



**KAPAKLI KONDUİTLİ FLOTASYON KOLONLARININ
HAVALANDIRMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Bünyamin CANPOLAT

Yüksek lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Cihat TUNA

MAYIS-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPAKLI KONDUİTLİ FLOTASYON KOLONLARININ HAVALANDIRMA
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Bünyamin CANPOLAT

141115101

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 ve bilimsel çalışmalarım sırasında çok büyük yardımlarını gördüğüm tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Muhammed Cihat TUNA'ya ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi FÜBAP'a verdikleri destekten ötürü teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Suların Havalandırılması	2
1.1.1 Havalandırma Kavramı.....	2
1.2 Havalandırma Amaçlı Kullanılan Hidrolik Yapılar	3
1.2.1 Su Jetleri	4
1.2.2 Venturiler.....	5
1.2.3 Konduitler.....	6
1.2.3.1 Serbest Yüzeyli Konduitler	6
1.3 Flotasyon İşlemi	8
1.3.1 Flotasyon Tarihinin Gelişimi.....	9
1.3.2 Flotasyon Makineleri.....	10
1.3.2.1 Mekanik Karıştırmalı Flotasyon.....	11
1.3.2.2 Kolon Flotasyon Hücreleri	12
1.3.2.3 Jet Flotasyon Hücreleri.....	13
1.3.2.4 Diğer Flotasyon Yöntemleri.....	15
2. METERYAL VE METOT.....	17
2.1. Yürütülen Deney Düzeneği	21
2.3. Deneyin Yapılışı.....	24
3. BULGULAR	25
3.1 Yüksek Basıncılı Kondütler İle Yapılan Deney Sonuçları.....	25
3.1.1 KonduitDaralma Değişiminin Hava Giriş Oranı Üzerindeki Etkisi.....	25
3.1.1.1 Daralma Değişiminin Hava Kabarcığı Üzerindeki Etkisinin Fotoğraflar İle İzlenmesi.....	30
3.1.2 Konduit Boy Değişiminin Hava Giriş Oranı Üzerindeki Etkisi	42

3.1.2.1 Konduit Boy Değişiminin Hava Kabarcığı Üzerindeki Etkisinin Fotoğrafla İle İzlenmesi.....	47
3.1.3 KonduitSaplanma Açısı Değişiminin Hava Giriş Oranı Üzerindeki Etkisi	55
3.1.3.1 KonduitSaplanma Açısı Değişiminin Hava Kabarcığı Üzerindeki Etkisinin Fotoğraflarla İzlenmesi.....	60
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	70
5. ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ	74



ÖZET

Flotasyon, metalik ve metalik olmayan cevherlerin işlenmesi için en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Ayrıca, partiküllerin ve yağların atık sudan ayrılmasının etkili bir yoludur. Bu nedenle, çevre mühendisliği ve maden mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda suların havalandırılması amacıyla inşaat mühendisliği konularında da uygulama alanı bulmaktadır.

Suların havalandırılması çeşitli şekillerde yapılabilir. Kapaklı konduitler tarafından yapılan havalandırma bunun özel bir örneğidir. Basınçlı konduitle sağlanan yüksek hızlı akış hava-su karışımı akışını içerir. Hava girişi, konduit kapağı vasıtasıyla sağlanan daralma ile artan hızın sebep olduğu düşük basıncın atmosfer basıncı ile dengelenmesinden kaynaklanmaktadır. Çok sayıda kabarcık şeklinde akıma sürüklenen hava, oksijen transferini hızlandırır ve dolayısıyla havalandırma verimliliğini artırır. Kabarcıkların miktarı, flotasyon hücrelerinin performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir.

Bu çalışmada, suların havalandırılmasında kullanılan basınçlı konduitin flotasyon hücresine entegre edilerek sisteme hava girişinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu araştırmayı kolaylaştırmak için pilot ölçekli yeni bir flotasyon sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu pilot ölçekli yeni sistemde konduit boyu, sisteme verilen su debisi, su jeti saplanma açısı ve konduit kapaklarının daralma oranlarının flotasyon verimine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, basınçlı konduit tarafından desteklenen flotasyon hücrelerinin havalandırma ve hava kabarcıklarının sisteme girişi için oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel hidrolik, Havalandırma, Flotasyon

SUMMARY

Investigation of the aeration performance of flotation columns with heat gated conduits

Flotation is one of the most common methods in the processing of metallic and nonmetallic ores. Additionally, it is an effective way of separating particles and oils from wastewater. Thus, it is commonly used in environmental and mining engineering. In the recent years, it also had application in civil engineering in the flotation of waters.

Flotation of waters can be conducted in various ways. The aeration conducted with capped conduits is a special example of this. The high-speed flow provided in the pressurized conduit includes air-water mixture flow. The air flow results from the narrowing provided by the gate of the conduit and the balancing between the low pressure caused by increased speed and atmospheric pressure. The air, which is dragged through the flow in a form of many bubbles, accelerates the oxygen transfer and thus, increases the air efficiency. The amount of the bubbles is one of the most significant parameters affecting the performance of flotation cells.

In this study, it was aimed to provide air flow into the system by integrating the pressurized conduit used in the aeration of waters into flotation cell. In order to case this study, a new flotation system was developed in pilot scale. In this new pilot scale system, the effects of conduit length, water discharge supplied into the system, water jet contact angle and contraction ratio of conduit gate on flotation efficiency were investigated. The results indicated that flotation cells, which were supported by pressurized conduit were rather effective in aeration and air bubbles' flow into the system.

Keywords: Environmental Hydraulics, Aeration, Flotation

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Su Jetleri (Water jets).....	4
Şekil 1.2 Bir Venturi Aygıtının Görünümü.....	5
Şekil 1.3 Venturi Aygıtının Havalandırma Amaçlı Kullanımı	6
Şekil 1.4 Serbest Yüzeyli Konduitte İki Fazlı Akım.....	6
Şekil 1.5 Kapaklı Konduit Mansabında İki Fazlı Akım.....	7
Şekil 1.6 Kapaklı Konduit İçerisinde Oluşan İki Fazlı Akım Rejimleri.	8
Şekil 1.7 Outokumpuflotasyon Hücresi Ve Pervanesi	12
Şekil 1.8 Cpt Kolonu Ve Köpük Görüntüsü.....	13
Şekil 1.9 Alternatif Jet Flotasyonu Hücreleri.....	14
Şekil.2.1 Deney Setinin Mevcut Kurulu Hali	17
Şekil 2.2 Yüksek Basıncılı Farklı Daralan Konduit Enkesitleri.....	18
Şekil.2.3 Krohne Marka Bir Elektromanyetik Debimetre.....	19
Şekil.2.4 Hava Hızı Ölçümlerinde Kullanılan Anemometre.....	20
Şekil 2.5 Flotasyon Kolonu	22
Şekil 2.5.a Flotasyon Kolon Çapı Planı	22
Şekil 2.6 Deney Düzeneğinin Kesiti	23
Şekil 2.7 Deney Düzeneği Planı.....	23
Şekil 2.8 Yüksek Basıncılı Tedrici Daralan Konduit	24
Şekil 3.1.1.a Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi.....	26
Şekil 3.1.1.b Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi.....	26
Şekil 3.1.1.c Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi	27
Şekil 3.1.1.d Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi.....	27
Şekil 3.1.1.e Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi	28
Şekil 3.1.1.f Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi	28
Şekil 3.1.1.g Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi.....	29
Şekil 3.1.1.h Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi.....	29
Şekil 3.1.1.i Hava Kabarcık Veriminin Konduit Daralması İle Değişimi.....	30

Şekil 3.1.1.1.a K=%10 Konduit Daralması, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve L=1,5 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	31
Şekil 3.1.1.1.b K=%10 Konduit Daralması, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve L=1,5 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	32
Şekil 3.1.1.1.b.a K=%10 Konduit Daralması, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve L=1,5 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumunun Üstten Görünümü.....	32
Şekil 3.1.1.1.c K=%10 Konduit Daralması, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve L=1,5 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	33
Şekil 3.1.1.1.c.a. K=%10 Konduit Daralması, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve L=1,5 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumunun Üstten Görünümü.....	34
Şekil 3.1.1.1.d K=%10 Konduit Daralması, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve L=2 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu Ve Ölü Bölge Tesbiti.	35
Şekil 3.1.1.1.e K=%10 Konduit Daralması, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve L=2 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	36
Şekil 3.1.1.1.f K=%10 Konduit Daralması, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve L=2 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	37
Şekil 3.1.1.1.g K=%10 Konduit Daralması, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve L=3 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	38
Şekil 3.1.1.1.g.a K=%10 Konduit Daralması, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve L=3 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumunun Üstten Görünümü.....	38
Şekil 3.1.1.1.h K=%10 Konduit Daralması, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve L=3 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	39

Şekil 3.1.1.1.h.a K=%10 Konduit Daralması, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve L=3 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumunun Üstten Görünümü.....	40
Şekil 3.1.1.1.i K=%10 Konduit Daralması, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve L=3 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu	41
Şekil 3.1.1.1.i.a K=%10 Konduit Daralması, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve L=3 M Konduit Boyu İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumunun Üstten Görünüm.....	41
Şekil 3.1.2.a Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	42
Şekil 3.1.2.b Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	43
Şekil 3.1.2.c Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi.....	43
Şekil 3.1.2.d Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	44
Şekil 3.1.2.e Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi.....	44
Şekil 3.1.2.f Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	45
Şekil 3.1.2.g Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	45
Şekil 3.1.2.h Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	46
Şekil 3.1.2.i Hava Kabarcık Veriminin Konduit Boyu İle Değişimi	46
Şekil.3.1.2.1.a L=3 M Konduit Boyu, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve K=%10 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	47
Şekil 3.1.2.1.b L=3 M Konduit Boyu, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve K=%10 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	48
Şekil 3.1.2.1.c L=3 M Konduit Boyu, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve K=%10 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	49
Şekil 3.1.2.1.d L=3 M Konduit Boyu, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve K=%30 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	50
Şekil 3.1.2.1.e L=2 M Konduit Boyu, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve K=%30 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneginin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	51

Şekil 3.1.2.1.f L=2 M Konduit Boyu, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve K=%30 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	52
Şekil 3.1.2.1.g L=1,5 M Konduit Boyu, A=30 Derece Saplanma Açısı Ve K=%40 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	53
Şekil 3.1.2.1.h L=1,5 M Konduit Boyu, A=45 Derece Saplanma Açısı Ve K=%40 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	54
Şekil 3.1.2.1.i L=1,5 M Konduit Boyu, A=60 Derece Saplanma Açısı Ve K=%40 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	55
Şekil 3.1.3.a Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	56
Şekil 3.1.3.b Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	56
Şekil 3.1.3.c Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	57
Şekil 3.1.3.d Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	57
Şekil 3.1.3.e Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	58
Şekil 3.1.3.f Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi.....	58
Şekil 3.1.3.g Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	59
Şekil 3.1.3.h Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	59
Şekil 3.1.3.i Hava Kabarcık Veriminin Saplanma Açısı İle Değişimi	60
Şekil 3.1.3.1.a A=60 Derece Saplanma Açısı, L=1,5 M Konduit Boyu, Ve K=%10 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	61
Şekil 3.1.3.1.b A=45 Derece Saplanma Açısı, L=1,5 M Konduit Boyu, Ve K=%30 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.....	62
Şekil 3.1.3.1.c A=30 Derece Saplanma Açısı, L=1,5 M Konduit Boyu, Ve K=%40 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	63
Şekil 3.1.3.1.d A=45 Derece Saplanma Açısı, L=2 M Konduit Boyu, Ve K=%10 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzenekinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	64

Şekil 3.1.3.1.e A=45 Derece Saplanma Açısı, L=2 M Konduit Boyu, Ve K=%30 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneğinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	65
Şekil 3.1.3.1.f A=30 Derece Saplanma Açısı, L=2 M Konduit Boyu, Ve K=%40 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneğinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu	66
Şekil 3.1.3.1.g A=45 Derece Saplanma Açısı, L=3 M Konduit Boyu, Ve K=%10 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneğinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	67
Şekil 3.1.3.1.h A=45 Derece Saplanma Açısı, L=3 M Konduit Boyu, Ve K=%30 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneğinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	68
Şekil 3.1.3.1.i A=30 Derece Saplanma Açısı, L=3 M Konduit Boyu, Ve K=%40 Konduit Daralması İle Kurulan Deney Düzeneğinin Flotasyon Kolonu İçerisinde Oluşturmuş Olduğu Hava Kabarcığı Oluşumu.	69

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)
R	: Kolon hücre çapı (m)
K	:Konduit daralma oranı (%)
Fr	: Froude Sayısı
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)
α	: Saplanma açısı (derece)
y_{kr}	: Kritik su yüksekliği
L	: Konduit boyu (m)

1. GİRİŞ

Fiziksel olarak oksijenin atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılması işlemine havalandırma adı verilir. Bu işlem de amaç oksijence zayıf sulara oksijen transfer edilmesi veya bu gazların sulardan uzaklaştırılmasıdır.

Günümüzde İnşaat mühendisliği prensipleri kullanılarak tasarlanan hidrolik yapılar ile havalandırma işlemi yapılmaktadır. Bu sayede atmosferdeki oksijenin suya bir nevi enjekte edilmesi cazibeli bir şekilde mümkün olmakta ve bu işlem yapılırken ikinci bir enerji harcanmamaktadır.

Birçok disiplin tarafından kabul gören havalandırma yöntemi bu bağlamda farklı bir disiplin dalı olan malzeme mühendisliğinde ise kolon flotasyonu başta olmak üzere çeşitli sistemlerde de kullanılmaktadır. Flotasyon, ince katı tanelerin sıvı içerisine havalandırma yöntemi ile sağlanacak hava veya gaz kabarcıklarına tutunarak sıvı yüzeyine taşınması işlemi olarak tarif edilebilir.

Kolon flotasyonu işlemi ise su ile desteklenmiş ortam içerisinde bulunan kıymetli cevheri zenginleştirme işlemidir. Kolon flotasyonunda hava kabarcığı miktarı, hava kabarcığı boyutu, hava kabarcıklarının kolon içerisindeki dağılımı verimi etkileyen en önemli parametrelerdir. Kolon flotasyonunun çalıştığı iki fazlı (hava/su) akış koşullarında sisteme verilen debi arttıkça konduitden çekilen hava akış hızı artmakta dolayısıyla sisteme verilen kabarcık miktarı da bu oranda artmaktadır. Debi artışına bağlı olarak hava kabarcık boyutu ve ölü bölgeler ise azalmaktadır. Hava kabarcık çaplarını, dağılımını ve miktarını düzenlemek için sisteme verilen debi kontrol altına tutulmalıdır.

Günümüzde köpük flotasyonu olarak klasikleşen bu yöntemde tane yüzeyinin fiziko-kimyasal özelliklerinin doğal olarak farklı oluşu ya da bu özelliklerin bazı kimyasal maddeler kullanılarak değiştirilmesiyle değerli minerallerin değersiz minerallerden ayrılması sağlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında hidrolik mühendisliğinde konduitler ile yapılan havalandırma işlemi ve malzeme mühendisliğinin temel konularından biri olan flotasyon işlemi entegreli olarak çalıştırılmıştır. Diğer havalandırma yöntemlerine alternatif olarak gösterilebilecek

farklı daralmalı konduitler ile kolon flotasyon hücresi üzerinde bir takım deneysel ve gözlemsel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalar Fırat Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarında yürütülmüştür.

Disiplinler arası çalışılan bu sistemde iki fazlı (hava/su) yüksek basınçlı akım oluşturulmaktadır. Oluşturulan iki fazlı akım sistemi ile değişik parametreler altında atmosferden çekilen hava, kabarcıklar halinde su ile karıştırılmış ve flotasyon kolonuna transferi sağlanmıştır. Kolon içerisine yüksek basınçla giren hava kabarcıklarının özellikle kolon flotasyonu üzerinde doğrudan verimi etkileyeceği öngörülmektedir.

Yapılan çalışmalarda, daralmalı kondüitler ile desteklenmiş flotasyon kolonlarında havalandırma performansı için önemli olan işletim parametreleri tanımlanmış, buna bağlı olarak farklı konduit daralmaları, farklı debi değerleri, farklı kondüit boyları, farklı saplanma açıları için, geri devirli sistemlerde havalandırma performansları tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar “Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri” (FÜBAP) tarafından desteklenmiş olup proje numarası MF.16.14’dür.

1.1 Suların Havalandırılması

1.1.1 Havalandırma Kavramı

Havanın cazibeli veya cazibesiz olarak suya verilmesi bir gaz transfer olayıdır. Suların havalandırılması gaz ile su arasında bir transfer işlemidir. Suyun fiziksel ölçekteki özelliklerini iyileştirmek amacıyla havanın suya enjekte edilmesi ile sağlanan bu işleme havalandırma adı verilir.

Günümüzde çeşitli nedenlerle akarsularda yapay göletlerde çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliğinin ekolojik hayatı tehdit ettiği çevreye kötü koku yaydığı ve çirkin bir görüntü ortaya çıkardığı bilinmektedir. Bu doğrultuda gerek ekolojik dengeyi korumak gerekse kötü koku ve görüntünün giderilmesi için havalandırma işleminin yapılması gerekmektedir. Hava transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması sağlanmalıdır. Bu hava kabarcıkları, gaz transferi için mevcut yüzey alanını büyük miktarda arttırdığından dolayı transfer edilen hava miktarı da artar. Havalandırma yapılırken havalandırılmak istenen sıvı ile hava kabarcıkları arasındaki temas yüzeyinin ve temas süresinin artması havalandırma açısından oldukça önemlidir. Geliştirilen hidrolik elemanlar sayesinde atmosferdeki hava, cazibeli olarak

suya verilebilir. İki faz olarak belirlenen bu oluşum sayesinde hava kabarcıklı su meydana gelmiş olur. Hidrolik elemanlarla suların havalandırması işlemi noktasında literatürde pek çok çalışma mevcuttur;

Emiroğlu ve Baylar(2003), Baylar(2002), Ünsal(2007), Ünsal ve diğ.(2008, 2009), Özkan ve diğ.(2006), Baylar ve Özkan(2006), Bağatur(2005), Gulliver ve diğ.(1990), Özkan(2005), Baylar ve Emiroğlu(2003), Ovenson(2008), Sharma(1976), Baylar ve diğ.(2005, 2007, 2009) hidrolik elemanlarda havalandırma performansı, hava girişi ve verimi üzerine önemli çalışmalar yapmışlardır.

Havalandırmanın amaçları şunlardır:

1. Suların dezenfeksiyonunun sağlanması
2. Hidrojen sülfür gidermek
3. Suyu oksijen kazandırmak
4. Metanın giderilmesi
5. Karbondioksitin giderilmesi veya kazandırılması
6. Uçucu yağlar ve kimyasal maddelerin giderilmesi
7. Kötü görüntü ve kokunun giderilmesi

1.2 Havalandırma Amaçlı Kullanılan Hidrolik Yapılar

Havalandırma amaçlı kullanılan hidrolik elemanlar, serbest yüzeyli akım elemanları ve basınçlı akım elemanları olacak şekilde iki kısma ayrılmaktadırlar.

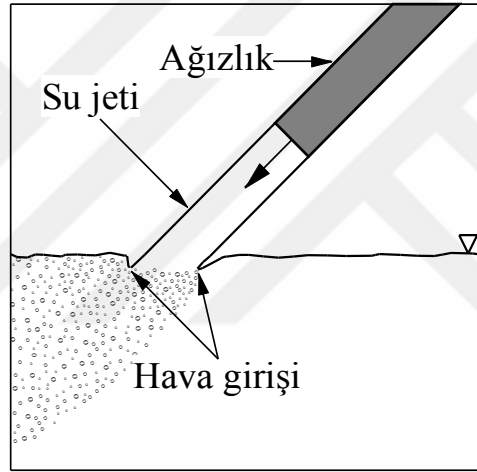
Serbest yüzeyli olan yalnızca atmosfer basıncının etki ettiği; açık kanallar, nehirler ve kapalı kanallarda ise kanal yatağını tamamen doldurmayan akımlar serbest yüzeyli akımlar olarak adlandırılabilir. Serbest yüzeyli hidrolik yapılara verebileceğimiz örnekler savaklar, basamaklı kaskatlar ve serbest yüzeyli konduitlerdir.

Serbest yüzeyinin bulunmadığı, yani atmosferle teması olmayan ve en kesitinin tamamen dolu aktığı akımlara basınçlı akımlar adı verilmektedir. Basınçlı akımlara

verebileceğimiz örnekler tünel, boru, galeri ve kuyu gibi yapılarda rastlanan elemanlardır. Suların havalandırılmasında kullanılabilecek basınçlı akım sistemlerine su jetleri, basınçlı konduitleler, venturiler ve nozzle örnek olarak verilebilir.

1.2.1 Su Jetleri

Dar bir ağızlıktan geçtikten sonra su doldurulmuş bir havuza çarpan su jeti önemli ölçüde havayı da su havuzunun içerisine götürür ve iki fazlı (hava -su) bir rejim meydana getirir (Şekil 1.1). Böylece, su havuzu içerisine giren hava kabarcıkları burada havalandırmayı meydana getirir.



Şekil 1.1 Su Jetleri (Water Jets) (Ahmed, 1974)

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.

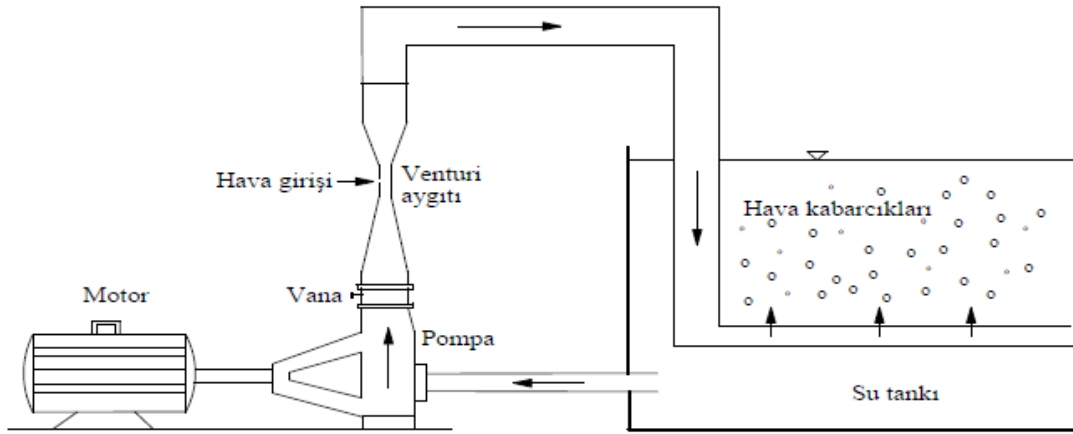
1.2.2 Venturiler

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 1.2). 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 1.3 de bir venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı verilmiştir.



Şekil 1.2. Bir venturi aygıtının görünümü (Özkan, 2005).

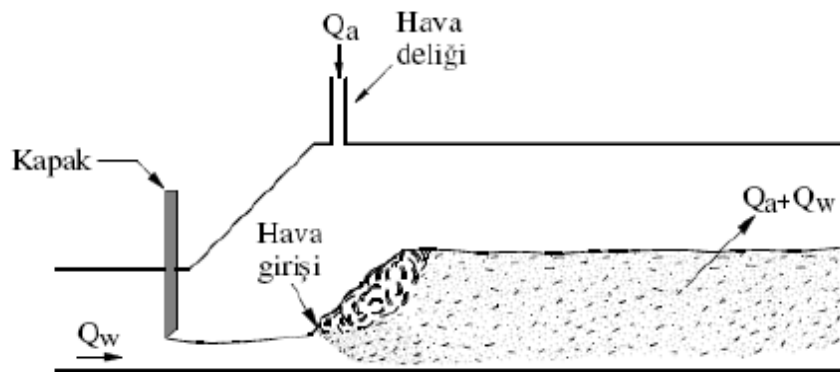


Şekil 1.3. Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı (Özkan, 2005).

1.2.3 Konduitler

1.2.3.1 Serbest Yüzeyli Konduitler

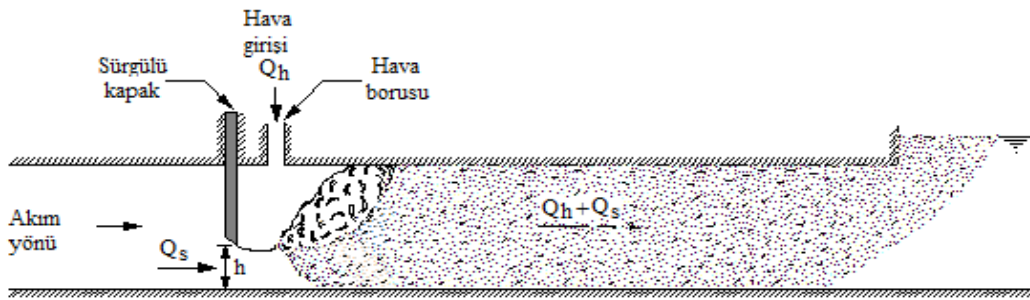
Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde, kapağın kısmi olarak açılmasının sonucunda yüksek bir hız oluşur ve bu yüzden kapak mansabında bulunan hava deliğinde açık hava basıncından daha düşük olan bir basınç ortaya çıkar (Şekil 1.4). Hava deliğinden, oluşan düşük basıncın etkisiyle hava vakumlanır. Vakumlanan havanın etkisi ile konduit içinde iki fazlı akım meydana gelir Ünsal(2007).



Şekil 1.4. Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım (Ünsal, 2007).

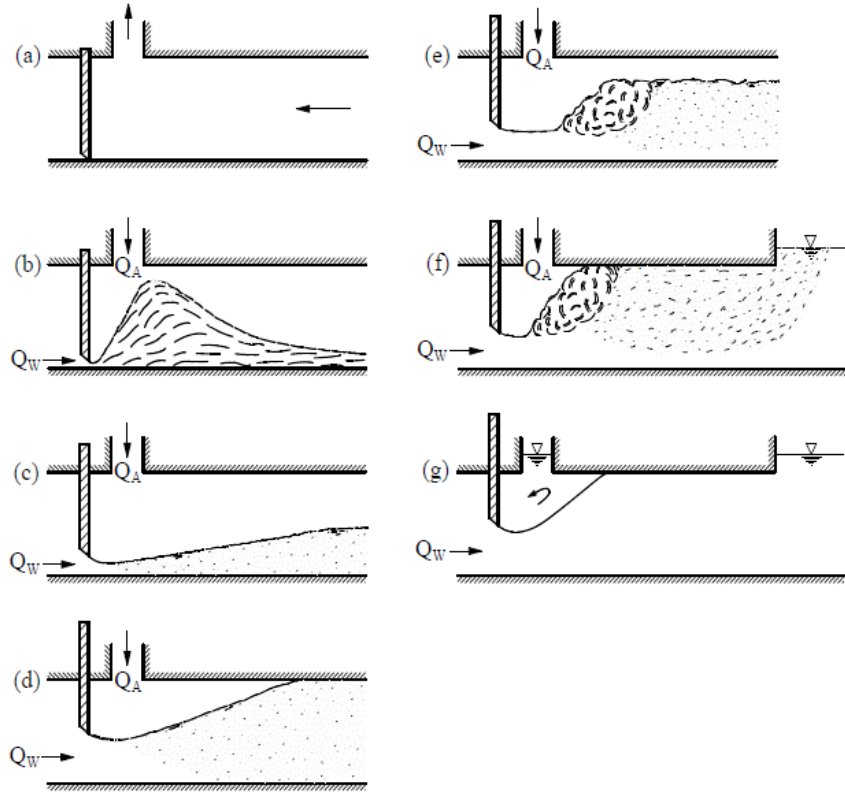
1.2.3.2 Basınçlı Konduitler

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 mansabında suyun hızla savaklanmasıyla oluşan düşük basınç sebebiyle bu noktada bir vakumlama oluşur ve bu düşük basınç etkisiyle dış ortamdan alınan havanın kabarcıklar halinde suya karışması sağlanır (Şekil 1.5) (Özkan, 2005).



Şekil 1.5. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım (Özkan, 2005).

Şekil 1.6. (a-g)' de, yapılan son çalışmalarda kapaklı konduitlerde savaklama kapağı mansabında oluşabilecek iki fazlı akım rejimleri gösterilmiştir.



Şekil 1.6. 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 (**Sharma, 1976**).

1.3 Flotasyon İşlemi

Flotasyon sulu ortam içerisinde farklı tekniklerle değerli cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sulu ortam tarifinden de anlaşılacağı üzere bir çeşit yüzdürme yöntemi de denebilir. Bu yöntemler kullanılırken hava kabarcıklarından yararlanılmakta, yüzey kimyası hava kabarcığına uyumlu olanlar bu hava kabarcığına yapışarak su yüzeyine taşınırken uyumlu olmayanlar ise atık olarak dibe çökerler.

Flotasyon işlemi yağ, film ve köpük flotasyonu olmak üzere başlıca üç yöntemle uygulanmaktadır. Yağ ve film flotasyonun günümüzde endüstriyel ölçekte uygulamaları bulunmamaktadır. Endüstriyel ölçekte uygulanan ve en yaygın kullanılan yöntem köpük flotasyonudur. Flotasyon işlemi, sulu bir ortamda hava kabarcığının oluşturulması kabarcık-tanecik çarpışmasının sağlanması esasına dayanmaktadır.

Flotasyon yöntemi, maden ve malzeme mühendisliğinde bilinen ve uygulanan cevher zenginleştirme tekniklerinin başındadır. Çevre mühendisliğinde de bu yöneme fazlasıyla başvurulmaktadır.

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 değiştiricilerin zenginleştirilmesinde
- Fotoğrafçılık (gümüşün tekrar kazanılmasında)
- Non metalik cevherlerin zenginleştirilmesinde
- Kimya endüstrisinde (naftalin zenginleştirmede)
- Kükürdün suni ipek parçacıklarından temizlenmesinde
- Kağıt endüstrisinde

1.3.1 Flotasyon Tarihinin Gelişimi

Flotasyon ile ilgili ilk çalışmalar yağ ve suyu birbirinden ayırmak amacı doğrultusunda olmuştur. Flotasyon işleminin ilk çalışmaları 1877’de Almanya’da Bessel kardeşler tarafından yapılmıştır. Bessel kardeşler yaptıkları çalışmada, çeşitli yağlar kullanarak, kaynar suyun meydana getirdiği su buharı ile ve karbonatlarla reaksiyona giren asidin çıkardığı karbondioksit gazı kabarcıkları ile grafit flotasyonun ugerçekleştirdiler. Bu yöntem daha sonra İngiltere ve Amerika’da yeniden bulunarak karbonat ve sülfürlerin flotasyonunda uygulandı.

Flotasyon işleminde 1902 yılında Froment tarafından önemli bir icat yapıldı. Buna göre yağ tanelerinin, su içinde meydana getirilen gaz kabarcıklarına yapışıp suyun yüzeyine çıkmasından bahsetmektedir. Böylelikle flotasyon işleminde hava kabarcıkları kullanılmaya başlanmış oldu. Daha sonraki yıllarda İngiltere’de Delprat, 1906’da Elmore hava kabarcıklarından yararlanılabileceğini öne sürdü. 1906’da Sulman, Picard ve Ballot hava kabarcıklarının flotasyonda kullanımı için önemli çalışmalar yaptılar.

Hava kabarcığı kullanılarak flotasyon işlemi yapma prensibine dayanan ilk flotasyon makinesi 1910 yılında Hoover tarafından yapıldı. 1912 yılından sonra Avustralya ve Amerika’da flotasyon sanayisinde başarıyla uygulanmıştır. 1918 yılında Welsh flotasyon hücresine basınçlı hava vermek fikrini öne sürdü. Hunt, Forrester ve Callow basınçlı hava ile çalışan flotasyon makinelerini yaptılar.

İlerleyen yıllarda organik ve inorganik kimyasal reaktiflerin kullanılmaya başlanmasıyla, flotasyonda büyük gelişmeler elde edildi. Flotasyonun gelişmesinde büyük emeği olan bilim adamlarından Taggart, Gaudin, Petersen ve Wark’tur **(Arbiter and Haris 1964, Atak 1982, Atak ve Tolun 1994, Wills 1997)**.

Yeni nesil flotasyon makine tasarımları günümüzde devam etmekte olup, her geçen gün teknolojinin gelişimine paralel olarak gelişimini hızla sürdürmektedir.

1.3.2 Flotasyon Makineleri

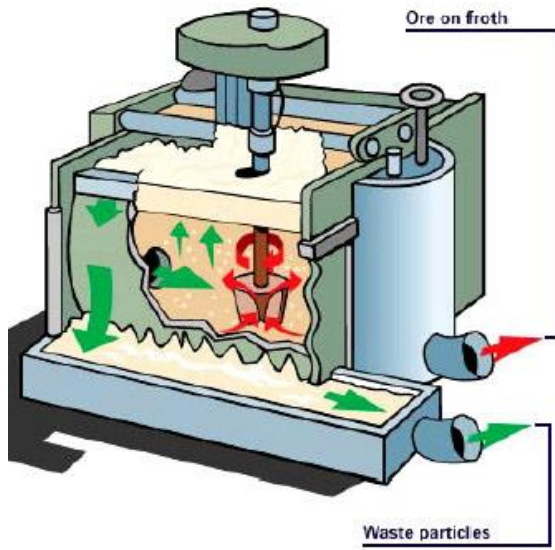
Sulu ortam ile desteklenen flotasyon işleminin gerçekleştirildiği elemanlara flotasyon makinaları ya da flotasyon hücreleri denir. Flotasyon makinalarından beklenen işlevler aşağıda özetlenmiştir:

- Pülpte içerisine beslenen tanelerinin zenginleştirilmesi sırasında askıda tutulması.
- Pülp içinde temas yüzeyinin arttırılması amacıyla hava kabarcıkları elde etmek üzere gerekli havanın verilmesi.
- Taneciklerinin üretilen hava kabarcıkları ile birleşmesinin sağlanması.
- Ayırma işleminin yapılabilmesi için gerekli köpük tabakası kalınlığının sağlanması.
- Oluşan atığın uzaklaştırılması ve elde edilen konsantrenin ayrılması için gerekli donanımın sağlanması.
- Köpük tabakası kalınlığı, hava kabarcığı miktarı vb mevcut parametrelerin kontrol altında tutulabilmesi için bir mekanizmanın olması

Flotasyon makinaları yukarıda belirttiğimiz üzere istenilen bu özellikler göz önünde bulundurularak tasarlanmaktadır. Flotasyon işleminin uygulanmaya başlanmasından bu zamana kadar çok değişik şekilde makine geliştirilmiş fakat bunlardan 10 kadarı ticarileşme adına kullanım alanı bulabilmiştir. En önemlileri olarak gösterebileceğimiz bu makinalar, Wedag, Outokumpuflotasyon hücresi ve Denver, Turbokolon, CPT, ve Mikrocell gibi kolon flotasyonu hücreleri, basınçlı hava ile çalışan bazı Pnömatik tip flotasyonhücre ve Jamesonflotasyon hücreleridir. Bunlar endüstriyel hayatta kabul görmüş flotasyon makinalarıdır. Şimdiye kadar geliştirilmiş olan gerek laboratuvar ölçekli gerek endüstriyel ölçekli flotasyon makinalarını 4 grup altında toplayabiliriz. Bunlar; mekanik karırtırmalıflotasyon hücreleri, jet flotasyonu hücreleri, pnömatikflotasyon hücreleri ve santrifüjflotasyonu hücreleridir.

1.3.2.1 Mekanik Karırtırmalı Flotasyon

Flotasyonda kullanım alanı bulmuş en eski ve fazla tercih edilen makinelerdir. Bu flotasyon makinelerinde taneciklerin askıda tutulabilmesi için bir pervane ile sağlanılmaktadır (Şekil 1.7). Hava kabarcıklarının üretimi için, sisteme lazım olan hava, rotorun dönmesi esnasında meydana getirilen vakum ile yada hücre içine basılan basınçlı hava ile elde edilir. Endüstride daha çok kendiliğinden sisteme hava girişi yapabilen flotasyon makineleri tercih edilmektedir. Bu makinelerin en önemli dezavantajı ise makine içerisinde oluşan sirkülasyondan dolayı hava kabarcığı tanecik bağlarının kopmasıdır. Kapasiteleri düşük olan bu hücrelerin ürettikleri hava kabarcık boyutları da oldukça büyüktür. Birbirini takip eden seriler halinde dizayn edilen bu makinelerde, her hücre kendinden önceki hücrenin atığını alarak flotasyonda kullanır. En bilinen tipleri, Denver, Wemco, Wedag, Sala ve Outokumpu ürettiği flotasyon makineleridir. **(Aksan 1998, Wills 1998, Atak ve Tolun 1994).**



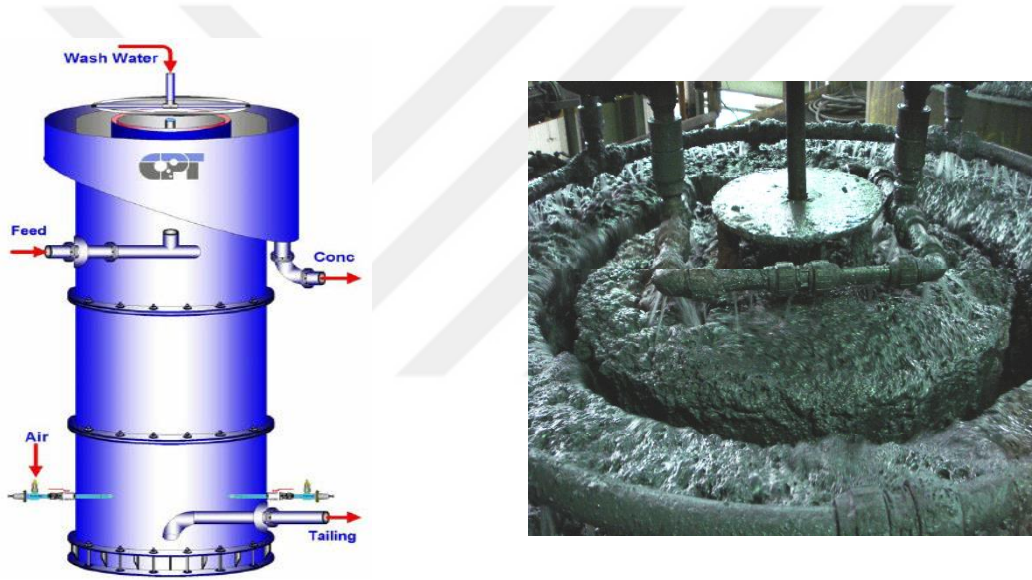
Şekil 1.7 Outokumpu flotasyon hücresi ve pervanesi (Hacifazlioglu, 2009).

Gelişen teknoloji ile birlikte mekanik hücrelerin bazı dezavantajlarını yok etmek ve yüksek kapasitelere ulaşmasını sağlamak amacıyla High Grade, Skim Air, TankCell gibi yüksek kapasiteli flotasyon hücreleri geliştirilmiştir. 2006 yılında Avustralya’da Outokumpu tarafından 300 m³ kapasiteye sahip TankCell geliştirilmiş ve dünyanın en büyük flotasyon hücresi ünvanını kazanmıştır.

1.3.2.2 Kolon Flotasyon Hücreleri

Mekanik flotasyon işleminde hücre içerisinde oluşturulan sirkülasyon nedeniyle hava kabarcığı tanecik yapışması zarar görmekte ve bu bağ kopabilmektedir. Ayrıca su ile taşınım bu hücrelerde konsantre kirlenmesine neden olmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilebilmesi amacıyla 1960 yılında Bautin ve Tremblay tarafından ince ve uzun bir hücre geliştirilmiştir. Kanada kolonu olarak da adlandırılan bu ilk kolonda, herhangi bir karıştırma sistemi dizaynı olmadan küçük çaplı kabarcıklar elde edilmiştir. Bu sistemlerde, kompresör yardımıyla gözenekli bir engelden geçirilen hava hücre altına verilmektedir. Besleme ise köpük tabakasının hemen alt kısmından yapılmaktadır. Kolon flotasyonunda

başlıca iki bölge oluşmaktadır. Bunlar; toplama bölgesi ve yıkama bölgesi olarak bilinir. Toplama bölgesi, hava kabarcığı tanecik çarpışmasının olduğu bölge, yıkama bölgesi ise köpük tabakasının yıkandığı kısımdır. Endüstride kolon boy uzunluğu 15 m kolon çapı ise 3 m'ye kadar çıkmaktadır. Kolon flotasyonundaki sakin ortam koşulları, köpük tabakasının elde edilmesi, yıkma işlemine tabii tutulması ve küçük boyutta hava kabarcıklarının elde edilmesi çok ince cevherlerin bile yüksek verimde zenginleştirilebilmesinin önünü açmıştır. Kolon flotasyonunda önüne geçilemeyen en büyük eksiklik hava üretici sistemlerin (sparger) sık sık tıkanması olayıdır. Bu ve buna benzer aksaklıkların ortadan kaldırılması için pek çok kolon türü geliştirilmiştir.(Garibay 2002, Li et al. 2003)

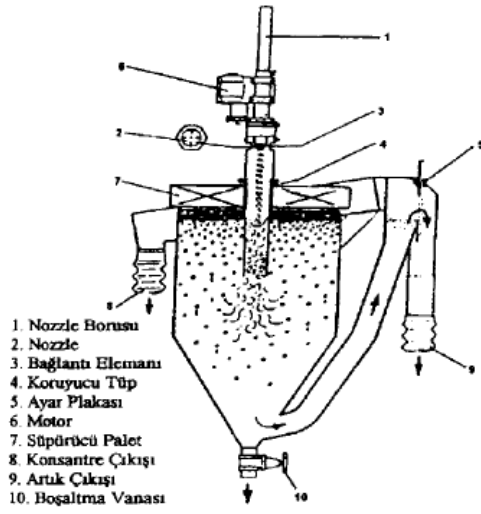


Şekil 1.8 CPT kolonu ve köpük görüntüsü (Hacifazlioglu, 2009).

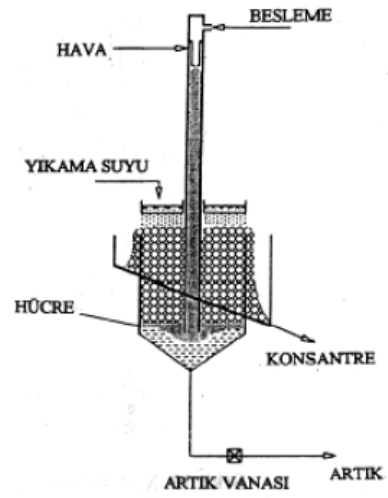
1.3.2.3 Jet Flotasyon Hücreleri

Jet su hareketinden istifade ederek hava kabarcığı oluşturan makineler; klasik jet kolonu, jameson hücresi ve hidrojetflotasyon hücresidir.

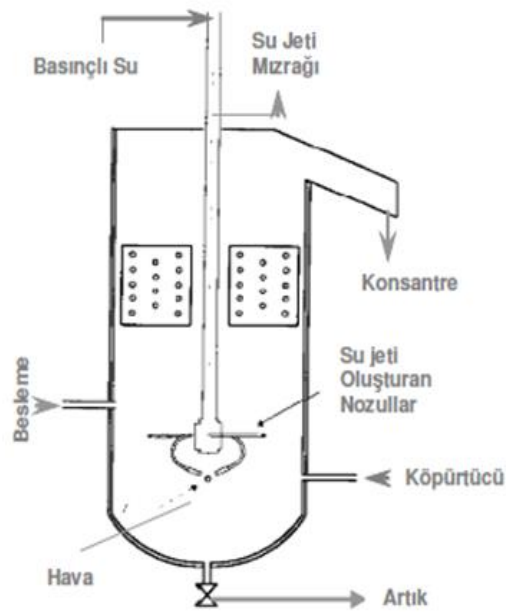
Berlin Teknik Üniversitesinde 1980'li yıllarda geliştirilen klasik jet hücresi ile çok ince boyutlarda dahi etkili bir flotasyon yapmak mümkündür. Diğer sistemlere oranla kabarcık çapı küçük ve miktarca fazladır. Bu da flotasyon süresinin çok kısa ve kapasitesinin çok yüksek olmasını avantajını getirmektedir. Endüstriyel ölçekte bir çok uygulaması mevcuttur (Önal vd. 1996, Güney vd. 2002).



a. Klasik jet flotasyonu



b. Jameson flotasyon hücresi



c. Hidrojet hücresi

Şekil 1.9 Alternatif Jet flotasyonu hücreleri (Hacifazlioglu, 2009).

Jameson Flotasyon hücresi ise 1989'da kimya profesörü Greame Jameson tarafından geliştirilmiştir. Genel olarak, bir pompa ile basılan havanın düşey bir borunun üst kısmındaki bir nozul'dan fişkırarak beslenmesi ve bu esnada atmosferden vakumlanan havanın pülp ile karışarak flotasyon hücresine kadar bu boru içerisinde inmesi esasına dayanır. Bu yöntemle oluşturulan hava kabarcıkları hem sayıca daha fazla, hem de çap olarak daha küçüktürler. Bilindiği üzere, küçük boyutlu kabarcıklarının oluşturulması toplam köpük yüzey alanının artmasına ve böylelikle flotasyon veriminin yükselmesine sebep olmaktadır. (**Jameson, 1988; Mohanty, 2001**).

Hidro-jet uygulamaları, günümüzde su arıtımında tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1.9 (c)'de geliştirilmiş olan hidrojet hücresi gösterilmektedir. Artıklar silindirik gövdenin altından konsantre ise hücrenin üst kısmından alınmaktadır. Sistemde karıştırma ve kabarcık oluşumu yüksek hızlı su jeti ile sağlanmaktadır. Su jeti mızrağının ucunda farklı yönlerde bakan dört adet ağız bulunmaktadır. Bu ağızlar hücre içerisinde türbülans ve yoğun karışma sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Sisteme küçük bir delikten kompresörle hava verilmektedir. (**Carbini vd. 1998**).

1.3.2.4 Diğer Flotasyon Yöntemleri

Yukarıda izah edilen flotasyon yöntemlerinin dışında kimya, maden ve çevre mühendisliği gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan flotasyon yöntemlerinden bazıları; Çözünmüş Hava Flotasyonu, Köpük Ayırıcı, Elektro Flotasyon, ya da Taşıyıcı flotasyondur. Çözünmüş hava flotasyonun da, yüksek basınçlı hava su içerisinde ayrı bir kapta çözündürülür ve yüksek basınçla kıvamlandırılmış pülpün bulunduğu düşük basınçlı kap içerisine püskürtülür. Genellikle artık suların arıtılmasında ve petrol rafinerilerinde su, petrol ayrımı için kullanılmaktadır (**Rubio 2002, Rodrigues and Rubio 2003**).

Köpük Ayırıcı, kıvamlandırılmış pülpün bir tank içerisinde, önceden oluşturulmuş köpük yatağının içinden geçerken, hidrofob tanelerin kabarcıklara yapışması ve taşan köpükle birlikte alınması esasına dayanır. Genellikle süt ve boya endüstrisinde askıdaki katıların ve yağların giderilmesi için tercih edilen bir yöntemdir (**Rodrigues and Rubio 2003**).

Taşıyıcılı flotasyon; yüzebilirliği yüksek olan tanelerin, yüzmesi zor olan çok ince boyutlu taneleri taşıması prensibine dayanır. Taşıyıcılı flotasyonun deneysel ölçekte wolframit ve kömür slamının zenginleştirilmesine yönelik uygulamaları mevcuttur **(Hu vd. 1988, Misra et al. 1990)**.

Elektroflotasyon yönteminde, suyun elektrolizinden faydalanılır. Suya akım verilerek çapları 20-40 μm arasında değişen hidrojen kabarcıklar elde edilir. Bu yöntem özellikle süspansiyon içindeki sulu endüstriyel atıkların arıtılması ve küçük miktardaki organik malzemelerin içerdiği kolloidler için geliştirilmiştir **(Murugananthan et al. 2004)**.



2. METERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında flotasyon kolonunda oluşturulmak istenen hava kabarcıklarının en optimum hangi koşullarda oluşturulabileceğinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar yapabilmek amacıyla Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında Şekil 2.1'de genel görünüşü verilen pilot ölçekli kolon flotasyon üniteleri kurulmuştur. 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 daralmalara sahip yüksek basınçlı daralan kondüitler flotasyon kolonuna değişik parametreler altında entegre edilmiş ve elde edilen bulgular incelenmiştir.



Şekil.2.1 Deney setinin mevcut kurulu hali

Flotasyon kolonunda oluşturulacak hava kabarcığı miktarının daha detaylı incelenebilmesi için 0,92m çapta 1,5m yükseklikte bir deney düzeneği imal edilmiştir. Kolon çapı, içerisinde kabarcık oluşturulmak istenen sıvı miktarları (1 ton) dikkate alınarak belirlenmiştir. Her deney düzeneğinde oluşturulmak istenen hava kabarcıklarının fiziksel özelliklerinin ve bu kabarcıkların izlediği yolların gözlemlenebilmesi için kolonda o kolon çapının 1/4'i oranında açıklık kolon boyunca bırakılmış olup bu açıklık 10mm temperli şeffaf cam ile geçilmiştir. Flotasyon kolonuna kolon tabanında itibaren 0,75m yükseklikte 30, 45 ve 60 derece açılarla saplanan üç ayrı bağlantı bulunmaktadır. Ayrıca flotasyon kolonu atık tahliyesinin yapılabilmesi amacıyla laboratuvar tabanından 50cm yükseklikte olacak şekilde kolonlara kaynatılmış üç adet U profil ayakları üzerinde durmaktadır.



Şekil 2.2 Yüksek basınçlı farklı daralan konduit enkesitleri

İhtiyaç duyulan su musluk suyundan temin edilmiştir. Flotasyon kolonu için saplanma açısı merkezi baz alınarak 50 cm batık olan su seviyesinde çalışılmıştır.

Sistemde debi, bir elektromanyetik debimetre kullanılarak belirlenmektedir. 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.

Deney düzeneği amaca uygun ölçümlerin yapılabilmesi için ölçüm aletleri ile teçhiz edilmiştir. Bu ölçümler ve kullanılan aletler aşağıda açıklanmıştır.

a) Hava kabarcığı miktarı ölçümleri

Bilgisayar destekli fotoğraflama yöntemiyle ile yapılmıştır.

b) Debi ölçümleri

Krohne marka bir elektromanyetik debimetre yardımı ile yapılmıştır (Şekil 2.3). Deneylerde kullanılan her bir debi değeri için farklı su hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu hızlar kullanılarak her bir debi değerine ait froude sayıları bulunmuştur. Hesaplamalar için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır.



Şekil.2.3 Krohne marka bir elektromanyetik debimetre

Hesaplamalarda Froude sayısı kullanılmıştır. Verilen formülde (V) su hızı, (y_e) etkili derinlik ve (g) yerçekimi ivmesidir.

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

c) Sisteme çekilen hava hızı ölçümleri

Tedrici daralan konduit kapağından hemen sonra açılan delikten anemometre vasıtasıyla hız ölçümleri okunmuştur (Şekil 2.4) Laboratuvardaki pompa gücüne bağlı olarak tesbit edilen maksimum debi değerine göre 0.005 m³/sn aralıklarla 5 farklı debi değeri için ölçümler yapılmıştır. Her debi değeri için flotasyon hücresine aktarılan havanın hızı, hava kapanı üzerindeki hava bacasından anemometre ile yaklaşık olarak 1 dakikalık süreler için ölçüm yapılarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.4 Hava hızı ölçümlerinde kullanılan anemometre

d) Hava kabarcığı gözlemleri

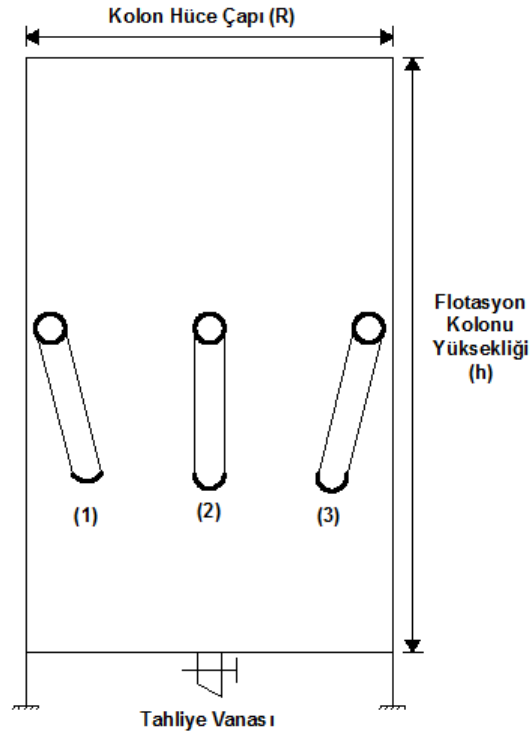
Bilgisayar destekli fotoğraflama yöntemiyle ile yapılmıştır.

2.1. Yürütülen Deney Düzeneği

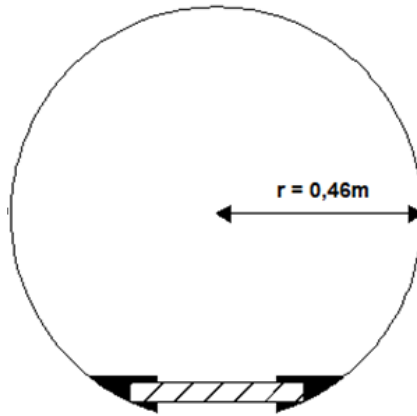
Kolon flotasyonunu temsilen kurulmuş olan kolonunun uzunluğu 1.50 m ve çapı 0,92 m olarak Şekil 2.5 – Şekil 2.5.a'daki gibi imal edilmiştir. Yüksek basınçlı kondüit inflotasyon kolonu üzerinde farklı saplanma açısında ($30,45$ ve 60^0) 3" lik galvaniz borular ile girişleri sağlanan kaynaklanmış girişler mevcuttur. Her bir açı için ise hazırlanmış 1,5 m, 2 m ve 3 m boyda üç farklı kondüit uzunluğu ve bu uzunluklar ile çalışan üç farklı açıklıkta olan (%10, %30, %40) kondüitler mevcuttur (Şekil 2.8). 50 cm batık olan su yüksekliğinde farklı saplanma açıları, farklı kondüit boyu uzunluklarında, farklı kondüit daralmaları ile her bir alternatif için kondüit daralması baz alınarak beş ayrı debide deneyler yapılmıştır. Sisteme giriş yapan su debileri her deney grubunda kondüit kapak daralmasına göre farklı değerler almıştır. Çalışılan en küçük debi $7,2 \text{ m}^3/\text{sa}$ iken en büyük debi değeri ise $91,44 \text{ m}^3/\text{sa}$ olarak ölçülmüştür. Her debi miktarı için kondüitten çekilen hava hızı miktarı belirlenmiş, hava kabarcığı miktarı ile hava kabarcığı tabaka kalınlığı fotoğraflanıp hava kabarcığı oluşumunu etkileyen parametrelere ait değerler belirlenmiştir. Her deney sonrasında, çekilen hava miktarı hızları ölçülüp etki parametreleri baz alınarak gerekli grafikler hazırlanmıştır. (**Tablo 1.a**)

Tablo 1.a Deneyisel çalışmalarda kullanılan parametreler

Flotasyon Kolon Çapı	Farklı Saplanma Açıları	Farklı Debi Değerleri					Farklı Kondüit Boyları			Farklı Kondüit Daralmaları		
R=0,92	a_{30}	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	L_1	L_2	L_3	K_1	K_2	K_3
	a_{45}	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	L_1	L_2	L_3	K_1	K_2	K_3
	a_{60}	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	L_1	L_2	L_3	K_1	K_2	K_3



Şekil 2.5 Flotasyon kolonu

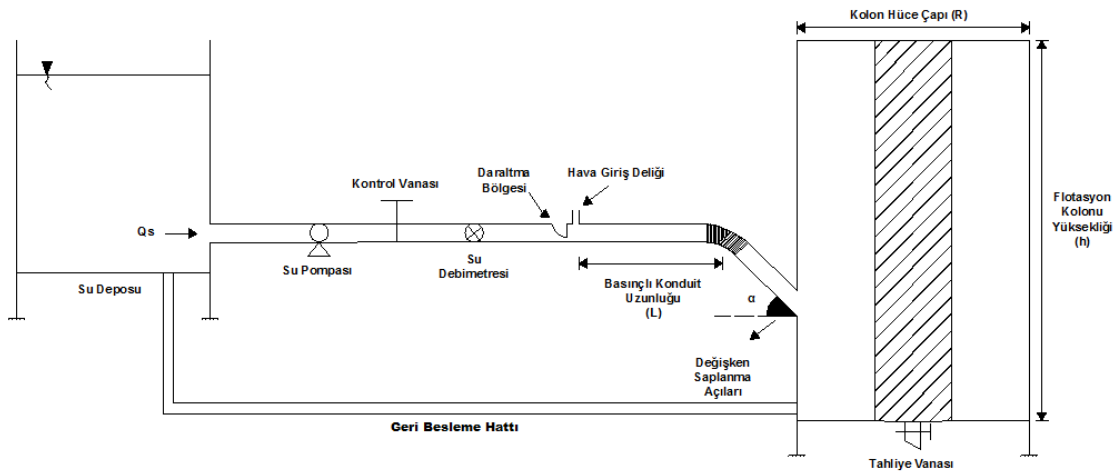


Şekil 2.5.a Flotasyon Kolon Çapı Planı

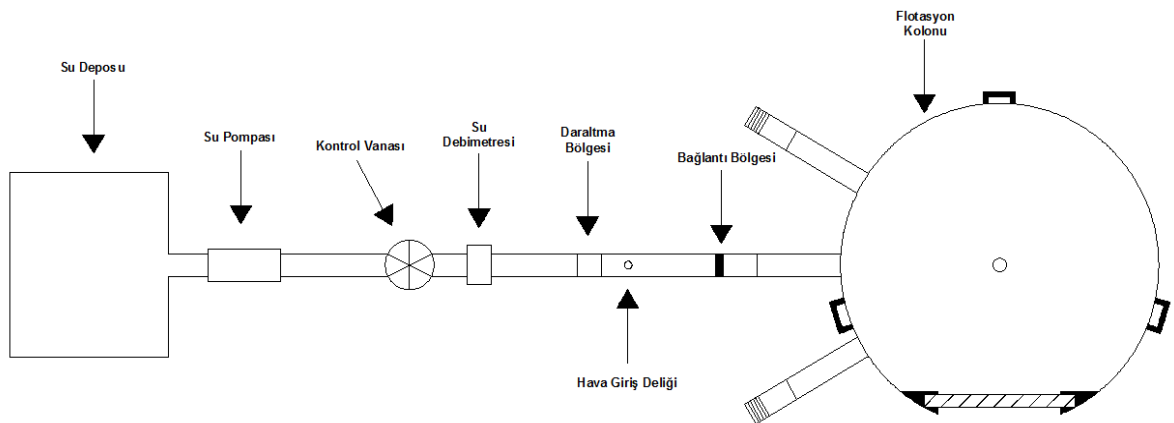
Bu çalışmada, 0,92 m çapta flotasyon kolonu kullanılarak üç farklı konduit uzunluğu, üç farklı konduit daralması, dört farklı debi, üç farklı konduit saplanma açısı ve tek su seviyesi parametre olarak belirlenmiş ve bunlar arasındaki etki araştırılmıştır.

Flotasyon kolonunda üç saplanma açısı mevcut olup her açı için üç farklı konduit boyu, üç farklı konduit açıklığı, tek su yüksekliği ve dört debi değerinde hava kabarcığı verimleri ile konduitten çekilen hava hızı miktarları ayrı ayrı ölçülmüştür.

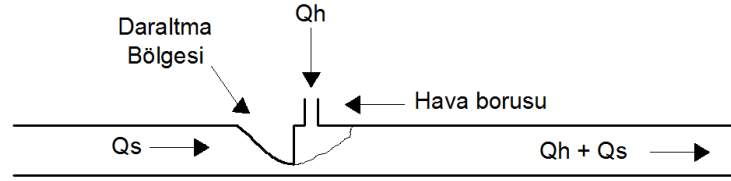
Kesiti ve planı Şekil 2.6 – Şekil 2.7 'de verilen deney düzeneği ile uzunluğu 1.50 m olan ve 0,92 m çaplı flotasyon kolonu kullanılarak hava kabarcığı üretebilme ve çekilen hava hızına olan etkisi araştırılmıştır.



Şekil 2.6 Deney düzeneğinin kesiti



Şekil 2.7 Deney Düzeneği Planı



Şekil 2.8 Yüksek basınçlı tedrici daralan kondüit

2.3. Deneyin Yapılışı

Şekil 2.1 'de verilen deney düzeneği üzerinde yapılan çalışmalarda, hava kabarcığı üretebilmek ve konduitten çekilen hava miktarı ile en optimum hava kabarcığının; boyutu, miktarı ve sayısının hangi koşullarda oluşturulabileceğini belirlemek için farklı parametreler belirlenmiştir. Geri besleme sistemi ile çalışan deney düzeneğinde, musluk suyu flotasyon kolonuna doldurularak 50 cm batık olan su yüksekliğine getirilir. Bu aşamadan sonra sisteme bağlı bulunan motor çalıştırılarak flotasyon kolonuna 45 derecelik açı ile 50 cm batık seviyede, 1.5 m boy uzunluğundaki konduit boyu ve %10 açıklıklı konduit ile sırasıyla artan debilerde flotasyon kolonuna su basılır. Diğer tüm alternatifler için deneyler yapılarak farklı konduit açıklığı, konduit boyu ve konduit saplanma açılarının flotasyon ve havalandırma üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Flotasyon kolonuna doğru farklı debiler ile basılan su, motora bağlı olan geri emiş hattı ile yeniden flotasyon kolonuna geri döner. Sisteme verilen akımın debisi, debi ayar vanası yardımı ile düzenlenir. Konduit üzerinde kapak açıklığından hemen sonra konduit üzerinde açılan delikten anemometre ile çekilen hava hızı ölçülmektedir. Flotasyon kolonu üzerinde kolon çevresinin 1/4'i kadar açık bırakılan şeffaf temperli camdan kolon içerisinde oluşturulan hava kabarcığı boyu, hava kabarcığı miktarı, hava kabarcığı tabaka kalınlığı bilgisayar destekli izleme yöntemiyle izlenilmekte ve fotoğraflanmaktadır. Debi (Q), flotasyon kolon çapı (R), konduit boyu (L), saplanma açısı (α), konduit kapak daralması (K) kullanılarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde laboratuvar ortamında pilot ölçekte kurmuş olduğumuz flotasyon kolonunda hava kabarcığı üretebilmek amacıyla yüksek basınçlı konduitler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen çıktılar tablolar halinde verilmiş ve bu tablo değerleri kullanılarak excell ortamında çizilen grafikler yorumlanmıştır. Ayrıca deney esnasında kolon içerisinde meydana gelen oluşumlar fotoğraflanmış ve yorumlanarak sunulmuştur.

Kondüit ile desteklenmiş flotasyon kolonlarında kondüitten çekilen havanın kolon içerisinde oluşturduğu hava kabarcığı oluşumuna etkisinin gözlemlenebilmesi için; farklı daralma oranlarında, farklı saplanma açılarında, farklı debi değerlerinde ve farklı kondüit boy uzunluklarında sistemin hava kabarcığı üretebilme kapasiteleri incelenmiştir.

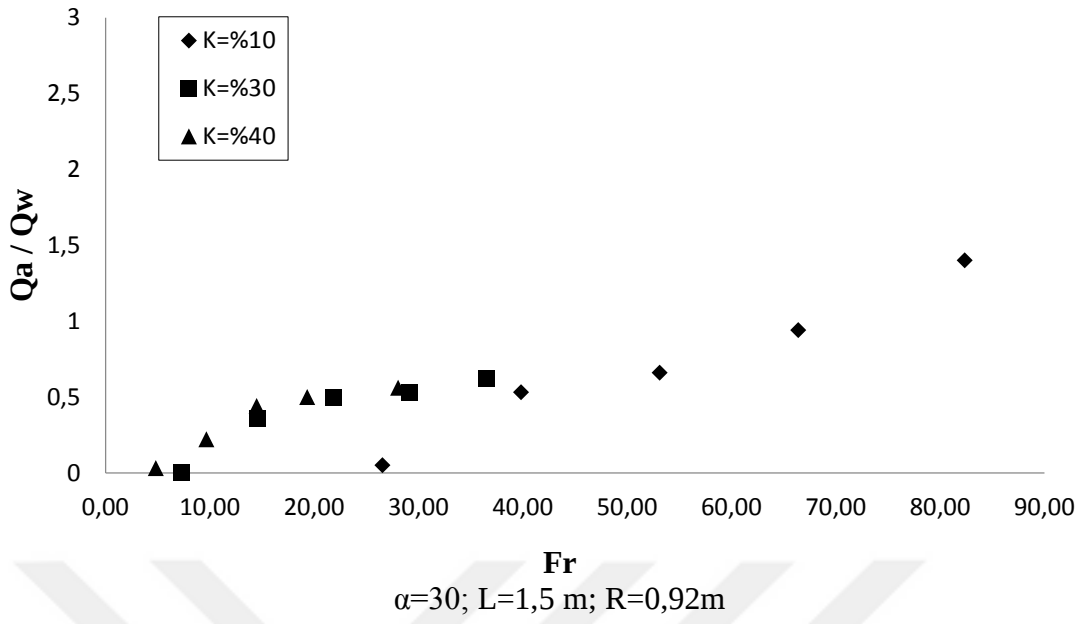
Yapılan tüm deneyler boyunca Fr sayısının 4,80 ile 83,05 değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir.

3.1 Yüksek Basınçlı Kondüitler İle Yapılan Deney Sonuçları

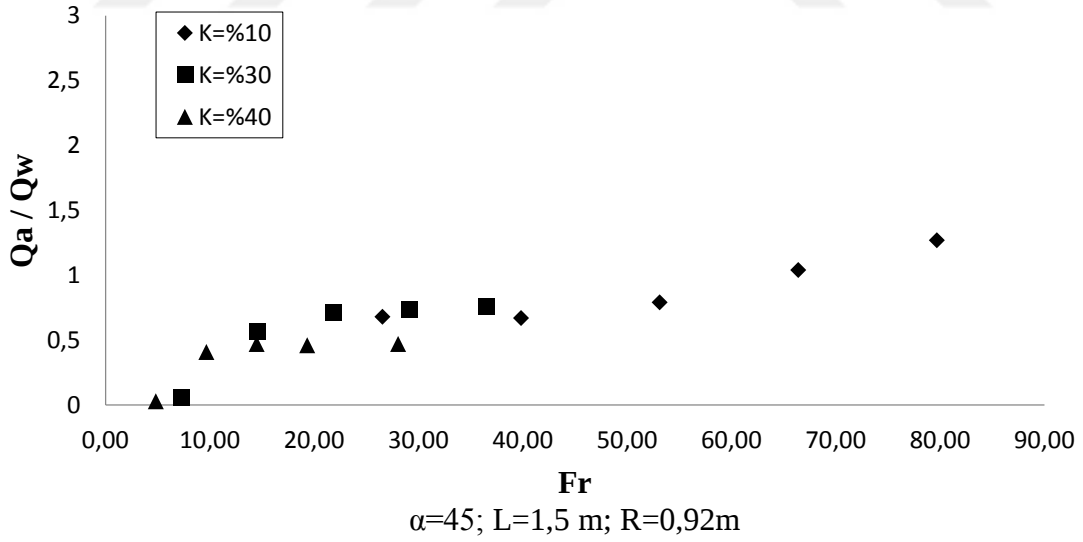
3.1.1 KonduitDaralma Değişiminin Hava Giriş Oranı Üzerindeki Etkisi

Şekil 3.1.1 (a-i)'den de görüldüğü üzere %10 - %30- %40 daralımalı kondüitler kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre; kapak açıklığı düştükçe Q_a/Q_w oranı da artış göstermiştir. Dolayısıyla %10'luk konduit kapak açıklığında sisteme çekilen hava kabarcığı miktarı maksimum olmaktadır.

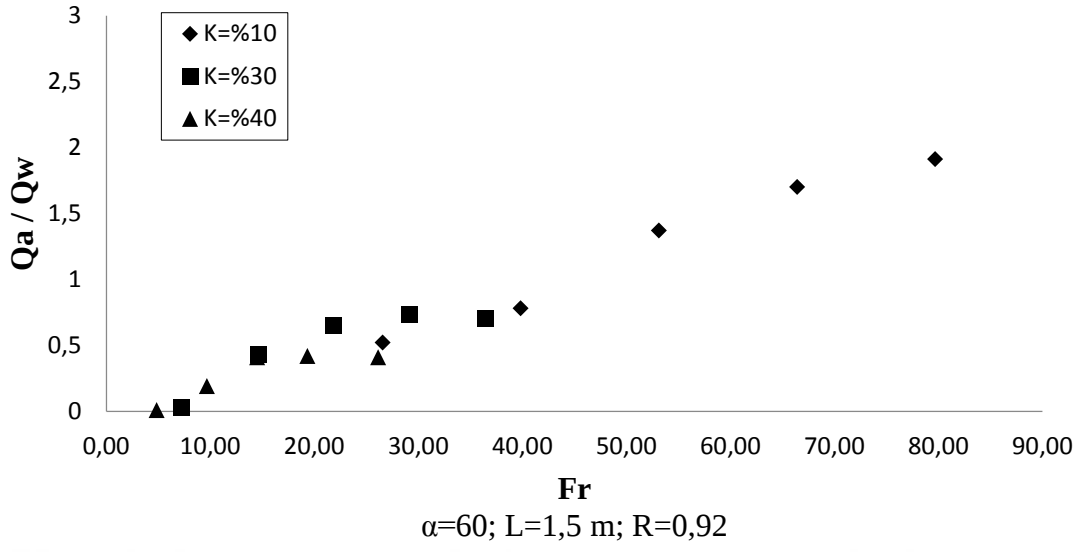
Ayrıca Froude sayısının 10 ve 10'dan daha küçük değerlerinde her boydaki farklı kapak açıklığı ve farklı saplanma açılarında Q_a/Q_w oranları birbirine çok yakın hatta eşit olmasına rağmen Froude sayısının 10'dan büyük değerlerinde Q_a/Q_w oranları arasında belirgin değer farklılıkları meydana gelmiştir. Tüm boylar kendi içerisinde ayrı ayrı incelendiği zaman kondüit kapak açıklıklarının azalmasıyla Q_a/Q_w oranı daha yüksek değerler almıştır. Kapak açıklığının artmasıyla kapağın memba ve mansap kısımlarındaki basınç farkı düşecek ve buna bağlı olarak da atmosferden emilen hava miktarı azalacak buda hava kabarcığı miktarında düşüşe sebep olacaktır. Tüm boylar içerisinde en büyük Q_a/Q_w oranı en küçük kapak açıklığında yani %10'da meydana gelmiştir. Ölü bölgelerin mümkün mertebe az olabilmesi için saplanma açısının artması gerekmektedir. Aynı boyda açı değişikliğinin etkisi yok denecek kadar azdır.



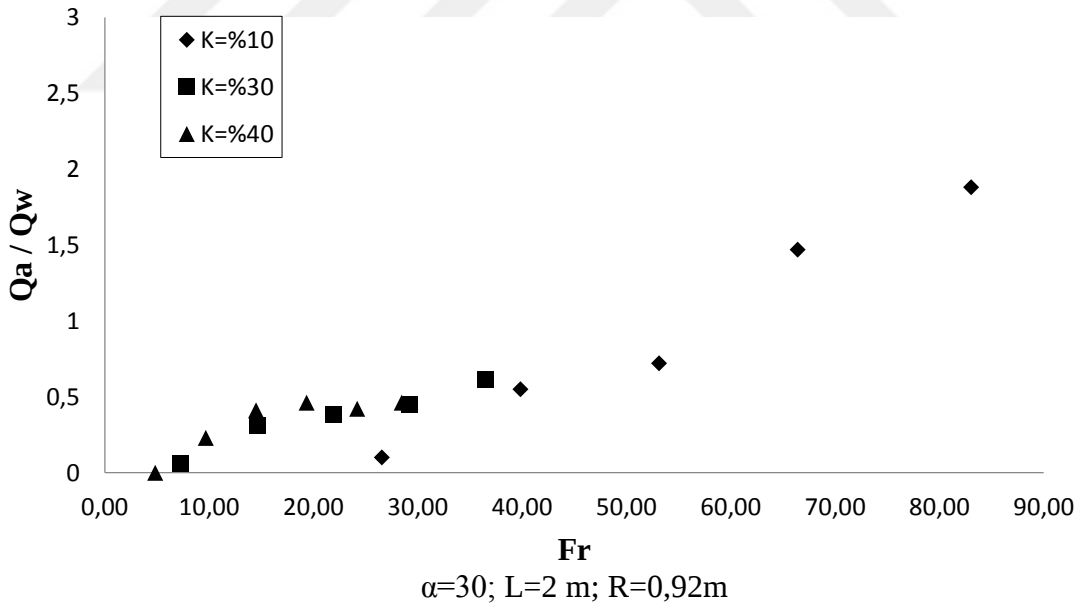
Şekil 3.1.1.a Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



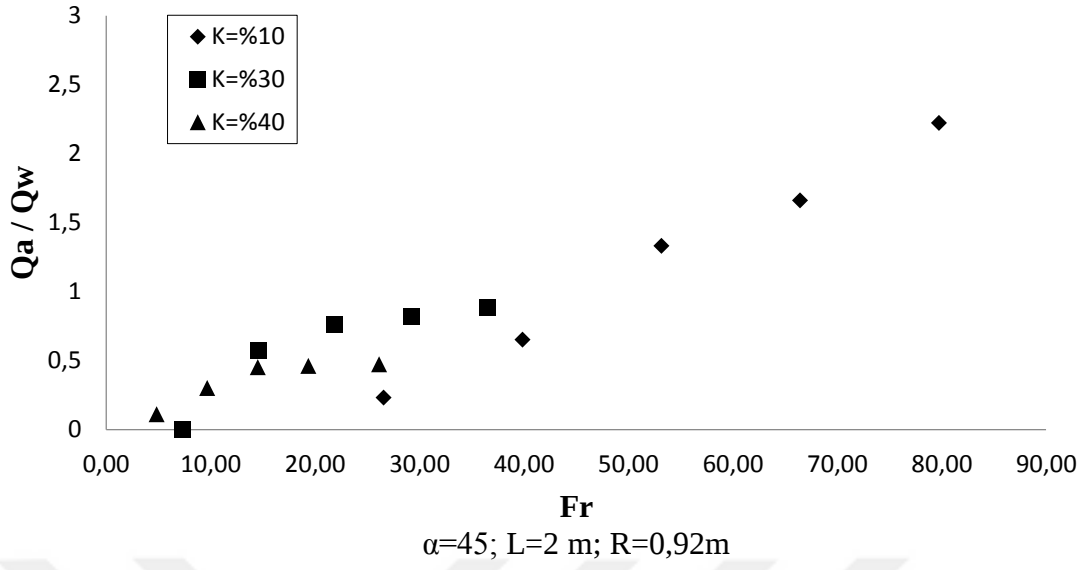
Şekil 3.1.1.b Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



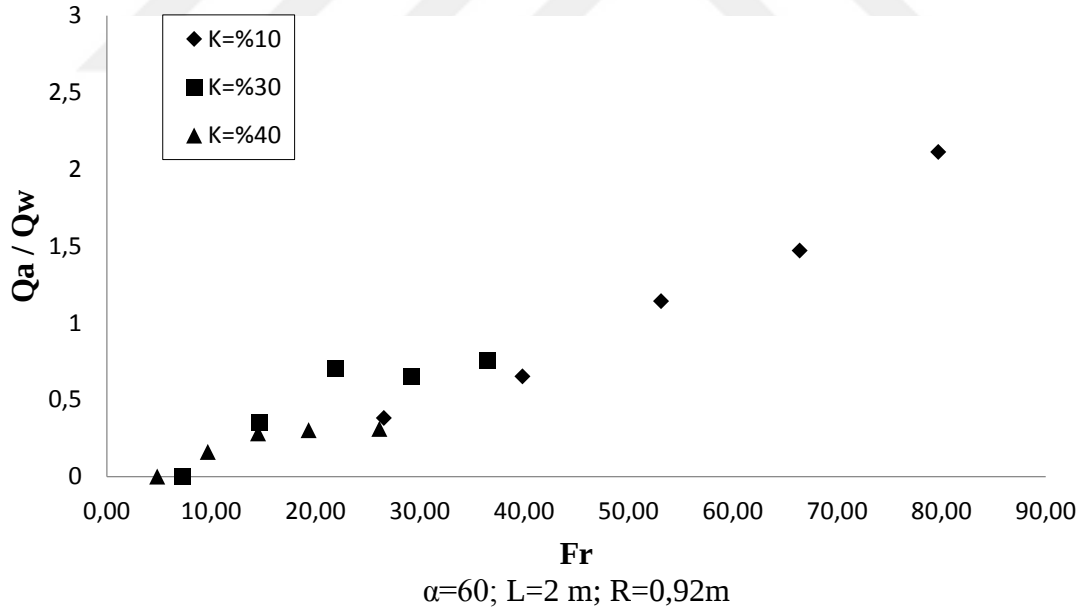
Şekil 3.1.1.c Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



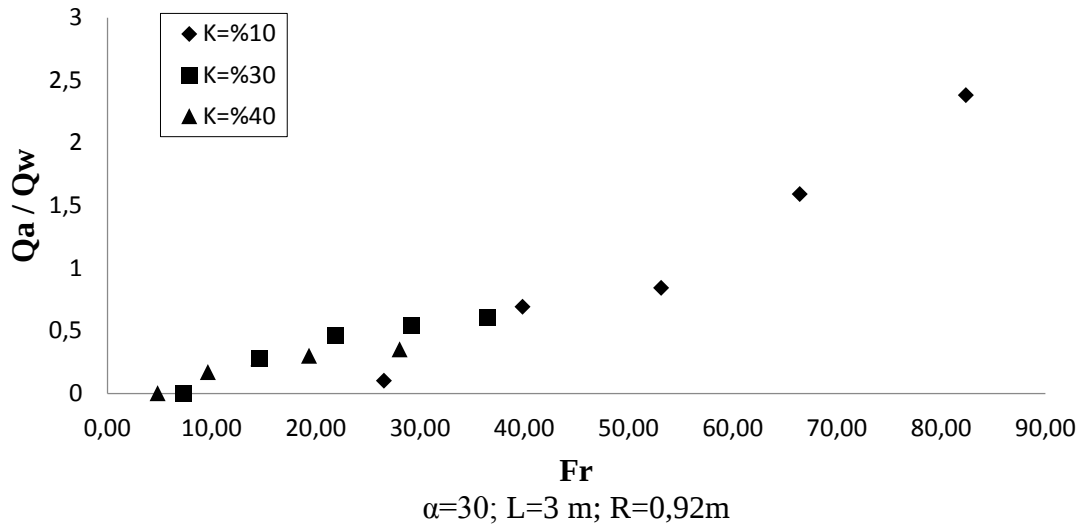
Şekil 3.1.1.d Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



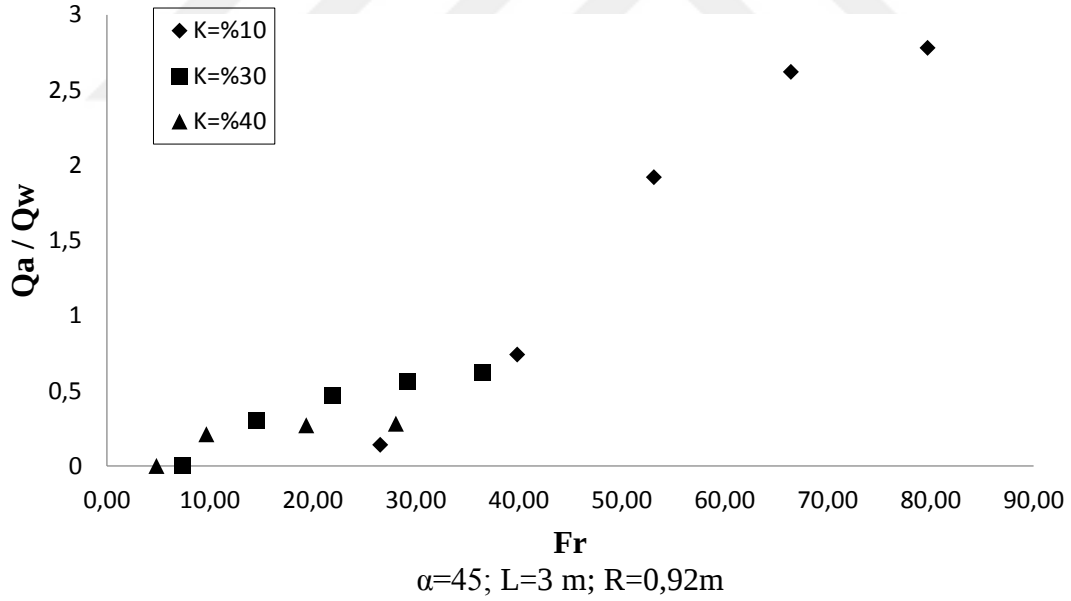
Şekil 3.1.1.e Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



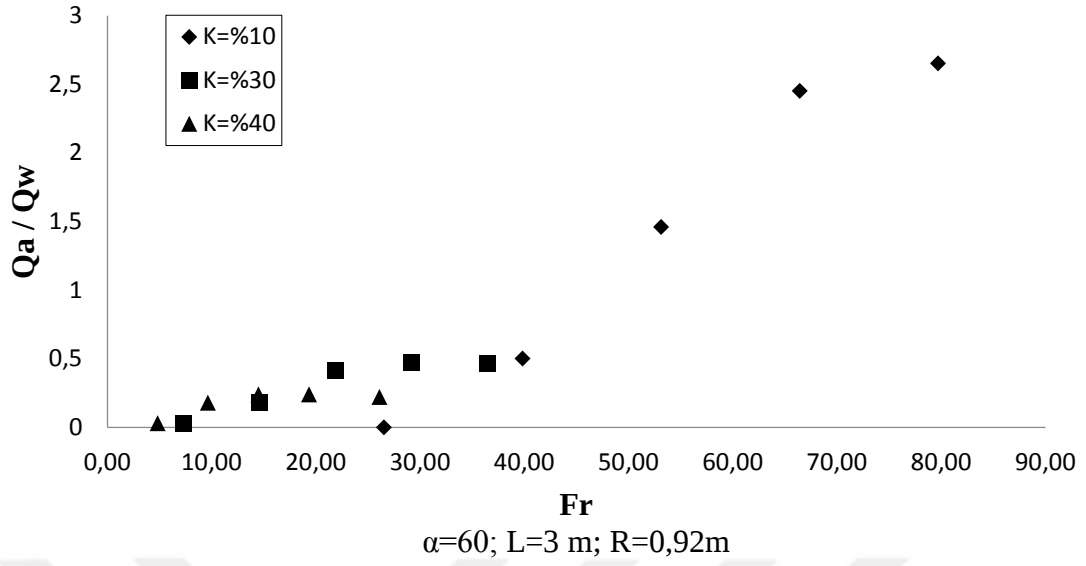
Şekil 3.1.1.f Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



Şekil 3.1.1.g Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



Şekil 3.1.1.h Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi



Şekil 3.1.1.i Hava kabarcık veriminin konduit daralması ile değişimi

3.1.1.1 Daralma Değişiminin Hava Kabarcığı Üzerindeki Etkisinin Fotoğraflar İle İzlenmesi

Şekil 3.1.1.a’da %10’luk kapak açıklığı nedeniyle çekilen hava miktarı maksimum olmuş ve flotasyon kolonu içerisine hava kabarcığı çok miktarda verilebilmiştir. 30 derecelik saplanma açısından dolayı flotasyon kolonunun alt kısımlarında hava kabarcığı nüfuzu gittikçe seyrekleşmiştir. Q_a/Q_w verimi artmıştır.



Şekil 3.1.1.1.a $K=\%10$ konduit daralması, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $L=1,5$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.1.b'dan da görüldüğü üzere açı 15 derece daha arttığı için flotasyon alt kısımlarına hava kabarcığı nüfuzu nisbeten daha fazla olmuş ve hava kabarcığı oluşumu en maksimum seviyede gerçekleştirilmiştir. Hava kabarcıkları gözle seçilebilir durumdadır. Şekil 3.1.1.b.a'da üstten alınmış görüntü görülmektedir. Bu kesitte hava kabarcıkları çok seçilebilir bir vaziyette karşımıza çıkmakta ve boyutları ölçülebilir durumdadır.



Şekil 3.1.1.1.b $K=\%10$ konduit daralması, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $L=1,5$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.



Şekil 3.1.1.1.b.a $K=\%10$ konduit daralması, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $L=1,5$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumunun üstten görünümü.

Şekil 3.1.1.c’de saplanma açısı maksimum eğimle yani 60 derece ile verilmekte bu nedenle de hava kabarcığı oluşumlarının flotasyon kolonunda her yere nüfuz ettiği görülmektedir. Dolayısıyla homojen bir dağılım elde edilmektedir. Ölü bölge oluşumu hemen hemen hiç olmamaktadır. Ayrıca aynı boy ve aynı daralmada açı değişimi nedeniyle en çok verimli olarak görünen açı değeri 60 derece olmakta Q_a/Q_w değeri 2 seviyesine yaklaşmaktadır. Şekil 3.1.1.c.a’da ise hava kabarcık oluşumu flotasyon kolonu üstünden izlenmiştir. Çok küçük boyutlara ulaşan hava kabarcıkları görülmüş ve çok sayıda hava kabarcığının flotasyon kolonu bünyesine girdiği tesbit edilmiştir.



Şekil 3.1.1.1.c $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $L=1,5$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.



Şekil 3.1.1.1.c.a $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $L=1,5$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumunun üstten görünümü.

Şekil 3.1.1.d'den de görüldüğü üzere kapak açıklığı 10% olduğu için çekilen hava miktarı $1,5$ m'lik konduit boyu ile yapılan deney sonuçlarına göre daha fazla ancak saplanma açısı nedeniyle kolon flotasyonu içerisinde ölü bölgeler oluşmaktadır. Şekil 3.1.1.d'de görüldüğü üzere saplanma açılarının azalması ile ölü bölgeler artmaktadır. Bu oluşum flotasyon işleminde istenmemektedir. Flotasyon hücresinin geometrik şeklinin dairesel olmasının temel nedeni de budur. Mümkün mertebe de kolonun her bölgesine hava kabarcıkları nüfuz etmelidir.



Şekil 3.1.1.1.d $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $L=2$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu ve ölü bölge tesbiti.

Şekil 3.1.1.e’de 2 m’lik konduit boyunda 10% ’luk kapak açıklığında en iyi verimin alındığı görülmekte, 1,5 m’lik konduit boyu ile 2’ye yaklaşan Q_a/Q_w oranı 2 m’lik konduit boyu kullanımında 2 seviyesinin üstüne çıkmaktadır. Konduit boyunun artması ile birlikte hava kabarcığı oluşumu dolayısıyla Q_a/Q_w oranında arttığı tesbit edilmiştir. Ancak ölü bölgelere dikkat edilince açının etkisiyle bu bölgelerin fazlalığı hemen göze çarpmaktadır.



Şekil 3.1.1.1.e $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $L=2$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.1.f’de 2,5’a yaklaşan Q_a/Q_w oranı 2 m’lik konduit boyunda en fazla verimi elde etmiş ayrıca ölü bölge oluşumu 60 derecelik açı münasebetiyle hemen hemen hiç olmamıştır. Flotasyon kolonundan da görüldüğü üzere tamamen hava kabarcığı ile dolu bir flotasyon hücresi görünümü elde edilmiştir.



Şekil 3.1.1.1.f $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $L=2$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.1.g’de Konduit boyu 3 m olarak çalışılmıştır. 2 m’lik konduit boyuna nazaran Q_a/Q_w oranında çok fazla bir değişim olmamıştır. Boy etkisi 2 m’den sonra verime gözle görülür bir şekilde etki etmemiştir. Hava kabarcığı oluşumu flotasyon kolonu içerisinde homojen olarak dağılım göstermemiştir. Yalnız açı etkisiyle Şekil 3.1.1.g’de görüldüğü gibi ölü bölge az da olsa göze çarpmaktadır.

Şekil 3.1.1.1.g.a’da üstten görünümü verilen hava kabarcık oluşumunun fazla sirkülasyondan dolayı stabil kalmadığı ve bir çalkantı halinde olduğu izlenmektedir. Q_a/Q_w verimin yüksek olması nedeniyle hava kabarcık oluşumu üst tabakadar beyaz bir görünümü sahip olmuştur. Bu da bize hava kabarcığı miktarının çok olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 3.1.1.1.g $K=\%10$ konduit daralması, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $L=3$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.



Şekil 3.1.1.1.g.a $K=\%10$ konduit daralması, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $L=3$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumunun üstten görünümü

Şekil 3.1.1.h’de 3 m’lik konduit boyu ile yapılan deneylerde ciddi derecede Q_a/Q_w oranında değerler yükselmiş 2,5 seviyesini aşmış 3 seviyesine yaklaşmıştır. Konduit boyu artış gösterdikçe Q_a/Q_w oranında artmıştır. Ölü bölge alanları göze çarpmakta buda flotasyon verimi için istenmediğinden dolayı daha dik açılarda çalışılması gerektiği zorunluluğun ortaya koymuştur.

Şekil 3.1.1.h.a’da üstten görünümü verilen flotasyon kolonunda hava kabarcık boyutları görünmektedir. Q_a/Q_w oranındaki artış’ın etkisiyle hava kabarcığı oranı yükselmiş ve Şekil 3.1.1.h.a’daki hali almıştır. Hava kabarcık oluşumu belirgin gözle sayılabilecek seviyededir.



Şekil 3.1.1.1.h $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $L=3$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.



Şekil 3.1.1.1.h.a $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $L=3$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumunun üstten görünümü

Şekil 3.1.1.i'deki flotasyon kolonu görünümünde ölü bölgeler minimum'a inmiş Q_a/Q_w oranı 3 seviyesine yaklaşarak en iyi verim elde edilmiştir. Hava kabarcığı oluşumu nedeniyle flotasyon kolonu içerisi homojen bir görünüm almış ve kabarcıklar göz ile seçilebilir duruma gelmiştir. Şekil.3.1.1.i.a'da üstten bir kesiti verilen flotasyon kolonunda hava kabarcıklarının aldıkları seçimli durum görülmektedir. Hava kabarcığı boyutları gayet seçilebilir vaziyette karşımıza çıkmaktadır. Çok sayıda hava kabarcığı meydana gelmekte ve minimum boylara ulaşılmaktadır.

Daralma etkisi dikkatli bir şekilde incelendiğinde görülür ki; konduit daralma kısmı yani ıslak çevre ne kadar azaltılırsa atmosferden konduit içine çekilen hava oranı da o kadar artmaktadır. Ayrıca ölü bölge oluşumunun önüne geçilebilmesi için saplanma açısı 60 derecede verilmeli yani daha dik bir saplanma açısı ile giriş yapılmalıdır.



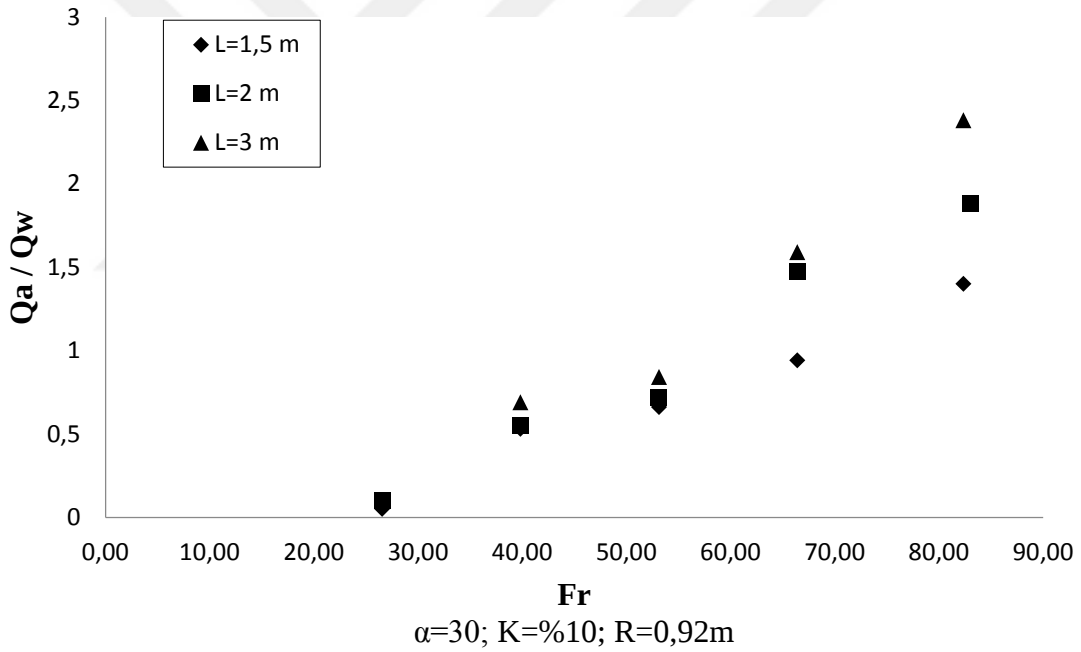
Şekil 3.1.1.1.i $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $L=3$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu



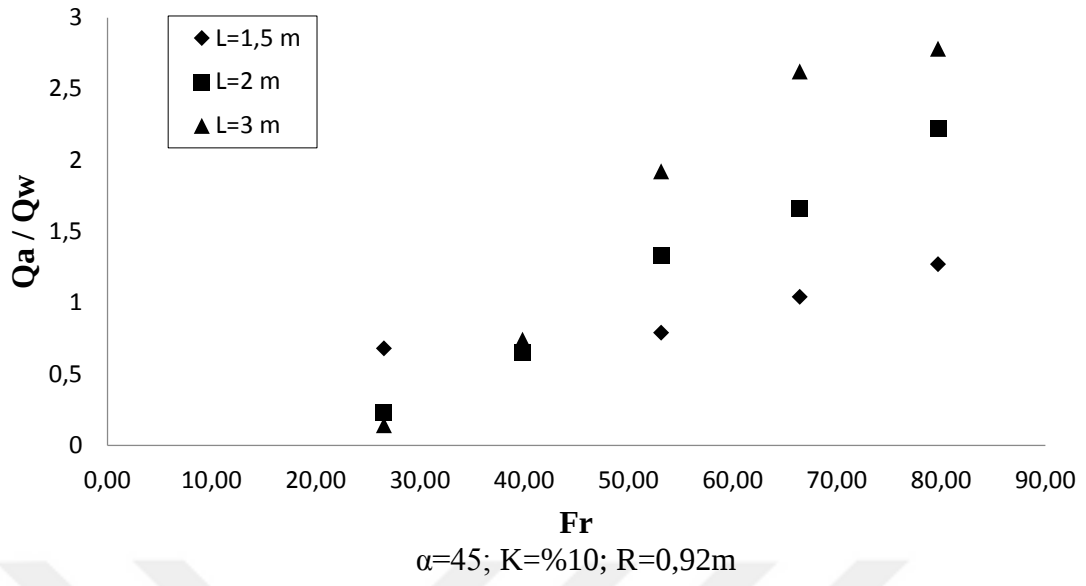
Şekil 3.1.1.1.i.a $K=10\%$ konduit daralması, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $L=3$ m konduit boyu ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumunun üstten görünüm

3.1.2 Konduit Boy Değişiminin Hava Giriş Oranı Üzerindeki Etkisi

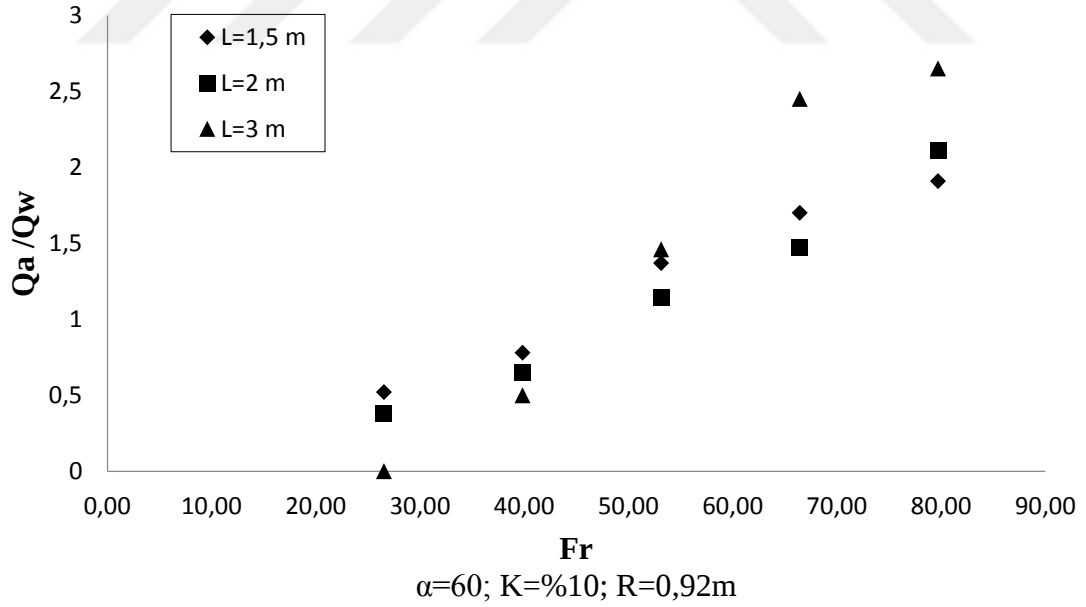
Şekil 3.1.2 (a-i)'den de görüldüğü üzere konduit boy değişimi kapak açıklığı ile ters orantılı olacak şekilde etki göstermektedir. %10 kapak açıklıklı konduit ile yapılan deneylerde boy kademeli olarak artarken Q_a/Q_w değeri de artmaktadır. Ancak kapak açıklığı değeri arttıkça buna bağlı olarak boy değerinin artması Q_a/Q_w değerinde artış görülmektedir. Her kapak açıklığı ayrı olarak incelendiğinde konduitin boy uzunluğunun artmasının hava giriş oranı Q_a/Q_w üzerinde %10 konduit kapak açıklığında olumlu ancak %30 ve daha sonrasında %40 kapak açıklıklı konduit boyunda olumsuz bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu olumsuz etkinin sebebi olarak, kapak açıklığının artmasıyla beraber ıslak kesitten geçen su miktarının artması ve buna bağlı olarak basıncın düşmesi şeklinde izah edilebilir.



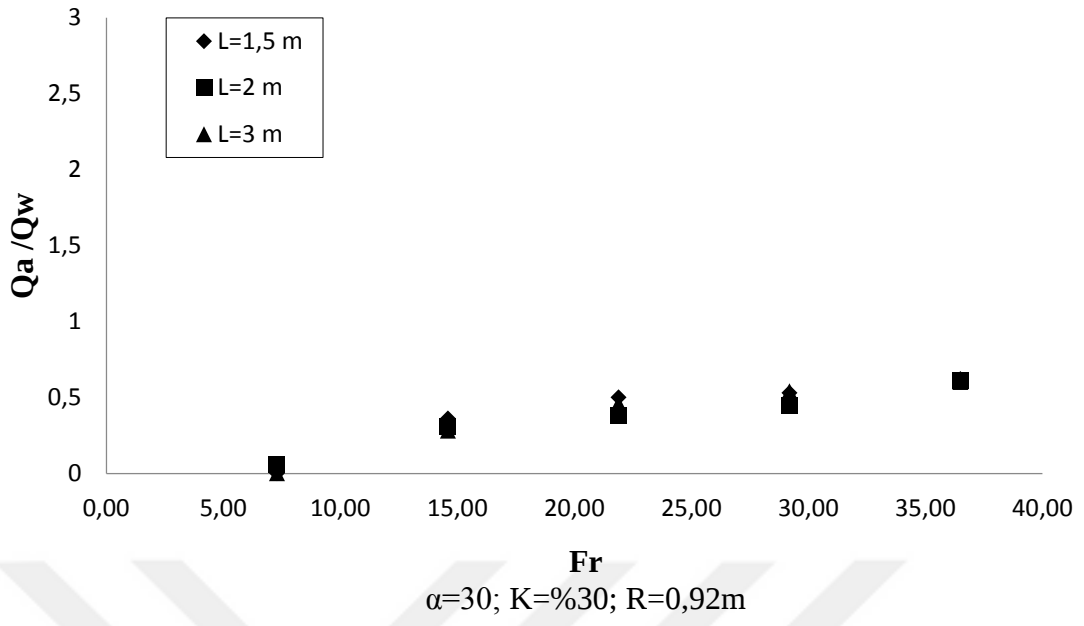
Şekil 3.1.2.a Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



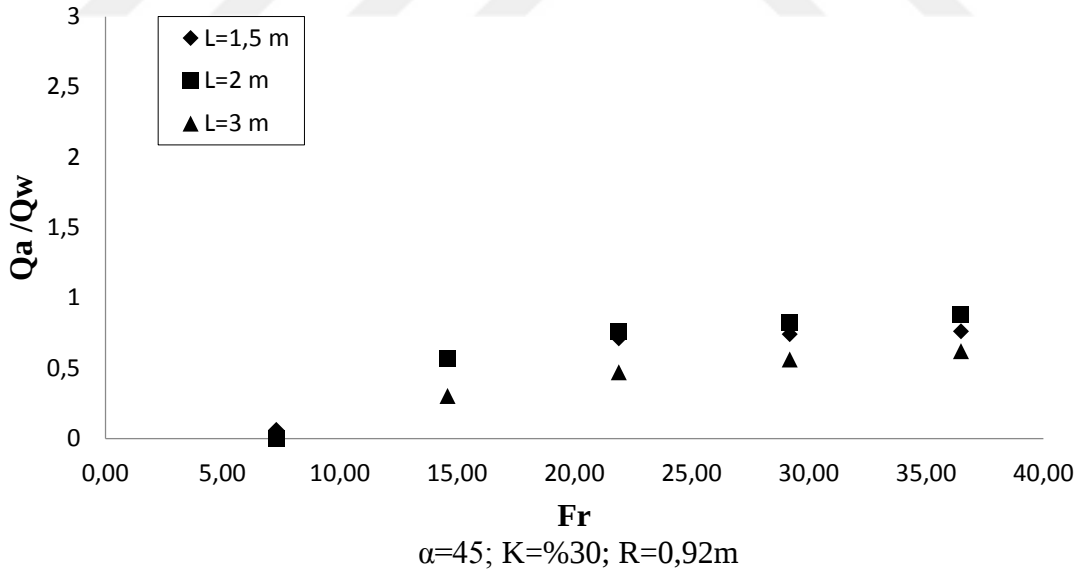
Şekil 3.1.2.b Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



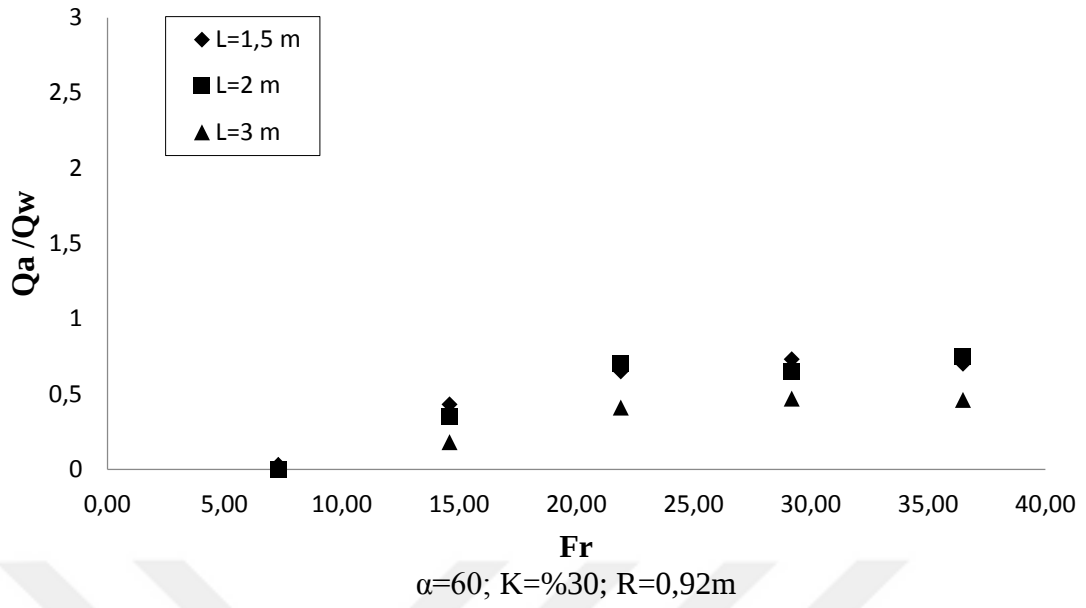
Şekil 3.1.2.c Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



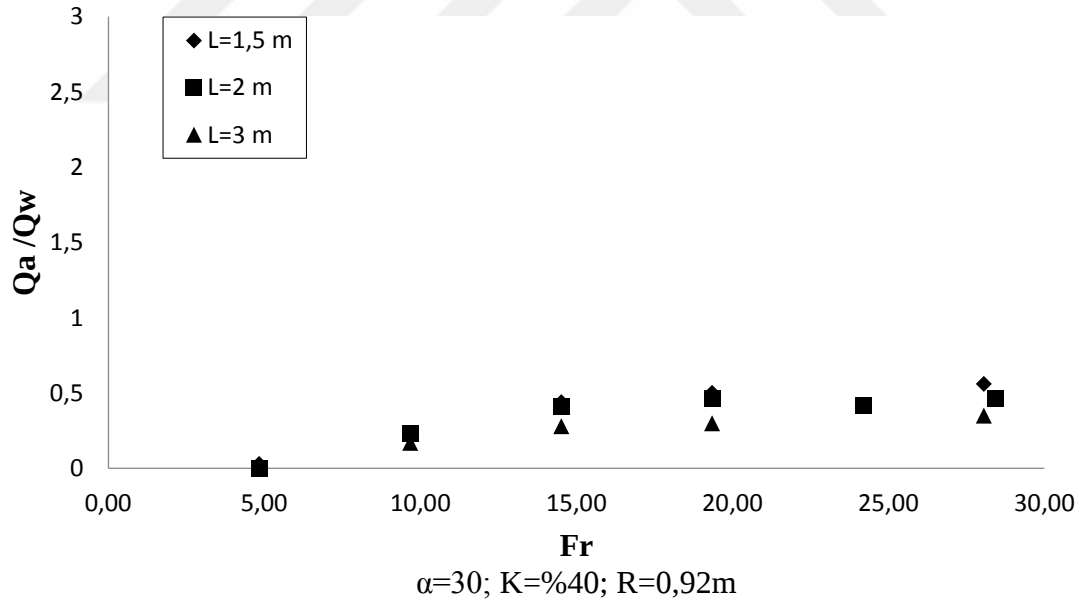
Şekil 3.1.2.d Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



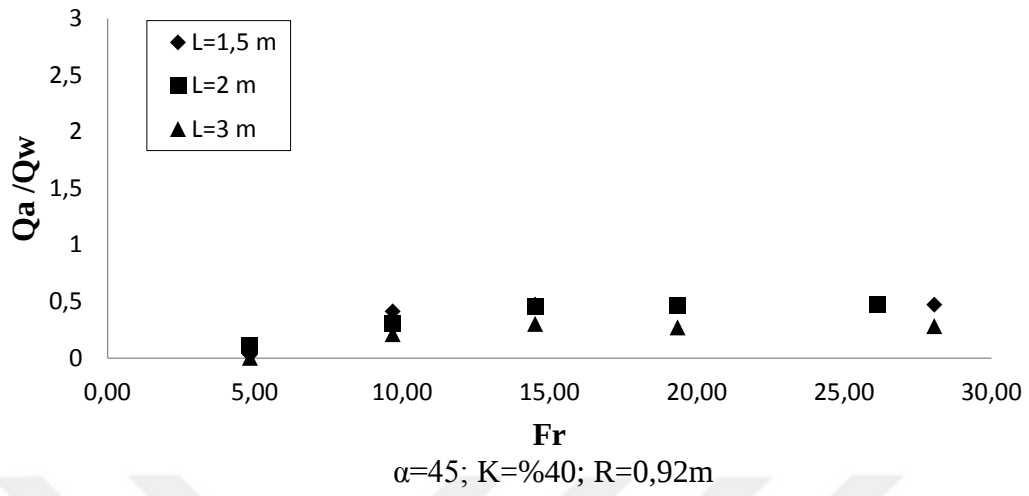
Şekil 3.1.2.e Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



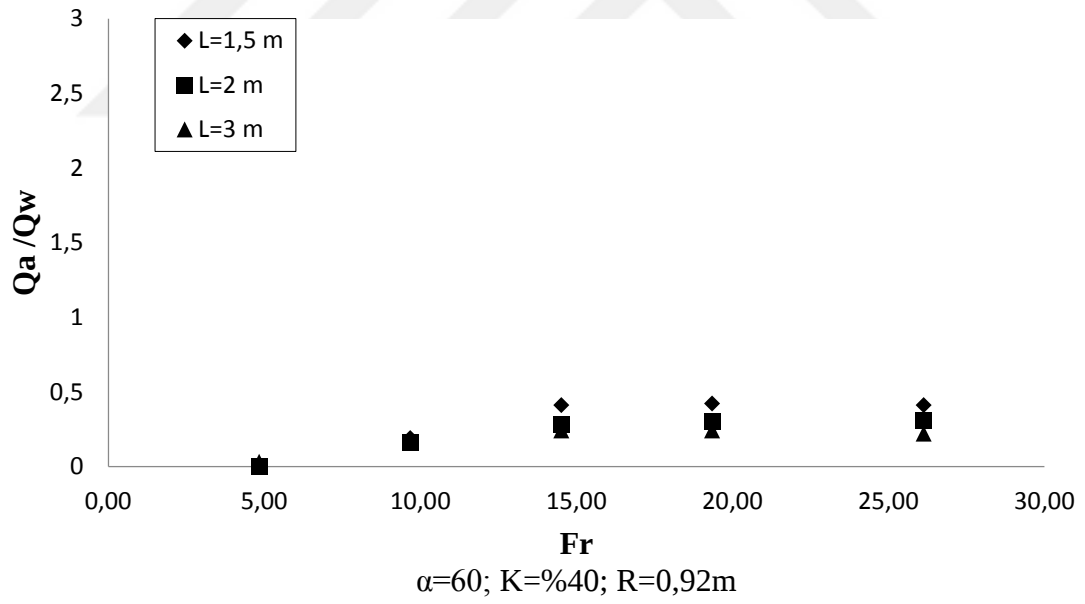
Şekil 3.1.2.f Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



Şekil 3.1.2.g Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



Şekil 3.1.2.h Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi



Şekil 3.1.2.i Hava kabarcık veriminin konduit boyu ile değişimi

3.1.2.1 Konduit Boy Değişiminin Hava Kabarcığı Üzerindeki Etkisinin Fotoğrafla İle İzlenmesi

Şekil 3.1.2.a'da 3 m'lik konduit boyu ile çalışılmış fakat flotasyon kolonu içerisinde homojen bir hava kabarcığı dağılımı elde edilememiştir. Ölü bölgeler oluşmuştur. Q_a/Q_w verimi 2,5'lara kadar yaklaşmaktadır. Ölü bölge oluşumunun önüne geçilemediğinden dolayı tercih edilebilir olmaktan çıkmaktadır.



Şekil 3.1.2.1.a $L=3$ m konduit boyu, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $K=\%10$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.b'de 3 m'lik konduit boyu ile çalışılmış 45 derece saplanma açısı ile flotasyon kolonuna giriş sağlanmıştır. Q_a/Q_w oranının 30 derecelik saplanma açısına göre daha iyi seviyelere yükseldiği görülmüş 3 seviyesine yaklanmıştır. Saplanma açısının vermiş olduğu etkide dolayı flotasyon kolonunun alt kısımlarında hava kabarcığı oluşumu neredeyse hiç olmamakta ancak üst kısımlara doğru çıkıldıkça homojen bir görünümün elde edildiği açıkça seçilmektedir.



Şekil 3.1.2.1.b $L=3$ m konduit boyu, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $K=\%10$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.c’de yüksek verim alınmıştır. Flotasyon kolonu içerisinde homojen dağılım görülmektedir. Hava kabarcığı oluşumları nedeniyle flotasyon kolonu içerisini beyaz bir görünüm almıştır. Köpük tabakası kalınlığı maksimum seviyelere ulaşmış ve kabarcık boyutları minimum seviyelere kadar inmiştir. Kolon tabanında çok az da olsa sirkülasyona bağlı yer yer ölü bölge oluşumları mevcuttur.



Şekil 3.1.2.1.c L=3 m konduit boyu, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve K=%10 konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.d’de hava kabarcığı oluşumun verimi çok yüksek olmamakla birlikte köpük tabaka kalınlığıda çok miktarda artmamış zayıf kalmıştır. Q_a/Q_w oranında çok düştüğü gözlemlenmektedir.



Şekil 3.1.2.1.d $L=3$ m konduit boyu, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $K=\%30$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.e’de homojen bir dağılım elde edilememiştir. Q_a/Q_w ise düşüktür. Dolayısıyla sisteme çekilen hava kabarcığı oranında düşük oluğu görülmektedir. Kolon içerisinde sağlıklı bir dağılımın olmadığı tesbit edilmiştir.



Şekil 3.1.2.1.e $L=2$ m konduit boyu, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $K=\%30$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.f’de Q_a/Q_w oranı yapılan ölçümler sonucunda oldukça düşük olduğu görünmüştür. Konduit boy değişimleri arasında belirgin farklar çıkmamıştır. Homojen bir ortam elde edilmemekle birlikte istenilen verim elde edilmemiştir.



Şekil 3.1.2.1.f $L=2$ m konduit boyu, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $K=\%30$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.g'de hava kabarcığı oluşumu homojen dağılmamış verim düşük olmuştur. Gözle seçilir vaziyette ölü bölge oluşumları hemen göze çarpmaktadır.



Şekil 3.1.2.1.g $L=1,5$ m konduit boyu, $\alpha=30$ derece saplanma açısı ve $K=\%40$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.2.h'de çekilen debi konduit açıklığından dolayı fazla olmakta ancak Q_a/Q_w verimi düşük olmaktadır. Dolayısıyla bu da hava kabarcık verimini etkilemekte ve elde edilmek istenilen homojen görüntünün yakalanmamasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.1.2.1.h $L=1,5$ m konduit boyu, $\alpha=45$ derece saplanma açısı ve $K=\%40$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

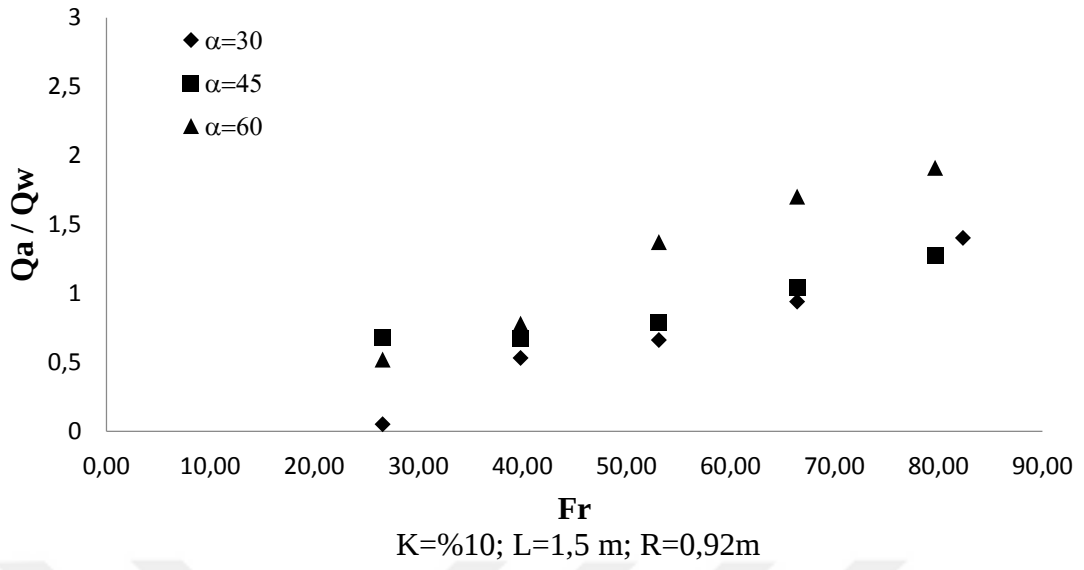
Şekil 3.1.2.i'de görüldüğü üzere Q_a/Q_w verimi açısından daha etkin görünen flotasyon kolonu Şekil.3.1.2.i grafiğinden görüldüğü üzere verimi düşük bir çıktı olarak önümüze gelmektedir. Flotasyon kolonu üst bölgesine doğru gittikçe homojenleşen bir oluşum gözlemlenmektedir. Ancak bu omojen bölge oluşumu tek başına bir fayda sağlayamamaktadır.



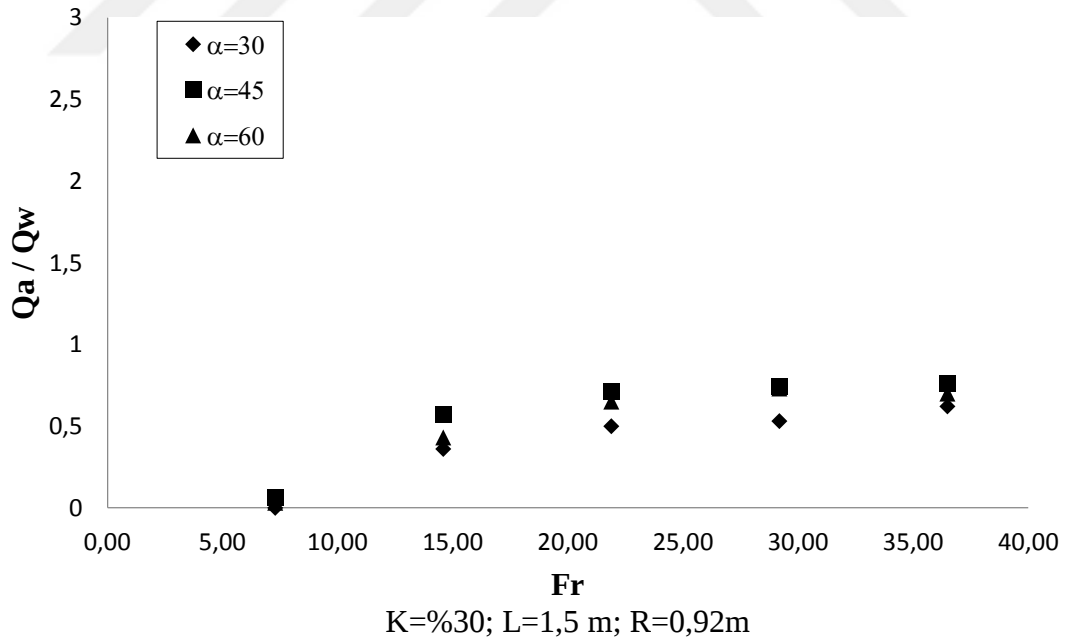
Şekil 3.1.2.1.i $L=1,5$ m konduit boyu, $\alpha=60$ derece saplanma açısı ve $K=\%40$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

3.1.3 KonduitSaplanma Açısı Değişiminin Hava Giriş Oranı Üzerindeki Etkisi

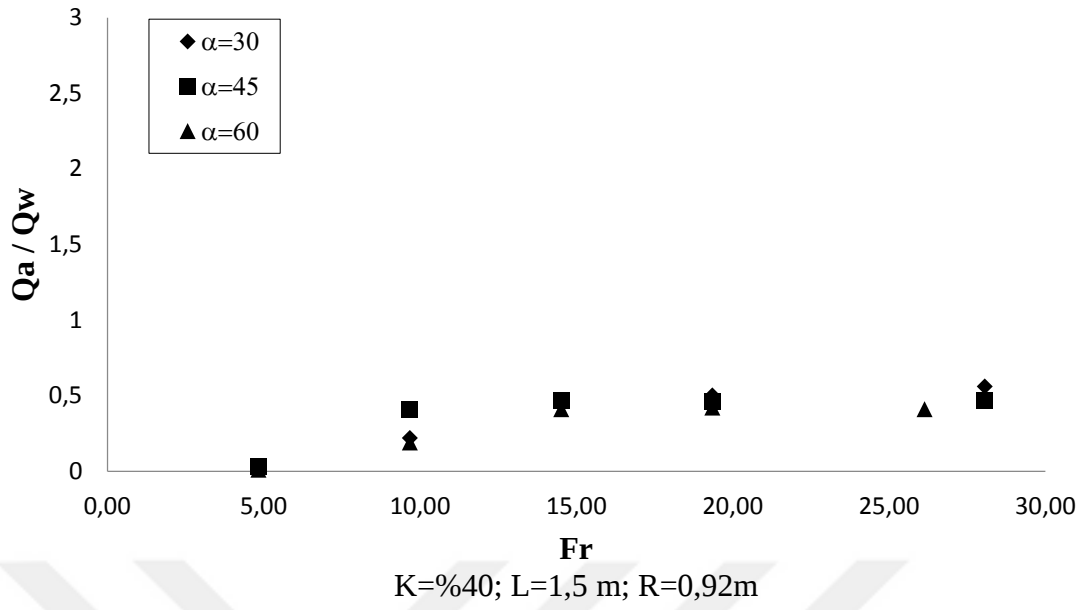
Şekil 3.1.3 (b-i)'de görüldüğü üzere her bir konduit kapak açıklığının azalması ve konduit boyunda saplanma açısı arttıkça Q_a/Q_w değeride önce artmakta sonra azalmaktadır. Bu olumsuzluğun temelinde daha dik açıyla flotasyon kolonuna saplanan su jetinin tank içerisinde fazla sirkülasyon oluşturması nedeniyle geri emiş ağzında oluşturduğu hava kabarcıklarıdır. Bu hava kabarcıkları geri besleme yolu ile tekrar pompaya verildiğinden pompada hava oluşumu meydana getirmekte ve debi değerlerinde salınımlara sebep olmaktadır. Fakat $\%10$ kapak açıklığı ile 60 derece altında sisteme verilen hava kabarcıkları daha verimli olduğu Şekil 3.1.3.a'da görülmektedir. Bunun sebebi olarak da kapak açıklığının çok az olduğu dolayısıyla sisteme verilen debi miktarının az olmasından kaynaklanan sirkülasyon azalmasıdır. Her boyda ve her konduit daralmasında grafikler incelendiğinde 60 derece açı ile tanka verilen iki fazlı hava su karışımı en optimum havalandırma seçeneğini bizlere sunmaktadır.



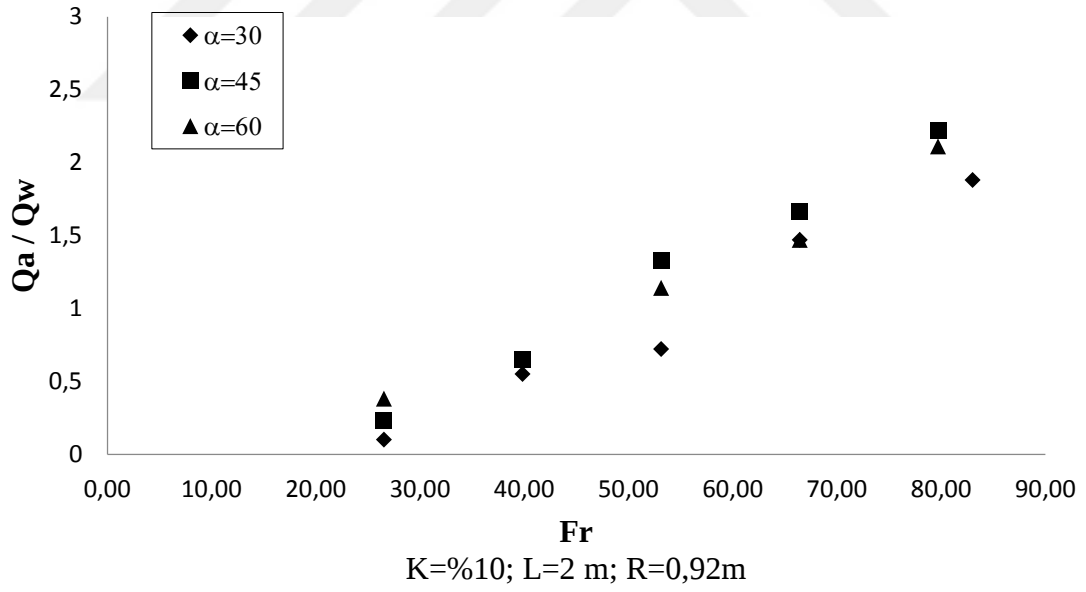
Şekil 3.1.3.a Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



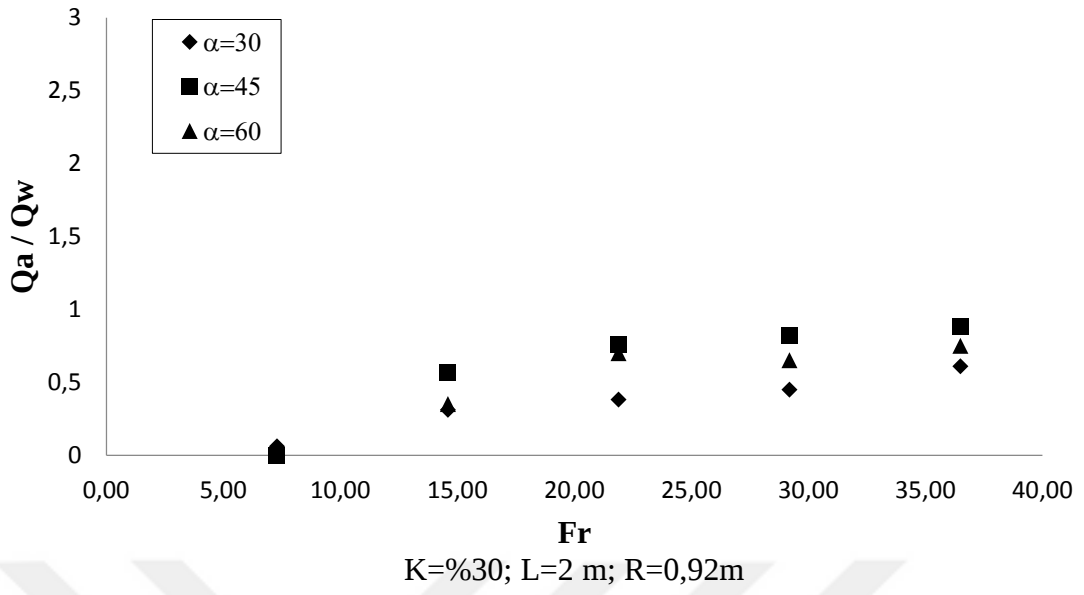
Şekil 3.1.3.b Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



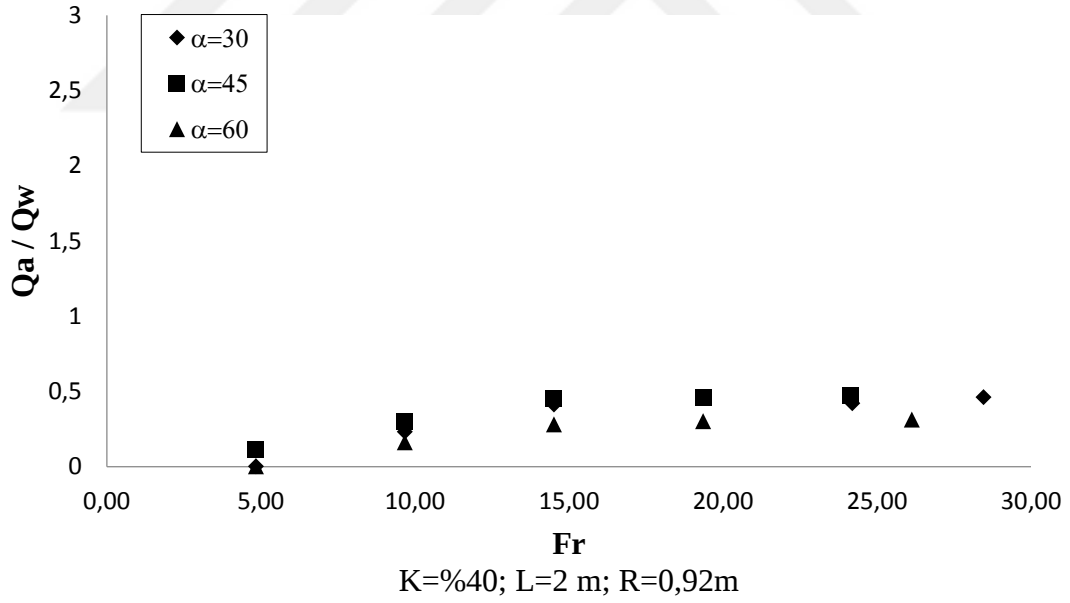
Şekil 3.1.3.c Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



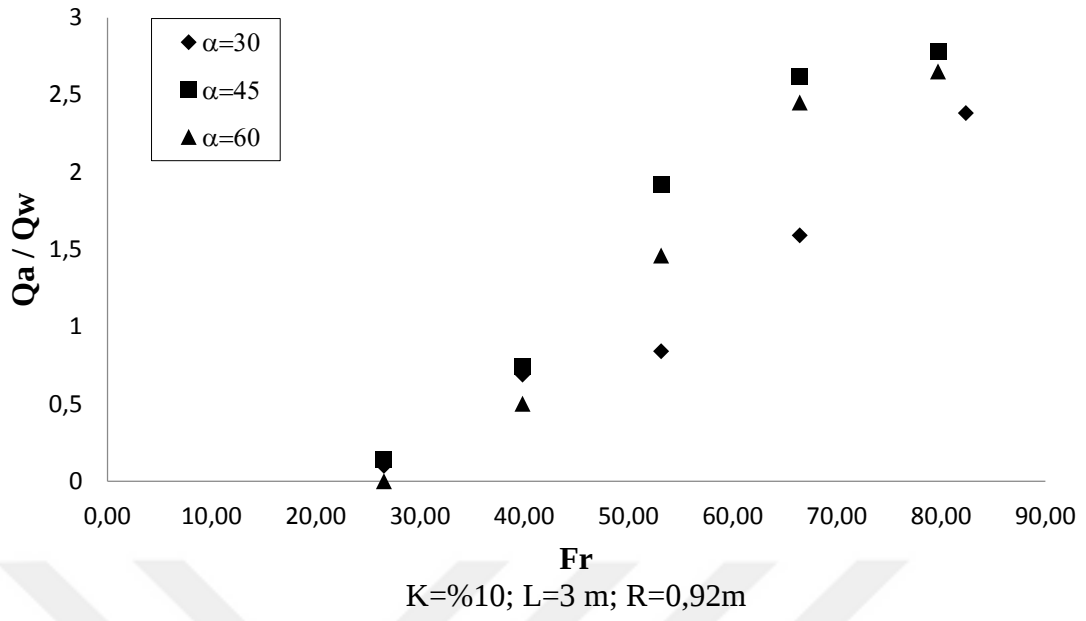
Şekil 3.1.3.d Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



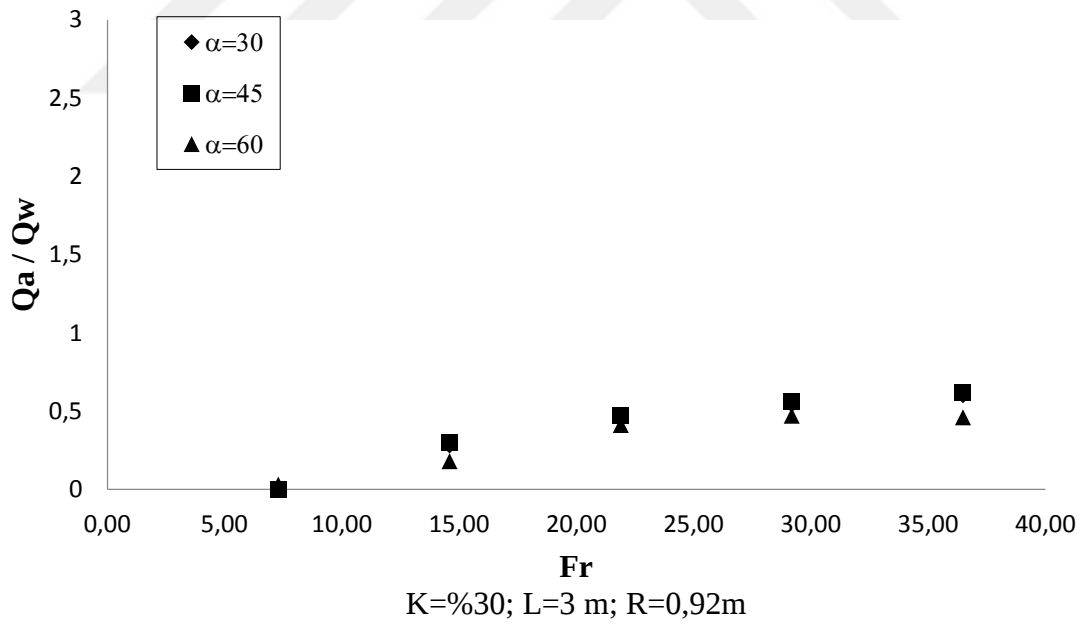
Şekil 3.1.3.e Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



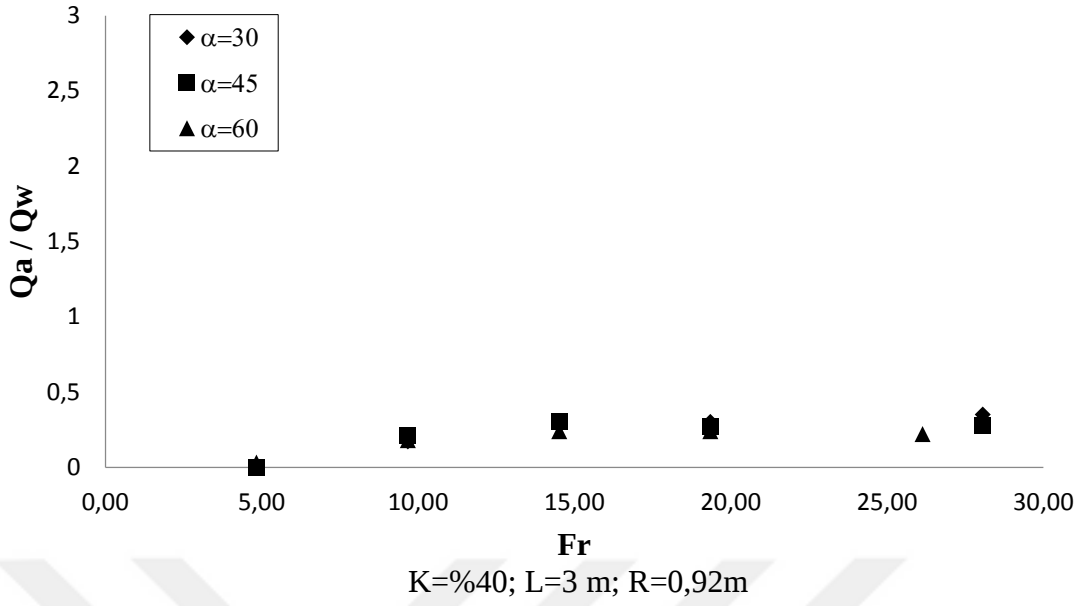
Şekil 3.1.3.f Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



Şekil 3.1.3.g Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



Şekil 3.1.3.h Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi



Şekil 3.1.3.i Hava kabarcık veriminin saplanma açısı ile değişimi

3.1.3.1 Konduit Saplanma Açısı Değişiminin Hava Kabarcığı Üzerindeki Etkisinin Fotoğraflarla İzlenmesi

Şekil 3.1.3.1.a'da flotasyon kolonunda homojen bir görünümün elde edildiği görülmüştür. 60 derece altında %10'luk daralma ile hava kabarcığı verimi artmış Qa/Qw verimi 2 seviyesine kadar yaklaşmıştır. 60 derecelik açı altında görüldüğü üzere ölü bölge oluşumu hemen hemen hiç oluşmadığı görülmüştür.



Şekil 3.1.3.1.a $\alpha=60$ derece saplanma açısı, $L=1,5$ m konduit boyu, ve $K=\%10$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.3.1.b’de saplanma açısının Q_a/Q_w oranını çok fazla etkilemediği görülmektedir. Konduit daralmasının $\%30$ olmasından kaynaklı sisteme verilen debi miktarı fazla ancak hava kabarcık oranı az olmaktadır.



Şekil 3.1.3.1.b $\alpha=45$ derece saplanma açısı, $L=1,5$ m konduit boyu, ve $K=\%30$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.3.1.c’de $\%30$ ’luk daralma oranına göre Q_a/Q_w oranı daha da düşmektedir. Saplanma açısının düşmesi verimi negatif yönde etkilemiştir.



Şekil 3.1.3.1.c $\alpha=30$ derece saplanma açısı, $L=1,5$ m konduit boyu, ve $K=\%40$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.3.1.d’de $\%10$ ’luk kapak açıklığının etkisiyle Q_a/Q_w verimi artmış $1,5$ m’lik konduit boyuna göre 2 m’lik boy etkisiyle bu verim 2 seviyesinin üzerine çıkmıştır. Belirli seviyeye kadar ölü bölge oluşturan bu koşullar flotasyon kolonunun üst kısımlarına doğru homojenlik sağlanmıştır.



Şekil 3.1.3.1.d $\alpha=45$ derece saplanma açısı, $L=2$ m konduit boyu, ve $K=\%10$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.3.1.e'de 45 derecelik saplanma açısında en yüksek Q_a/Q_w oranının elde edildiği görülmektedir. Sisteme verilen debi miktarı arttıkça atmosferden çekilen havanın arttığı görülmekte ve dolayısıyla hava kabarcığı sisteme o kadar çok kazandırılmaktadır. Flotasyon kolonunda homojen bir görünüm elde edilmemekle birlikte Q_a/Q_w oranı 1 seviyesine bile ulaşamamaktadır. Saplanma açılarının bu deney koşullarında değiştirilmesi sisteme çok fayda sağlamamıştır.



Şekil 3.1.3.1.e $\alpha=45$ derece saplanma açısı, $L=2$ m konduit boyu, ve $K=\%30$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.3.1.f'de $\%40$ 'lık bir konduit açıklığı söz konusu olmakla beraber 2 m'lik konuit boy uzunluğu ile ortak çalışılmıştır. Yapılan deney esnasında 30 derecelik saplanma açısı nedeniyle sistemde ölü bölge alanları olmakta ve flotasyon kolonunun büyük bir kısmında homojen bir yapı elde edilememektedir.



Şekil 3.1.3.1.f $\alpha=30$ derece saplanma açısı, $L=2$ m konduit boyu, ve $K=\%40$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu

Şekil 3.1.3.1.g'de%10'luk açıklığa sahip olan konduit ile sisteme verilen debi çok büyük miktarda havanında suya karışmasıyla birlikte hava kabarcığı oranını arttırmıştır. Sisteme çekilen Q_a/Q_w oranı 45 derece altında maksimum değerlere ulaşmış fakat ölü bölge oluşumlarının önüne geçememiştir.



Şekil 3.1.3.1.g $\alpha=45$ derece saplanma açısı, $L=3$ m konduit boyu, ve $K=\%10$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil 3.1.3.1.h'de $\%30$ açıklıkla sisteme verilen debi fazla olmakta dolayısıyla flotasyon kolonu içerisinde müthiş bir sirkülasyon oluşmaktadır. Q_a/Q_w oranının daha önceki deneylerde elde edilen veriler ile kıyaslandığında çok zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1.3.1.h $\alpha=45$ derece saplanma açısı, $L=3$ m konduit boyu, ve $K=\%30$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

Şekil.3.1.3.1.i'de Q_a/Q_w oranı iyice düşmekte ve çok zayıf kalmaktadır. Hava kabarcığı miktarındaki değişim atmosferden çekilen hava miktarı ile değil $\%40$ açıklıklı konduit kapak açıklığı sebebiyle çekilen fazla debiden kaynaklanmaktadır. Fazla debi flotasyon kolonu içerisinde müthiş bir sirkülasyona sebep olmaktadır.



Şekil 3.1.3.1.i $\alpha=30$ derece saplanma açısı, $L=3$ m konduit boyu, ve $K=\%40$ konduit daralması ile kurulan deney düzeneğinin flotasyon kolonu içerisinde oluşturmuş olduğu hava kabarcığı oluşumu.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, basınçlı kondüitler ile desteklenmiş flotasyon hücrelerinde havalandırma performansı veriminin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak kapak açıklıkları ve su jeti dalma açısı ve kondüit boyunun değişiminin havalandırma verimine etkisi incelenmiştir. Deneylerde basınçlı kondüit kapağı altındaki Froude sayısı hesaplanarak dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Farklı kapak açıklıkları için hız değerlerinin artmasıyla hava giriş miktarında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 olan kapak açıklığı değerinde en küçük hava girişi oluşurken %10 kapak açıklığı değerinde en büyük hava giriş miktarı meydana gelmiştir
- Havalandırma performansı incelendiğinde akışkan hız değerinin artmasına paralel olarak bütün kapak açıklığı değerlerinde havalandırma veriminin de arttığı görülmüştür.
- Tüm deney gruplarında en iyi havalandırma performansı kondüit saplanma açısının flotasyon kolonuna 60 derecelik açıyla saplandığı durum olduğu gözlemlenmiştir.
- Bütün kapak açıklığı değerlerinde suyun hızının artırılmasıyla hava kabarcığı miktarının dolayısı ile Q_a/Q_w oranlarının da arttığı görülmektedir.
- Tüm deney gruplarında en iyi havalandırma performansının kondüit boyunun 3m'lik uzunluğunda olduğu gözlemlenmiştir.

Mevcut flotasyon tekniklerinde; karlılık, işletme ve bakım koşullarının optimum olması gibi hususlar arandığından ve bu yönden de kondüit ile desteklenmiş flotasyon hücresi ile flotasyon sistemi basit yapım, düşük ilk yatırım maliyeti ve işletme kolaylığı gibi esaslarıyla mevcut flotasyon yöntemlerine bir alternatif olacağı değerlendirilmektedir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışma ile su mühendisliğinde havalandırma işlemi, malzeme 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. Bu hava kabarcığı girişi flotasyon açısından oldukça önemlidir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda geliştirilen bu sistemin çevre ve maden mühendisliği konularında spesifik olarak irdelenmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Emiroglu, M.E., Baylar, A., 2003, “Study of the Influence of Air Holes along Length of Convergent–Divergent Passage of a Venturi Device on Aeration”, Journal of Hydraulic Research, 41 (5), p. 513–520.
- [2] Ünsal, M., 2007, “Suların Havalandırılmasında Yüksek Basıncılı ve Serbest Yüzeyle Konduitlerin Kullanılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Unsal, M., Baylar, A., Tugal, M., Ozkan, F., 2008, “Increased Aeration Efficiency in Waters with High–Head Conduit Flow Systems”, Journal of Hydraulic Research, 46 (5), p. 711–714.
- [4] Ozkan F., Baylar A., Ozturk M., 2006, “Air Entraining and Oxygen Transfer in High–Head Gated Conduits”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management, 159 (2), p. 139–143.
- [5] Baylar A., Ozkan F., 2006, “Applications of Venturi Principle to Water Aeration Systems”, Environmental Fluid Mechanics, 6 (4), p. 341–357.
- [6] Bagatur, T., 2005, “Minimal Conditions for Venturi Aeration of Water Flows”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management 158 (3), p. 127–130.
- [7] Gulliver, J.S., Thene, J.R., Rindels, A.J., 1990, “Indexing Gas Transfer in Self–Aerated Flows”, Journal of Environmental Engineering ASCE, 116 (3), p. 503–523.
- [8] Özkan F., 2005, “Basıncılı Su Borularında Hava İletimi ve Oksijen Transferinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] Baylar, A., Emiroglu, M. E., 2003, “Air Entrainment and Oxygen Transfer in a Venturi”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water & Maritime Engineering, 156 (WM3), p. 249–255.
- [10] Ovenson P., 2008, Air Demand in Free Flowing Gated Conduits, Master Thesis, Utah State University.

- [11] Sharma, H.R., 1976, "Air–Entrainment in High HeadGatedConduits", Journal of HydraulicDivision, ASCE, 102 (HY11), p. 1629–1646.
- [12] Baylar, A., Aydin, M.C., Unsal, M., Ozkan, F., 2009, "NumericalModeling of VenturiFlowsforDeterminingAirInjectionRates Using FLUENT V6.2", Mathematical andComputational Applications, 14 (2), p.97–108.
- [13] Ahmed, Afzal. *Aerationbyplungingliquid jet*. Diss. © AfzalAhmed, 1974.
- [14] Harris, Wendell V. "morality, Absurdity, and Albee." *SouthwestReview* 49.3 (1964): 249- 256.
- [15] Atak S (1982) *Flotasyon_İlkeleri ve Uygulaması*, _TÜ Maden Fakültesi Yayınları, Sayı 101, İstanbul.
- [16] Atak S ve Tolun R (1994) *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Flotasyon, ed. G.Önal&G.Atesok, Yurt MadenciliginiGelistirme Vakfı Yayını, s.207-295.
- [17] Wills B A (1997) *Mineral ProcessingTechnology*, Sixth Edition, Pregmon International Library, England, Chapter 7; s.440.
- [18] HACİFAZLIOĞLU, Hasan. "ALTERNATİF FLOTASYON YÖNTEMLERİNİN TANITILMASI."
- [19] Yoon R H (1993) Microbubbleflotation, *MineralsEngineering*, 6, 4, pp. 619-630.
- [20] Garibay R P, Gallegos P M, Uribe A S and Nava A (2002) Effect of collection height and operatingvariables on recovery of overloadflotationcolumns, *MineralsEngineering*, Vol.15, pp.325-331.
- [21] Lai R 2002. Cyclonicflotationcolumnformineralsbenefication, *Mining Engineering*, 54, No.3, March.
- [22] Güney A, Önal G ve Ergut Ö (2002). Benefication of finecoalbyusingthe free jet flotationssystem, *FuelProcessingTechnology*, Vol.15, pp.141-150.
- [23] Mohanty M K (2001) Inplantoptimization of a fullscaleJamesonflotation cell, *MineralsEngineering*, Vol.14, No.11, pp.1531-1536.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Elazığ’ da doğdu. İlköğretim ve orta öğretimi Elazığ’ da tamamladı. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği programından mezun oldu. Mezun olduğu yıl Elazığ Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğüne bağlı Koruma Uygulama ve Denetim Bürosunda (KUDEB) çalışmaya başladı. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisansa devam etmektedir.

