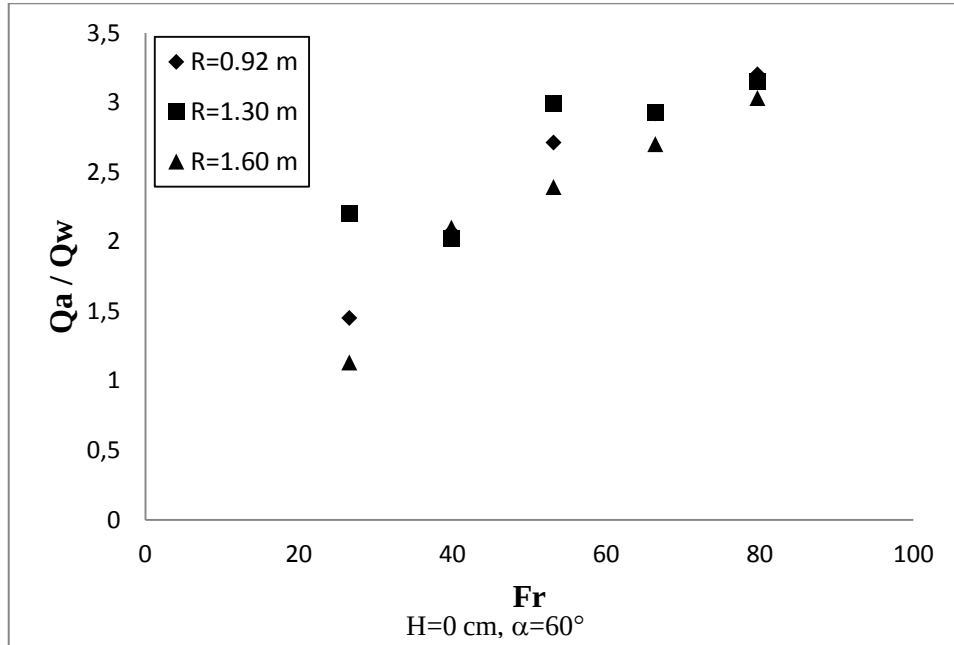


Şekil 3.1.1. $H=0 \text{ cm}, \alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

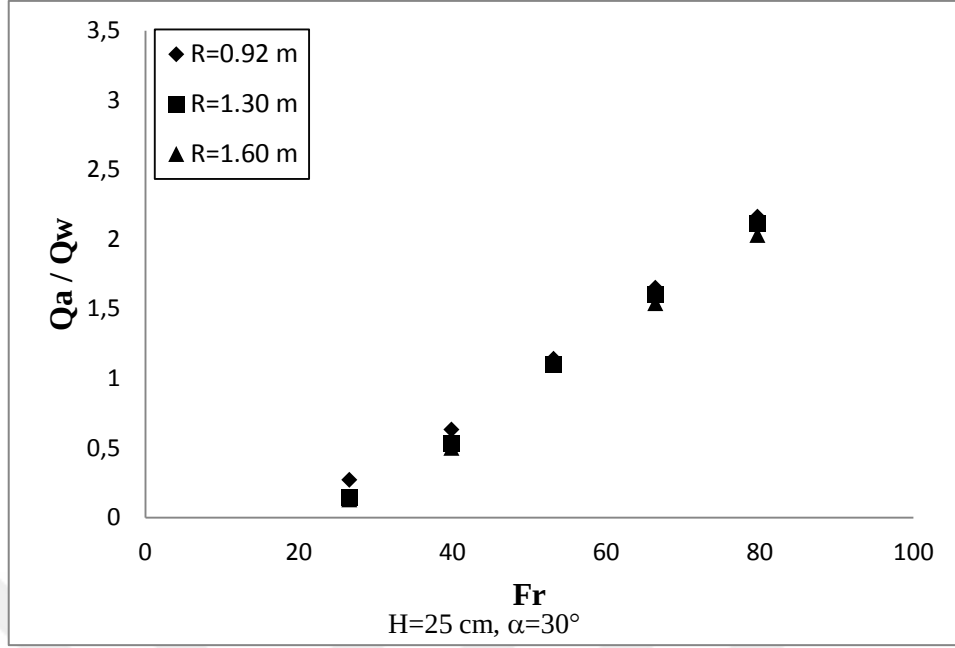


Şekil 3.1.2. $H=0$ cm, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

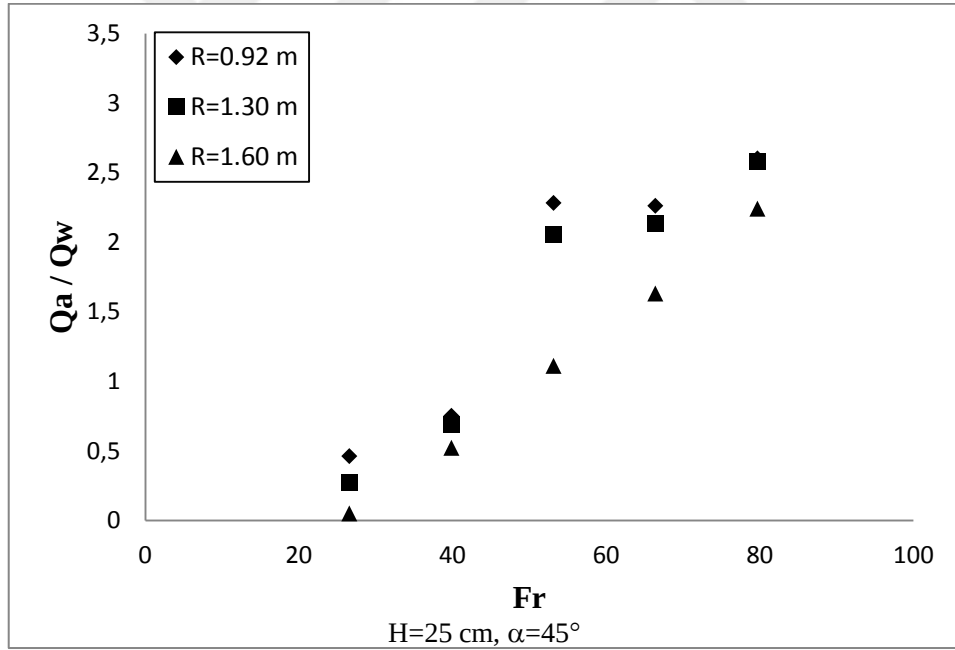
Kolon çapı etkisini gösteren grafikler incelendiğinde, Şekil 3.1.3'te Q_a/Q_w değerinin 3,20 ile maksimize olduğu, kolon su yüksekliğinin $H=0$ cm ve su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu alternatifte gerçekleştiği görülmektedir.



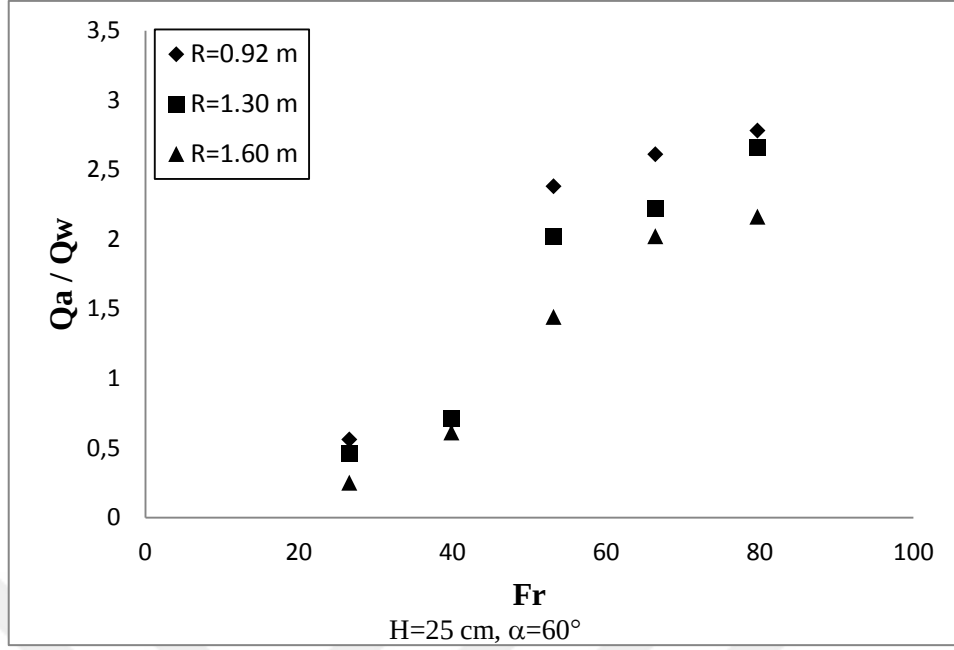
Şekil 3.1.3. $H=0$ cm, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.1.4. $H=25$ cm, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

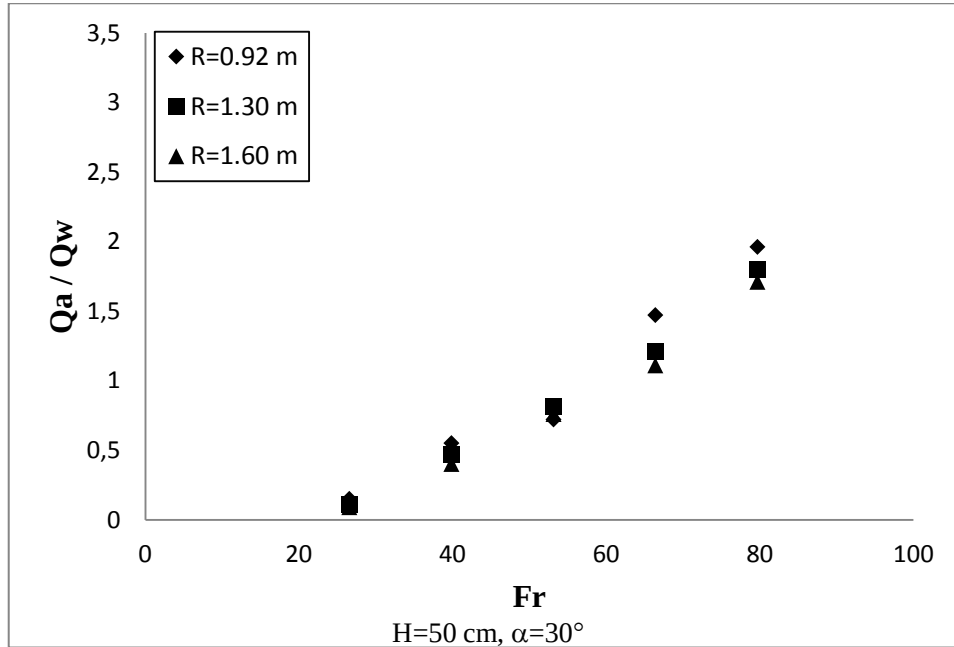


Şekil 3.1.5. $H=25$ cm, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

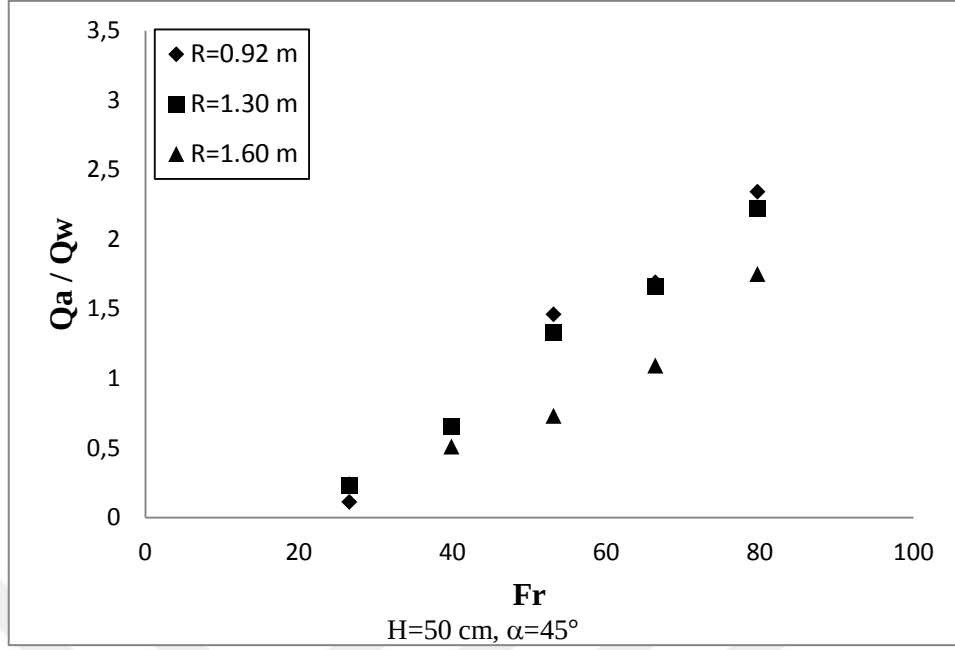


Şekil 3.1.6. $H=25\text{ cm}$, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

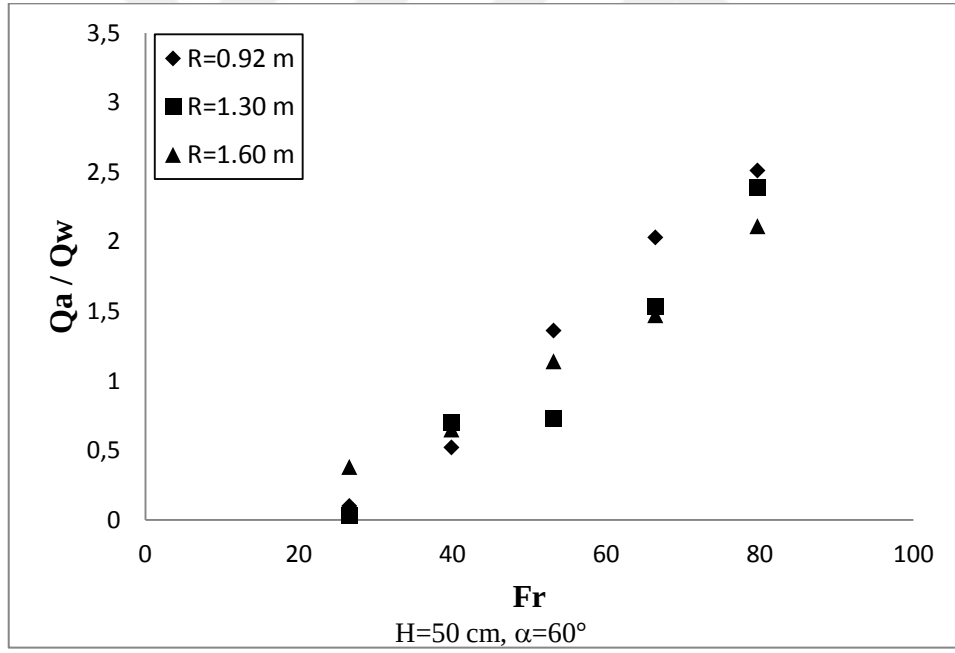
Kolon çapı etkisini gösteren grafikler incelendiğinde Şekil 3.1.7'de Q_a/Q_w değerinin 1,71 ile minimize olduğu, kolon su yüksekliğinin $H=50\text{ cm}$ ve su jeti dalma açısının $\alpha=30^\circ$ olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1.7. $H=50\text{ cm}$, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.1.8. $H=50$ cm, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.1.9. $H=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.1.10. $R=0.92$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü

Kolon boyunun $H=50$ cm, su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ ve tank çapının $R=0.92$ m olduğu Şekil 3.1.10. incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin alt bölgelerinde oldukça yoğun ve küçük çaplı olduğu görülmektedir.

Flotasyon hücresinin alt kısımlarında oluşan hava kabarcık boyutlarının hücrenin üst kısmına doğru giderek büyüdüğü açıkça görülmektedir.

Dolayısıyla kolon boyunun $H=50$ cm ve su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu tüm deney alternatifleri incelendiğinde, tank çapının artması ile havalandırma veriminin düştüğü görülmektedir. Bu nedenle tank çapının $R=0.92$ m olduğu bu alternatifte havalandırma veriminin oldukça iyi olduğu söylenebilir.

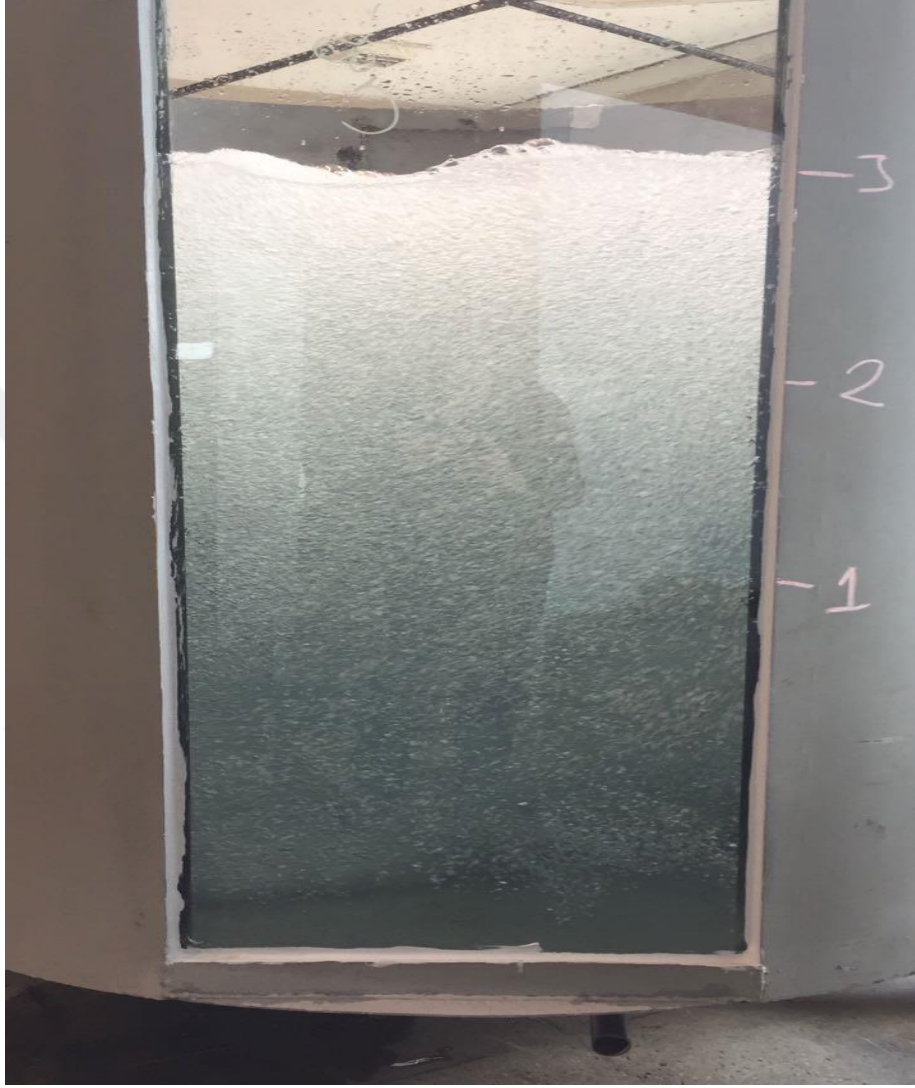


Şekil 3.1.11. $R=1.30$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü

Kolon boyunun $H=50$ cm, su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ ve tank çapının $R=1.30$ m olduğu Şekil 3.1.11 incelendiğinde, flotasyon hücresinin altındaki hava kabarcıklarının ve meydana gelen köpük zonunun Şekil 3.1.10'a kıyasla azaldığı söylenebilir.

Flotasyon hücresinin alt kısımlarında oluşan hava kabarcık boyutlarının hücrenin üst kısmına doğru büyüdüğü açıkça görülmektedir.

Dolayısıyla kolon boyunun $H=50$ cm ve su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu tüm deney alternatifleri incelendiğinde, tank çapının artması ile havalandırma veriminin düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.1.12. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü

Kolon boyunun $H=50$ cm, su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ ve tank çapının $R=1.60$ m olduğu Şekil 3.1.12. incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin altında hiç taramadığı bölgelerin oluştuğu söylenebilir.

Bu deney alternatifleri içerisinde kıyaslama yapılırsa, Şekil 3.1.12'nin flotasyon verimi açısından iyi bir alternatif olmadığı açıkça söylenebilir. Bu alternatifte hava kabarcık sayısının bayağı azaldığı ve meydana gelen köpük zonu ve penetrasyon derinliğinin Şekil 3.1.10. ve Şekil 3.1.11'e oranla en az olduğu açıkça görülmektedir.

Bu alternatiflere ait deney grupları kıyaslandığında şöyle bir sonucun ortaya çıktığı görülmektedir: Aynı kolon boyunda, aynı su jeti dalma açısında yapılan deneylerde farklı tank çapına bağlı olarak flotasyon veriminin değiştiği söylenebilir. Kısacası tank çapı ile flotasyon verimi arasında ters orantı mevcuttur. Çünkü tank çapı arttıkça penetrasyon derinliği azalmakta dolayısıyla havalandırma ve Flotasyon verimi de buna paralel olarak düşüş göstermektedir.

Sonuç olarak kolon boyunun $H=50$ cm ve su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu tüm deney alternatifleri arasında tank çapının $R=0.92$ m olduğu Şekil 3.1.10.'da havalandırma veriminin en yüksek olduğu, tank çapının $R=1.60$ m olduğu Şekil 3.1.12.'de ise flotasyon veriminin en düşük değerde olduğu görülmektedir.

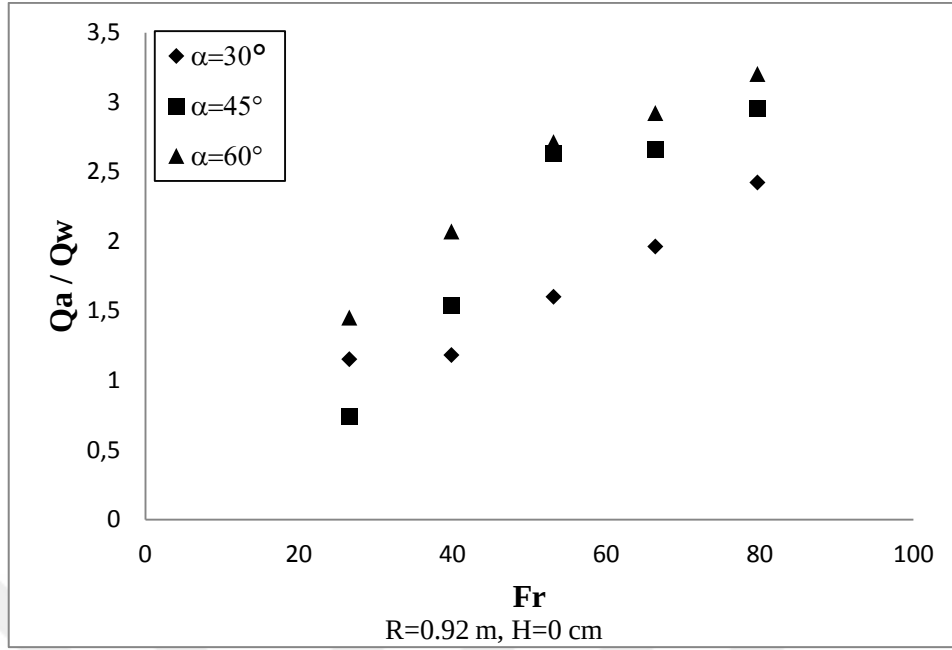
3.2. Flotasyon Hücresine Giren Su Jeti Dalma Açısının Havalandırma Performansına Etkisi

Şekil 3.2.1-Şekil 3.2.9'da yer alan tüm deney grupları incelendiğinde jet dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu alternatiflerde havalandırma performansının en büyük değere ulaştığı görülmektedir.

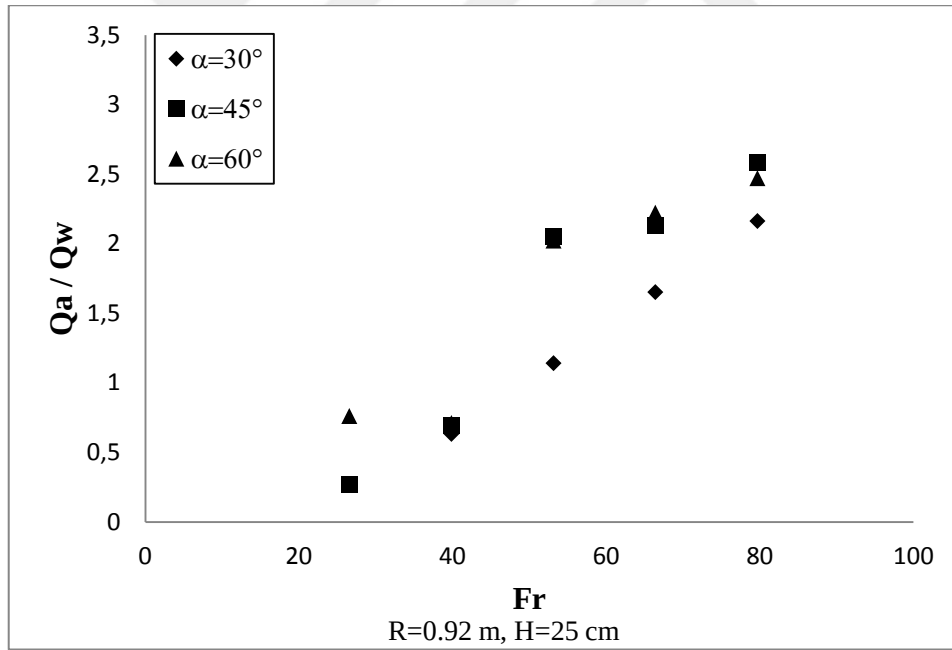
Su jeti dalma açısı azaldıkça havalandırma veriminin de genellikle azaldığı görülmektedir. Bu nedenle su jeti dalma açısı ile havalandırma verimi arasında doğru orantı olduğu söylenebilir.

Ayrıca su jeti dalma açısında ait fotoğraflar da incelendiğinde, su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ 'ye sahip olduğu alternatiflerde, hava kabarcığının flotasyon hücresi içerisindeki dağılımının en optimum düzeyde olduğu görülmektedir.

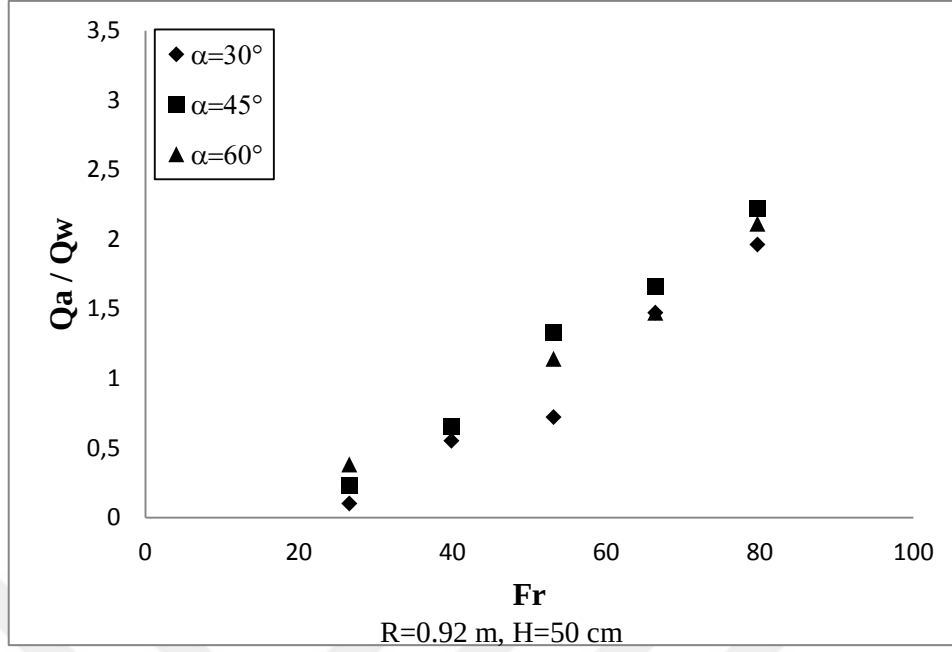
Su jeti dalma açısında ait fotoğraflar incelendiğinde $\alpha=45^\circ$ ve $\alpha=60^\circ$ 'lik jet dalma açılarında hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin hemen hemen tamamını taradıkları görünürken, $\alpha=30^\circ$ 'ye sahip dalma açısında flotasyon hücresinin özellikle alt kısımlarında hiç hava kabarcığı girmemiş bölgelerin olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılabileceği üzere flotasyon işlemi için en uygun açının $\alpha=60^\circ$ olacağı söylenebilir.



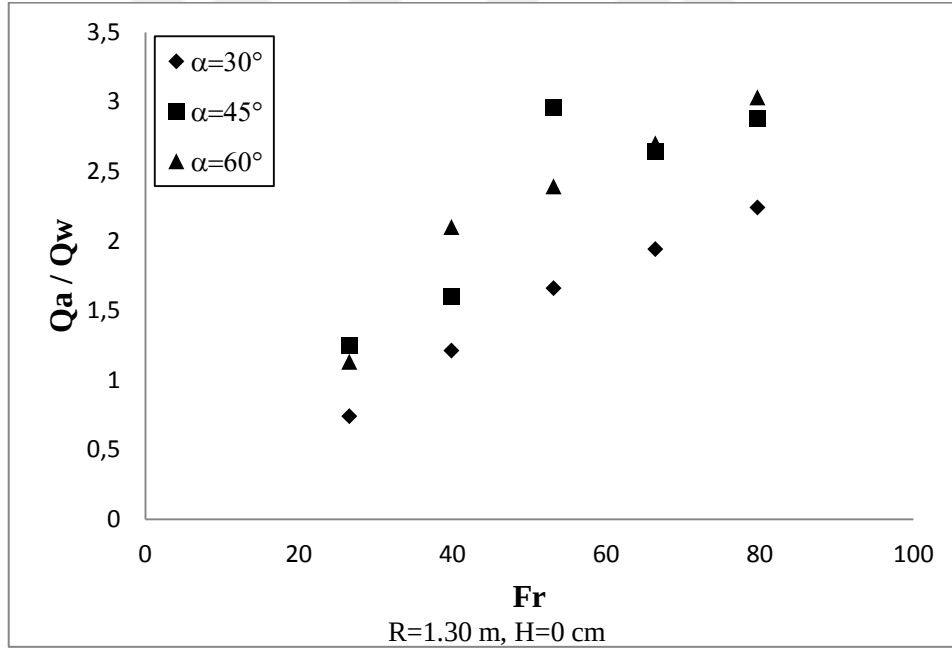
Şekil 3.2.1. R= 0.92 m, h=0 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



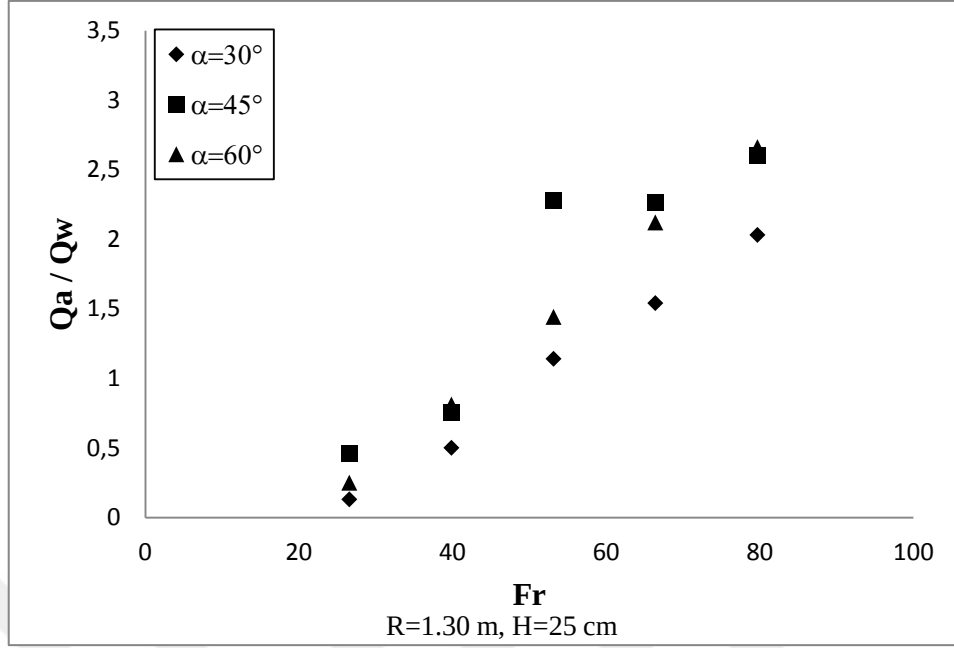
Şekil 3.2.2. R= 0.92 m, h=25 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



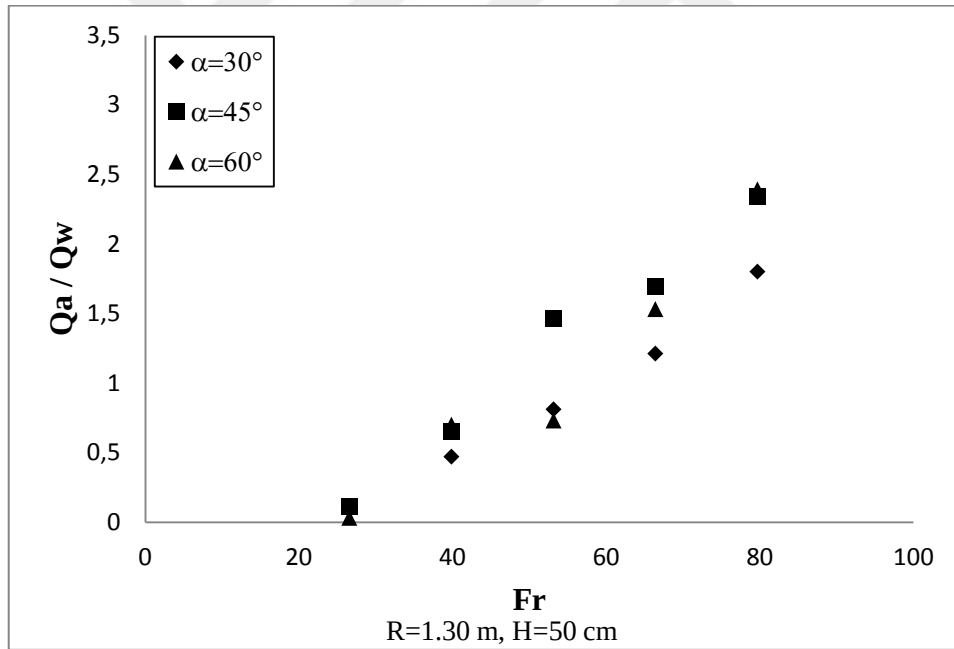
Şekil 3.2.3. R= 0.92 m, h=50 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.2.4. R= 1.30 m, h=0 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



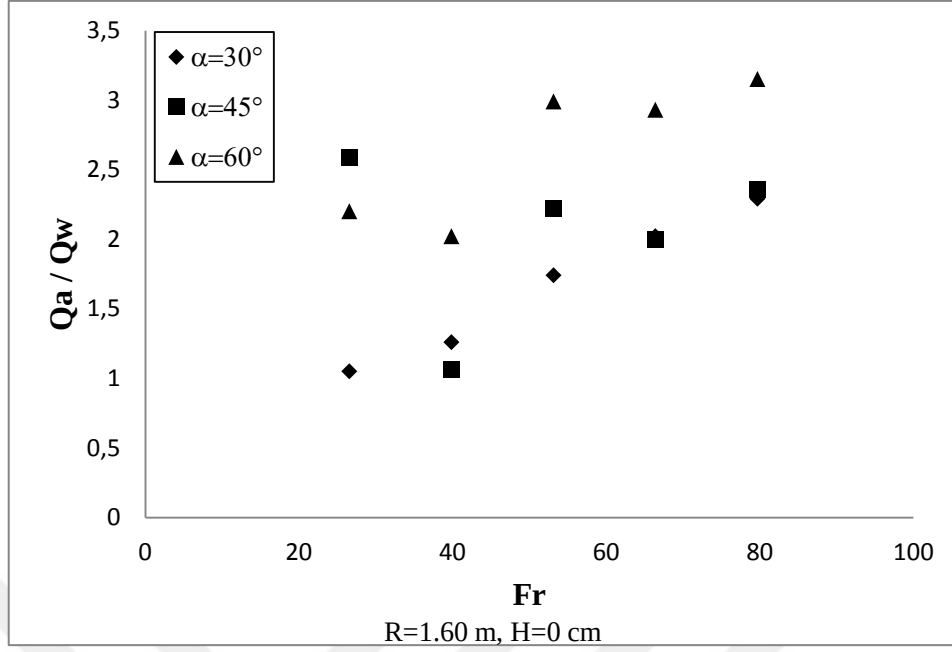
Şekil 3.2.5. R= 1.30 m, h=25 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.2.6. R= 1.30 m, h=50 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

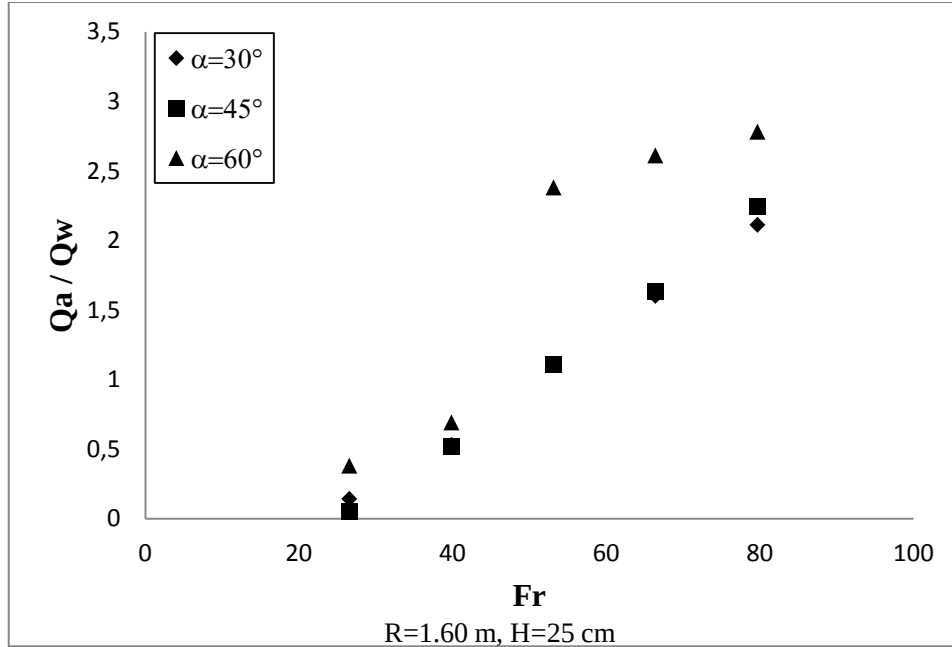
Su jeti dalma açısı etkisini gösteren tüm deney grupları incelendiğinde kolon su yüksekliğinin $H=0$ cm ve tank çapının $R=1.60$ m olduğu Şekil 3.2.7'de Q_a/Q_w değeri 3,25 ile maksimum değere ulaşmıştır.

Şekil 3.2.7'de görüldüğü gibi Q_a/Q_w oranı diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında en küçük Fr sayısı gruplarında $R=1.60$ m tank çapı için en yüksek değerini almıştır.



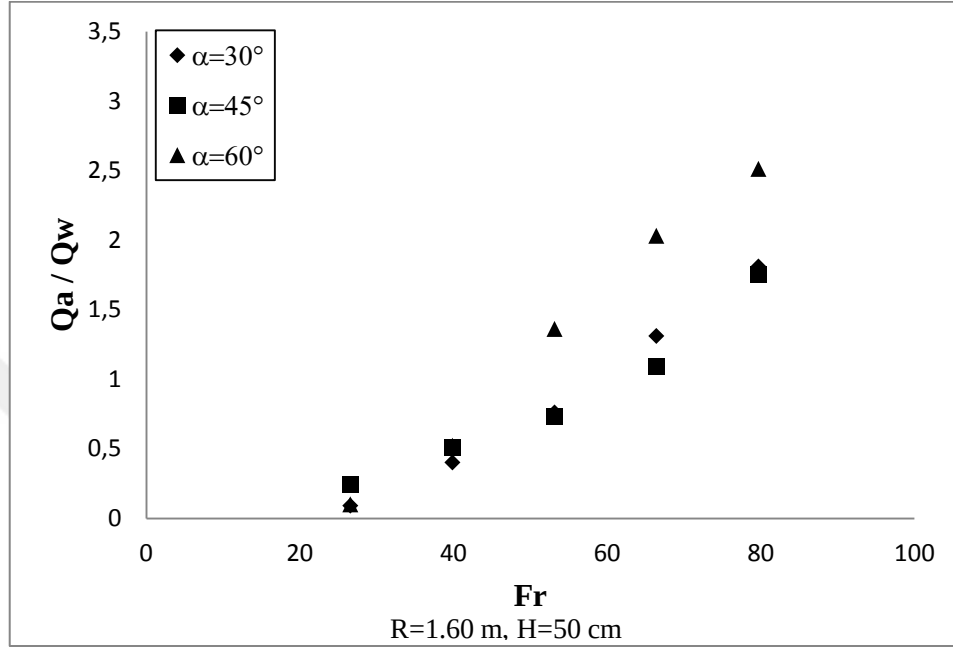
Şekil 3.2.7. R= 1.60 m, h=0 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

Şekil 3.2.7. ve Şekil 3.2.8. incelendiğinde, $\alpha=60^\circ$ 'lik su jeti alternatiflerinde Fr sayısının 40 değerini geçtikten sonra Q_a/Q_w değerinde ani yükselme trendi gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3.2.8. R= 1.60 m, h=25 cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

Su jeti dalma açısı etkisini gösteren tüm şekiller incelendiğinde kolon su yüksekliği $H=50$ cm, tank çapının $R=1.60$ m olduğu Şekil 3.2.9’da Q_a/Q_w değerinin 1,75 ile minimum olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2.9. $R=1.60$ m, $h=50$ cm için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

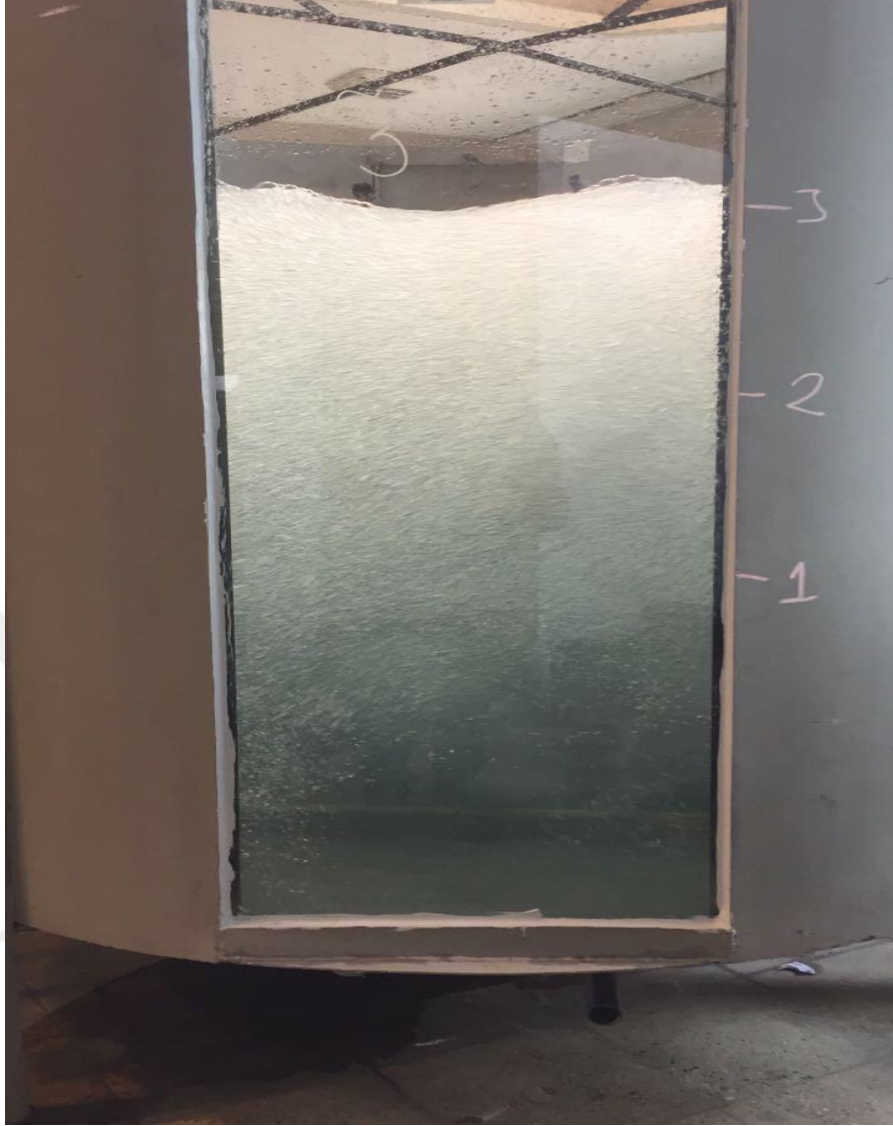


Şekil 3.2.10. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=60^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü

Tank $\varnothing$ ının $R=1.60$ m, kolon boyunun $H=50$ cm ve su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu Şekil 3.2.10 incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin hemen hemen tamamını taradığı görülmektedir. Bunun sebebi; su jeti dalma açısı artmasıyla penetrasyon derinliğinin artması olarak izah edilebilir.

Tank $\varnothing$ ının $R=1.60$ m ve kolon boyunun $H=50$ cm olduğu tüm deney alternatifleri incelendiğinde, flotasyon yöntemi için en uygun su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu söylenebilir. Bu alternatif incelendiğinde hava kabarcık sayısının daha fazla olduğu ve flotasyon hücresinin en üst kısmındaki köpük oluşumunun oldukça yoğun olduğu görülmektedir. Bu durum da flotasyon işleminde istenilen bir özelliktir.

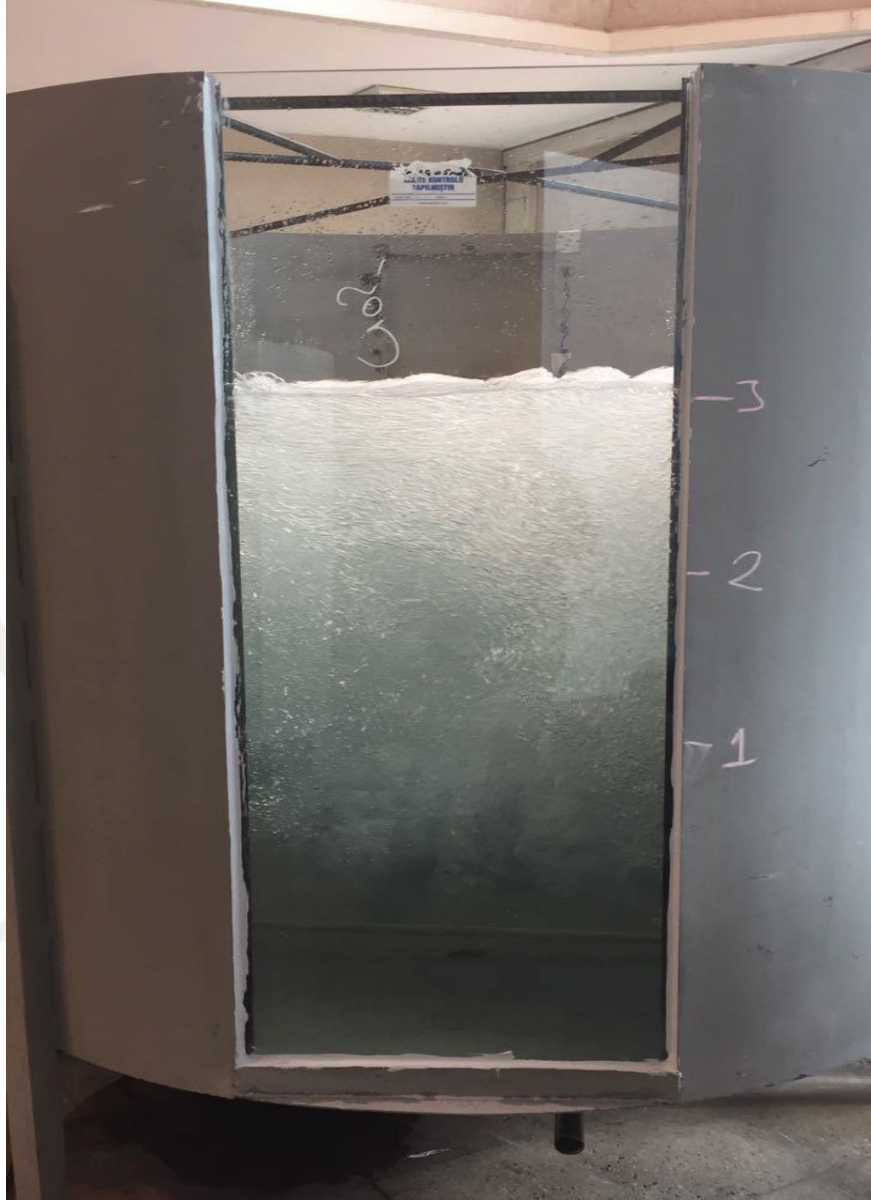
Sonuç olarak bu alternatifi diğer alternatiflere oranla, havalandırma verimi açısından en iyi alternatif olduğu söylenebilir.



Şekil 3.2.11. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=45^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü

Tank φ apının $R=1.60$ m, kolon boyunun $H=50$ cm ve su jeti dalma açısının $\alpha=45^\circ$ olduğu Şekil 3.2.11. incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin alt bölgelerini tamamen taramadığı ve ölü bölgeler oluştuğu görülmektedir. Bunun sebebi su jeti penetrasyon derinliğinin yeterli olamıyışı ve flotasyon hücresinin tabanına kadar etki etmeyişi olarak izah edilebilir.

Dolayısıyla tank φ apının $R=1.60$ m ve kolon boyunun $H=50$ cm olduğu tüm deney alternatifleri incelendiğinde, su jeti dalma açısının azalması ile havalandırma veriminin de düştüğü görülmektedir. Bu alternatifte hava kabarcık sayısının ve flotasyon hücresindeki yüzeyindeki köpük oluşumunun Şekil 3.2.10'a kıyasla daha da azaldığı söylenebilir.



Şekil 3.2.12. $R=1.60$ m, $h=50$ cm, $\alpha=30^\circ$ alternatifi ve kabarcık görünümü

Tank çapının $R=1.60$ m, kolon boyunun $H=50$ cm ve su jeti dalma açısı $\alpha=30^\circ$ olduğu Şekil 3.2.12. incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin alt bölgelerine hiç ulaşmadığı görülmektedir.

Bu gruptaki tüm deney alternatifleri incelendiğinde, Şekil 3.2.12.'nin flotasyon verimi açısından iyi bir alternatif olmadığı açıkça görülmektedir. Bu alternatifte hava kabarcık sayısının bayağı azaldığı ve köpük oluşum kalınlığının çok az olduğu görülmektedir.

Bu alternatif Şekil 3.2.10 ve Şekil 3.2.11. ile kıyaslandığında şöyle bir sonucun ortaya çıktığı görülmektedir: Aynı tank çapında, aynı kolon boyunda yapılan deneylerde su jeti dalma açısına bağlı olarak flotasyon veriminin değiştiği söylenebilir. Kısacası su jeti dalma

açısı ile flotasyon verimi arasında doğru orantı mevcuttur. Çünkü su jeti dalma açısı arttıkça penetrasyon derinliği artmakta dolayısıyla havalandırma ve flotasyon verimi de buna paralel olarak artmaktadır.

Sonuç olarak tank çapının $R=1.60$ m ve kolon boyunun $H=50$ cm olduğu tüm deney alternatifleri arasında su jeti dalma açısının $\alpha=60^\circ$ olduğu Şekil 3.2.10'da havalandırma veriminin en yüksek olduğu, su jeti dalma açısının $\alpha=30^\circ$ derece olduğu Şekil 3.2.12.'de ise flotasyon veriminin en düşük değerde olduğu görülmektedir.

3.3. Flotasyon Hücresi Kolon Boyunun Havalandırma Performansına Etkisi

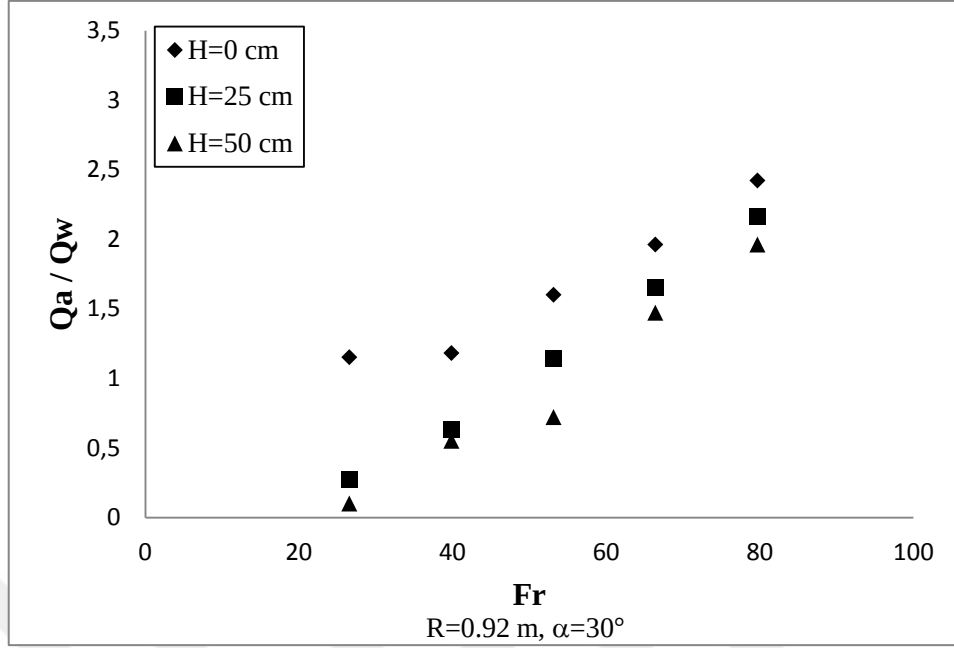
Şekil 3.3.1.-Şekil 3.3.9.'da yer alan tüm deney grupları incelendiğinde kolon boyunun $H=0$ cm olduğu alternatiflerde havalandırma performansının en büyük değere ulaştığı söylenebilir.

Kolon boyunun artması havalandırma verimini azaltmaktadır. Diğer bir deyişle kolon boyu ile havalandırma verimi arasında ters orantı mevcuttur.

Şekil 3.3.1.-Şekil 3.3.9.'da yer alan tüm deney grupları incelendiğinde, jet dalma açısının $\alpha=30^\circ$ olduğu tüm alternatiflerde Q_a/Q_w değerinin doğrusala yakın bir şekilde arttığı görülmektedir.

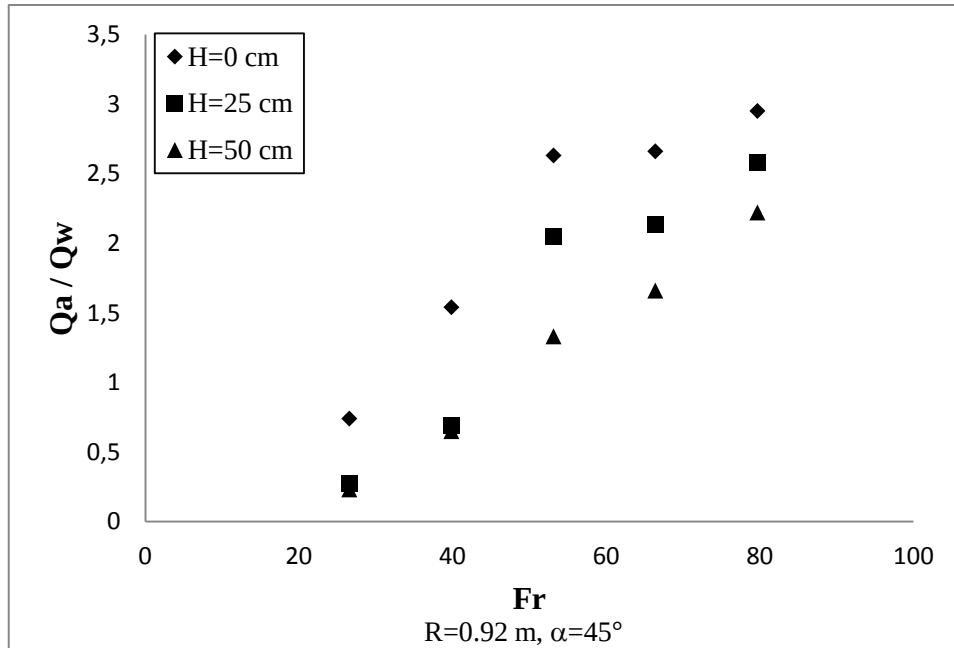
Tank çapı $R=1.60$ m olan alternatiflerde $Fr=25$ değerlerinde Q_a/Q_w değeri sıfır olarak ölçülmüştür.

Tüm deney grupları incelendiğinde; Q_a/Q_w 'nin sıfır yani havalandırmanın olmadığı alternatifler genellikle minimum debide ve kolon boyunun $H=50$ cm olması durumunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

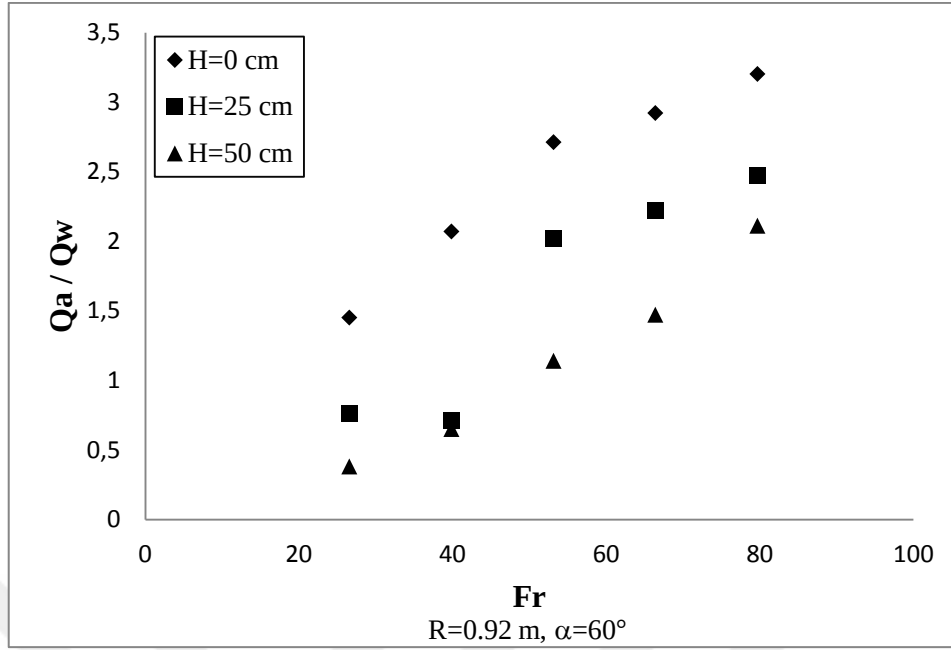


Şekil 3.3.1. R= 0.92 m, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

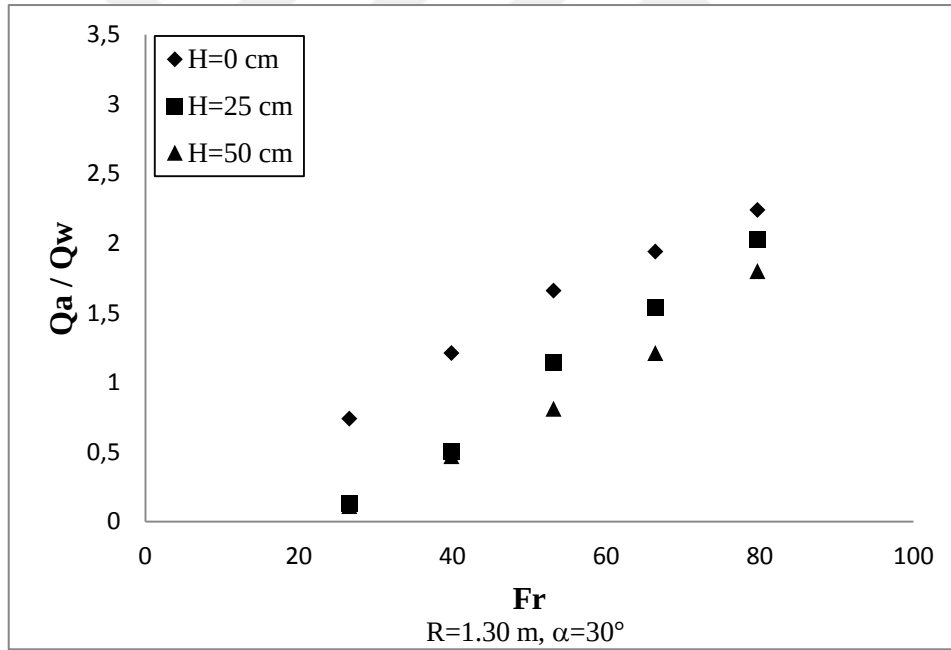
Jet dalma açısının $\alpha=45^\circ$ olduğu durumlar incelendiğinde özellikle Şekil 3.3.2. ve Şekil 3.3.5.'te görüldüğü üzere Q_a/Q_w oranı doğrusala yakın artış gösterirken, Froude sayısının 40-60 arasında değiştiği bölgede ani sapmaların olduğu sonra tekrar hafif azalıp yükselmeye devam ettiği görülmektedir.



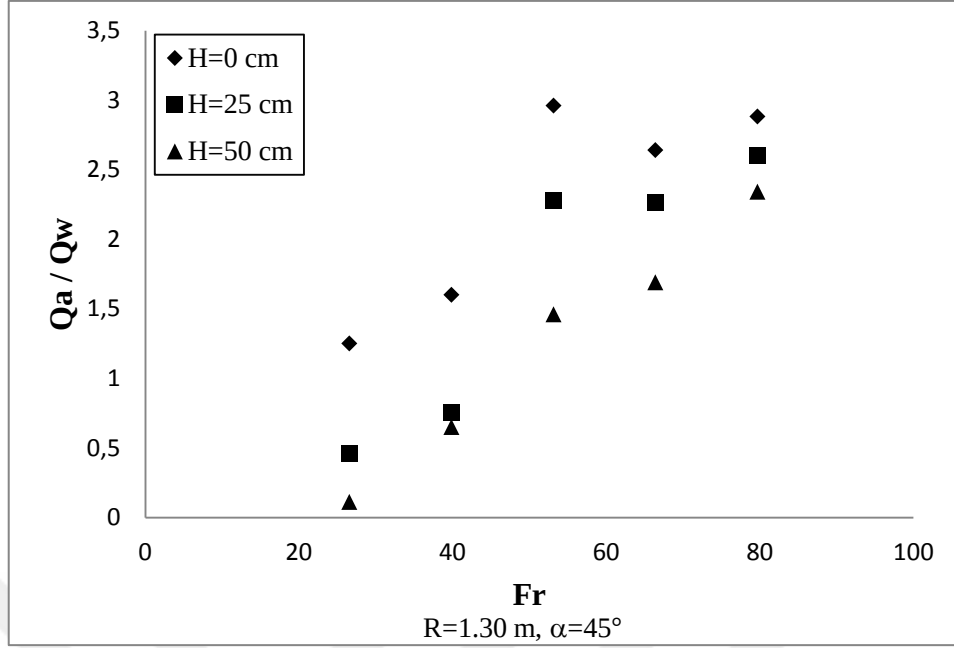
Şekil 3.3.2. R= 0.92 m, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.3.3. $R=0.92 \text{ m}$, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

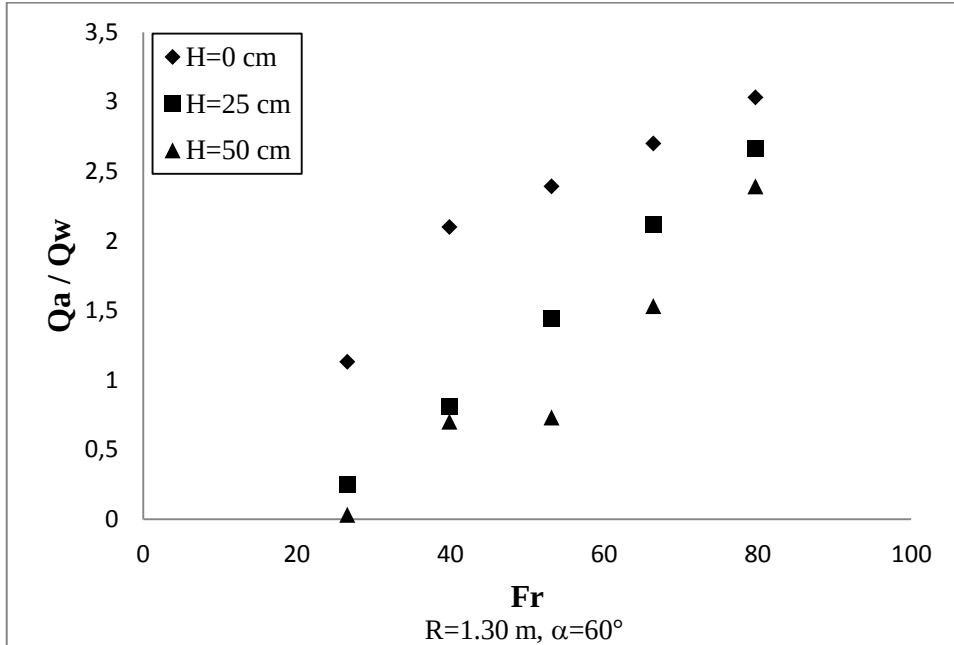


Şekil 3.3.4. $R=1.30 \text{ m}$, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

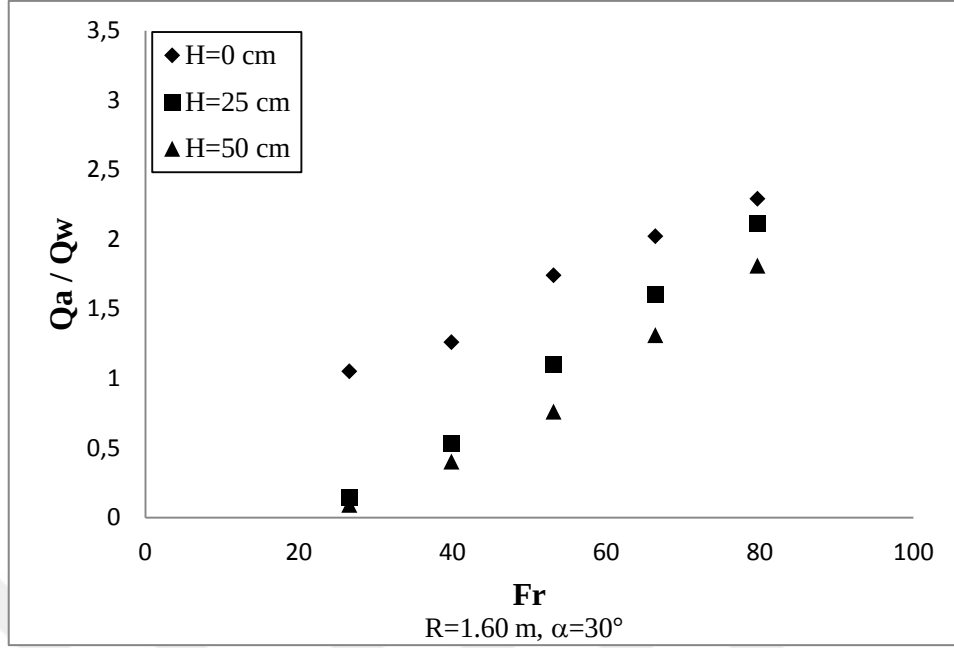


Şekil 3.3.5. $R=1.30\text{ m}$, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

Kolon boyunu artmasıyla havalandırma performansının düşmesi şöyle izah edilebilir: Flotasyon hücresi içerisine dalan hava-su karışımına sahip jetin üzerindeki statik su seviyesi yükseldikçe jet üzerinde basınca sebep olmaktadır. Dolayısıyla havalandırma performansı bu durumdan negatif etkilenecek azalmaktadır (Şekil 3.3.6. ve Şekil 3.3.8.).

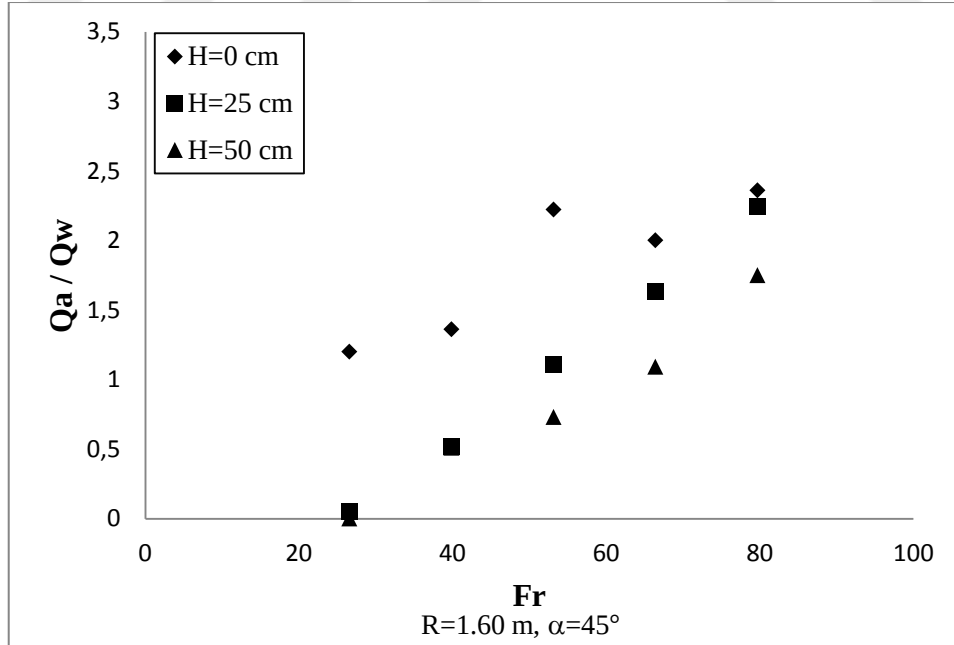


Şekil 3.3.6. $R=1.30\text{ m}$, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



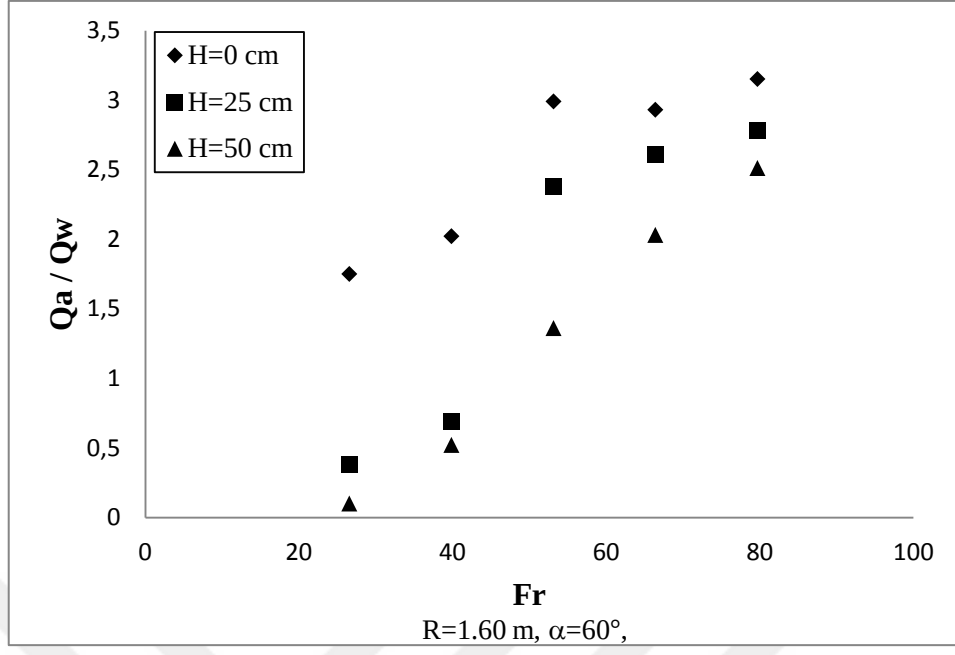
Şekil 3.3.7. R= 1.60 m, $\alpha=30^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

Kolon boyu etkisini gösteren tüm deney grupları incelendiğinde su jeti dalma açısı $\alpha=45^\circ$, tank çapı R=1.60 m olan Şekil 3.3.8.'de Q_a/Q_w değeri 1,75 ile minimize olmuştur.



Şekil 3.3.8. R= 1.60 m, $\alpha=45^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi

Kolon boyu etkisini gösteren tüm deney grupları incelendiğinde su jeti dalma açısı $\alpha=60^\circ$, tank çapı R=1.60 m olan Şekil 3.3.9.'da Q_a/Q_w değeri 3,15 ile maksimum değere ulaşmıştır.



Şekil 3.3.9. $R=1.60 \text{ m}$, $\alpha=60^\circ$ için Q_a/Q_w 'ın Fr ile değişimi



Şekil 3.3.10. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$, $h=0$ cm alternatifi ve kabarcık görünümü

Tank çapının $R=0.92$ m, su jeti dalma açısının $\alpha=45^\circ$ ve kolon boyunun $H=0$ cm olduğu Şekil 3.3.10. incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin tamamını taradığı ve yoğun bir köpük zonunun meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi; kolon boyu ve penetrasyon derinliği arasındaki ters orantı ile olarak açıklanabilir.

Kolon boyu etkisinin incelenmesi açısından bu deney grubundaki alternatifler incelendiğinde, flotasyon yöntemi için en uygun kolon boyunun $H=0$ cm olduğu söylenebilir. Bu alternatif incelendiğinde hava kabarcık sayısının çok fazla olduğu ve flotasyon hücresinin en üst kısmındaki köpük oluşumunun oldukça yoğun olduğu

görülmektedir. Havalandırma verimi açısından oldukça iyi bir performans elde edildiği için bu durum flotasyon işlemlerinde istenilen bir özelliktir.

Sonuç olarak bu alternatifin diğer alternatiflere oranla, havalandırma verimi açısından en iyi alternatif olduğu söylenebilir.



Şekil 3.3.11. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$, $h=25$ cm alternatifi ve kabarcık görünümü

Tank çapının $R=0.92$ m, su jeti dalma açısının $\alpha=45^\circ$ ve kolon boyunun $H=25$ cm olduğu Şekil 3.3.11. incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin alt bölgelerini Şekil 3.3.10'a kıyasla daha az taradığı ve kısmen ölü bölgeler oluştuğu

söylenabilir. Bunun sebebi kolon boyunun artması ile penetrasyon derinliğinin yeterli olamayışı ve flotasyon hücresinin tabanına kadar etki etmeyişi ile izah edilebilir.

Dolayısıyla tank çapının $R=0.92$ m ve su jeti dalma açısının $\alpha=45^\circ$ olduğu tüm deney alternatifleri incelendiğinde, kolon boyunun artması ile havalandırma veriminin düştüğü görülmektedir. Bu alternatifte hava kabarcık sayısının ve flotasyon hücresindeki köpük oluşumunun Şekil 3.3.10'a kıyasla daha da azaldığı söylenebilir.



Şekil 3.3.12. $R=0.92$ m, $\alpha=45^\circ$, $h=50$ cm alternatifi ve kabarcık görünümü

Tank apının $R=0.92$ m, su jeti dalma açısının $\alpha=45^\circ$ ve kolon boyunun $H=50$ cm olduğu Şekil 3.3.12 incelendiğinde, hava kabarcıklarının flotasyon hucresinin alt bölgelerine hemen hemen hiç ulaşmadığı söylenebilir.

Bu gruptaki tüm deney alternatifleri incelendiğinde, Şekil 3.3.12'nin flotasyon verimi açısından iyi bir alternatif olmadığı açıkça görülmektedir. Bu alternatifte hava kabarcık sayısının ve köpük kalınlığının azaldığı görülmektedir.

Bu alternatif Şekil 3.3.10. ve Şekil 3.3.11. ile kıyaslandığında şöyle bir sonuç ortaya çıkmaktadır: Aynı tank çapında, aynı su jeti dalma aısılarında farklı kolon boylarına bağlı olarak flotasyon veriminin değiştiği söylenebilir. Kısacası kolon boyu arttıkça penetrasyon derinliği azalmakta dolayısıyla havalandırma ve flotasyon verimi de bunla orantılı olarak düşüşe gçmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Hızla artan dünya nüfusu ve endüstride yaşanan baş döndürücü gelişmeler; evsel ve endüstriyel atıkların dönüştürülmesi zorunluluğu gibi sorunları beraberinde getirirken, ortaya çıkan bu çok boyutlu çevresel problemlerin çözümü için küresel ve disiplinler arası çalışmalar yapılması zorunlu hale gelmiştir. Maden, malzeme, çevre ve inşaat mühendisliği gibi farklı bilim dallarının ortak çalışma prensiplerini içeren flotasyon işlemi bahse konu olan problemlerin çözümü için son yıllarda yaygın olarak kullanmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, basınçlı kondüitler ile desteklenmiş flotasyon hücrelerinde, hücrenin fiziksel parametrelerinin havalandırma performansı üzerindeki değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak hücre çapı ve hücreye giren hava-su jeti dalma açısı ve hücre kolon boyu değişiminin havalandırma performansına etkileri incelenmiştir. Deneylerde konduit kapağı altındaki Froude sayısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Tüm deney gruplarında Froude sayısının artmasıyla hava giriş ve havalandırma performansı artmıştır. Büyük Froude sayılarında havalandırma performans değeri maksimum değerlere ulaşmıştır. Yüksek havalandırma performansına paralel olarak çok sayıda hava kabarcığı flotasyon hücresine girmektedir. Böylece, basınçlı kondüitler ile desteklenmiş flotasyon hücrelerinin flotasyon işlemi için yüksek bir verimlilikle kullanılabileceği anlaşılmıştır.
- Su hızının artışına bağlı olarak havalandırma performansında büyük artışlar olduğu görülmüştür.
- Tüm deney gruplarında en iyi havalandırma performansı su jetinin flotasyon hücresine 60^0 derecelik açıyla dalan alternatiflerde olduğu gözlemlenmiştir. Flotasyon hücresi içerisindeki hava kabarcığı dağılımının en uygun olduğu ve penetrasyon derinliğinin en yüksek olduğu su jeti açısı 60^0 olmuştur.
- Tüm deney gruplarında en iyi havalandırma performansının flotasyon hücre çapının 0,92 m olduğu alternatiflerde olduğu gözlemlenmiştir.
- Tüm deney gruplarında kolon boyu arttıkça havalandırma performansı azalmıştır. Kolon boyunun H=0 cm olduğu deney gruplarında en yüksek hava girişinin olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma ile su mühendisliğinde havalandırma işlemi, malzeme, maden ve çevre mühendisliğinin konusu olan flotasyon işleminde mevcut sistemlere alternatif olarak gösterilebilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Yeni nesil bir flotasyon ve havalandırma sistemi olan konduit ile desteklenmiş flotasyon hücresi üzerinde bir takım deneysel ve gözlemsel çalışmalar yapılmıştır. Farklı disiplinlerini bir araya getiren bu sistem sayesinde flotasyon hücresine çok yüksek miktarda hava kabarcığı girişi sağlanmıştır. Flotasyon yönteminde de amaç olan çok sayıda hava kabarcığının sisteme girişi geliştirilen bu sistemle kolaylıkla sağlanmış olmaktadır.

Günümüz teknolojilerinde; rantabilite ve işletme şartlarının her sahada optimum olması gibi hususlar arandığından ve bu yönden de konduit ile desteklenmiş flotasyon hücresi ile flotasyon sistemi basit yapım, düşük ilk yatırım maliyeti ve işletme kolaylığı gibi esaslarıyla konvensiyonel flotasyon yöntemlerine bir alternatif olacaktır.

5. ÖNERİLER

Üzerinde deney yaptığımız pilot ölçekli sistem ile maden, malzeme ve çevre mühendisliğinin konusu olan flotasyon işleminde mevcut flotasyon tekniklerine alternatif olarak gösterilebilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Farklı disiplinlerini bir araya getiren bu yeni tasarım ile flotasyon hücresine çok yüksek sayı ve küçük boyutlu hava kabarcığı girişi sağlanmıştır. Teorik çalışmalar ve pratik uygulamalar göstermektedir ki küçük taneli ve çok sayıda hava kabarcığı girişi flotasyon verimi açısından oldukça önemlidir.

Geliştirdiğimiz sistemde bu koşulları fazlasıyla ve hiç bir kimyasal katkıya ihtiyaç duymadan yapabilme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca bu sistem yüksek hava giriş performansı sebebiyle çevre mühendisliğinin konusu olan atıksu arıtımında, biyolojik arıtma için gerekli O₂ nin sisteme verilmesinde, suda var olan ve uzaklaştırılması istenen belirli uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılmasında, inşaat ve su mühendisliğinin konusu olan tarımsal sulama amaçlı basınçlı sulama sistemleri içerisine gübre enjeksiyonunda etkin bir şekilde kullanılabilir. Bahse konu tüm bu faaliyetlerin yapılabilmesi için her bir konuda deneysel çalışmalar yürütülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Baylar, A., 2002. Savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [2] Detsch, R. M. and Sharma, R. N., (1990). The critical angle for gas bubble entrainment by plunging liquid jets, Chem. Eng. Journal, Great Britain.
- [3] Ahmed, A., 1974. “Aeration by plunging liquid jet”, Ph.D. thesis, Loughborough University of Technology.
- [4] Özkan, F., 2005. Basınçlı su borularında hava iletimi ve oksijen transferinin incelenmesi, Doktora Tezi. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] Ünsal, M., 2007. Suların havalandırılmasında yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kondüitlerin kullanılması, Doktora Tezi. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] Sharma, H. R. (1976). Air-entrainment in high head gated conduits. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 102 (HY11), 1629–1646.
- [7] 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
- [8] Gulliver, J. S., and Rindels, A. J., 1990. Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows JI of Environm Engrg, ASCE, 116(3), 503-523.
- [9] Ünsal, M., Tuğal, M., Özkan, F., 2005. Kapaklı Kondüitlerde Boy Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi DAUM (Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi), Cilt No:3, Sayı No:3, 132-137.
- [10] Bin, A. K., 1993. Gas entrainment by plunging liquid jets, Chermical Engineering Science, No. 21, pp. 3585-3630.
- [11] Tuna, M. C., Ozkan, F. & Baylar, A. 2014 Experimental investigations of aeration efficiency in high head gated circular conduits. Water Science and Technology 69 (6), 1275–1281.
- [12] Wormleaton, P.R. and Soufiani, E., 1998. Aeration performance of triangular planform labyrinth weirs, Journal of Environmental Engineering, ASCE. 124 (8) pp. 709–719.
- [13] Albrecht, D., 1968. Belüftung des ruhrwassers am wehr spiellenburg, Die Wasserwirtschaft, 11.
- [14] Kobus, H. And Koschitzky, H.P., 1991. Local surface aeration at hydraulic structures, Hydraulic Structures Desing Manual, No. 4, pp. 29-53.

- [15] 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.
- [16] Tsang, C.C., 1987. Hydraulic and aeration performance of labyrinth weirs, Ph.D. Thesis, U.K. University of London,.
- [17] Grindron, J., 1962. British research on aeration at weir, Water and Sawage Works, October.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Nakasone, H., 1987. Study of aeration at weirs and cascades, Journal of Environmental Engineering, ASCE. 113 (1) pp. 64–81.
- [21] 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.
- [22] McKeogh and Ervine 1981 Air entrainment rate and diffusion pattern of plunging liquid jets. Chem. Eng. Sci. 36:1161–1172.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Küçükali, S. 2002 Açık Kanallarda Oksijen Transferi. Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] E.C. Çilek., Mineral Flotasyonu, SDÜ Basımevi, Isparta, 2006.
- [27] S. Atak., Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, İTÜ Vakfı, İstanbul, 1990.
- [28] S. Dessureault., P. Carabin, A. Thom, J. Kleuser, Column Flotation: A Significant Simplification of the Flotation Deinking Process, Progress in Paper Recycling, 8 (1998) 23-33.
- [29] C.S. Lin, S.D. Huang, Removal of Cu (II) from Aqueous Solution with High Ionic Strength by Adsorbing Colloidal Flotation, Environmental science and technology, 28 (1994) 474-478.

- [30] J. Mihopoulos, H. Hahn, Concepts for Efficient Liquid-solid Separation-the Key to Successful Pretreatment of Industrial Wastewaters, *Water Science and Technology*, 29 (1993) 347-350.
- [31] M.A.D. Azevedo, J. Drelich, J.D. Miller, Effect of pH on Pulping and Flotation of Mixed Office Wastepaper, *Journal of Pulp and Paper Science*, 25 (1999) 317- 320.
- [32] M.T. Ityokumbul, "Flotation Technology in Nonmineral Applications in Advances in Flotation Technology", in B.K. Parekh and J.D. Miller (Eds.), *Advances in Flotation Technology*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., Littleton, CO, 1999, p.257-266.
- [33] J.D. Miller, J. Hupka, Potential of Air-Sparged Hydrocyclone Flotation in Environmental Technology, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) Annual Meeting Proceedings of the EPD Congress, 1993, p.123.
- [34] Yianatos, J., Panire, I. and Vinnett, L., 2016. A new method for flotation rate characterization using top-of-froth grades and the froth discharge velocity, *Minerals Engineering*, Volume 92
- [35] Cowburn, J., Harbort, G., Manlapig, E., Pokrajcic, Z., 2005, Improving the recovery of coarse coal particles in a Jameson cell.
- [36] Zhang, Wei., 2014 Evaluation of effect of viscosity changes on bubble size in a mechanical flotation cell, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* Volume 24, Issue 9, September 2014
- [37] Harbort, G.J., Manlapig, E.V. ve DeBono, S.K.,2002, Particle collection within the Jameson cell downcomer, *Institution of Mining and Metalurgy, Sect. C: Mineral Proces.Extr. Metall*,s1-10.
- [38] Filho, A.J., Azevedo, A., Etchepare, R.ve Rubio, J., 2016. Removal of sulfate ions by dissolved air flotation (DAF) following precipitation and flocculation *International Journal of Mineral Processing*, Volume 149, 10 April, 1-8
- [39] Gray, M.P.,Harbort G.J. ve Murphy, A.S., Flotation circuit design utilising the Jameson cell, *MIM Processing Technologies*, Brisbane, Queensland, www.mim.com.au
- [40] Taşdemir, T, 2006, Jameson hücresinde hold-up'ın modellenmesi ve bazı çalışma parametrelerinin flotasyon verimine etkisi, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [41] Dawson, W.J. ve Jackson, B.R., 1995, Evolution of jameson cell for Solvent extraction applications, *Copper Hydrometallurgy Forum*, Sept. 18-19, Brisbane, Australia, s1-9.

- [42] Şahbaz, O, 2005, “Tunçbilek Termik Santrali Cürufundaki Yanmamış Karbonun Jameson Flotasyon Kolonu İle Kazanılması” Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- [43] Mohanty, M.K. ve Honaker, R.Q., 1999, Performance optimization of Jameson Flotation Technology for finecoal cleaning, Minerals Engineering, vol.12, No.4, s 367-381.
- [44] Murphy, A.S., Hoaker, R., Manlapig, Lee, D.J. ve Harbor G.J., Breaking boundaries of jameson cell capacity, www.xstratatech.com/current/doc/jc_boundaries.pdf MIM Process press.
- [45] Aplan, F.F. and Arnold, B.J., (1991), Wet fine particle concentration: flotation, Coal Preparation, Ed. Leonard, Pub. By Society for Mining Metalurgy Exploration Inc., Littleton, Colorado.
- [46] Harbort, G.J., Manlapig, E.V., DeBono, S.K. ve Monaghan, A.J., 2003, XXII International Mineral Processing Congress, Cape Town, Güney Afrika, s 715-724.
- [47] Harbort, G., De Bono, S., Carr, D., ve Lawson, V., -, Jameson Cell Fundamentals-A Revised Perspective, Minerals Engineering, Vol. 16, Issue 11, p.1091-1101
- [48] Akers, D.J., Harrison, C.D. ve Parkinson, J.W., The design and operation of two pondfines recovery facilities, CQ Inc. Homer City, Pennsylvania,
- [49] Jameson , G.J., 1999, Hydrophobicity and floc density in induced-air flotation for water treatment, Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects 151, s 269-281.
- [50] EGL Jet Flote-Jameson Cell, Location: Nerang-Queensland, November 1995.
- [51] Patwardhan, A. ve Honaker, R.Q., 2000, Development of a carrying-capacity model for column froth flotation, Internatioanl Journal of Mineral Processing, vol. 59, s 275-293.
- [52] Güney, A., Önal, G., ve Ergut, Ö., 2001, Beneficiation of fine coal by using the free jet flotation system, fuel Processing Technology, s 141-150.
- [53] Ata, S. ve Önder, Ü.Y., (1997), yeni bir flotasyon teknolojisi: Jameson Flotasyon Hücresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası dergisi, ISSN: 0024-9416, Aralık, Ankara-Türkiye.
- [54] Harbort, G., Lauder, D., Miranda, J. ve Murphy, A., 1999, Size by size analysis of operating characteristics of Jameson cell cleaners at the Bajo de Alumbrera Copper7Gold Concentrator, Mill operators conference-Innovation in operating practice for the 21st century, (g.j.harbort@mim.com.au)
- [55] McKeogh, E. J. and Elsayy, E.M., (1980). Air retained in pool by plunging water jet. J. Hyd. Div. Proc. ASCE

[56] Chudacek, M. W., (1995). Water jet flotation (fast float). M.D. Research Co. Pty: Ltd., Australia.

[57] Tojo, K., et.al., (1982), Oxygen transfer in mixers, Chem. Eng. Science, Great Britain.

[58] Ohkawa, A., et al., (1986). Plunging water jet system, Biotechnology and Bioengineering, Great Britain.

[59] www.xstratatech.com/current/doc/jc_coal.pdf,
www.xstratatech.com/current/doc/jc_sxew.pdf

[60] http://www.xstratatech.com/current/doc/jc_installmetals.pdf

[61] 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.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Elazığ’ da doğdu. İlköğretim ve orta öğretimi Elazığ’ da tamamladı. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği programından mezun oldu. 2014-2017 yılları arasında özel şirketlerde inşaat mühendisliği yaptı. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisansa devam etmekte.

