

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

**SULARIN HAVALANDIRILMASINDA YÜKSEK BASINÇLI
VE SERBEST YÜZEYLİ KONDUİTLERİN KULLANILMASI**

Mehmet ÜNSAL

Tez Yöneticisi

Yrd.Doç.Dr. Mehmet TUĞAL

Doç.Dr. Ahmet BAYLAR

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SULARIN HAVALANDIRILMASINDA YÜKSEK BASINÇLI
VE SERBEST YÜZEYLİ KONDUİTLERİN KULLANILMASI**

Mehmet ÜNSAL

DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, / / tarihinde, aşağıda belirtilen jüri üyeleri tarafından oybirliği ile başarılı/ başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL

Üye : Doç. Dr. Cevdet AKOSMAN

Üye : Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nizamettin HAMİDİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih YAZICIOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Tez ve bilimsel çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm tez danışmanlarım sayın Yrd. Doç Dr. Mehmet TUĞAL ve sayın Doç. Dr. Ahmet BAYLAR'a saygılarımı sunarım.

Ayrıca, tezle ilgili deneylerin ve diğer çalışmaların yapılmasında büyük emeği olan sayın Yrd. Doç. Dr. Fahri Özkan' a teşekkür eder saygılar sunarım.

Mehmet ÜNSAL

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	II
TABLolar LİSTESİ	III
SİMGELER LİSTESİ	IV
ÖZET	VII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. GAZ TRANSFERİ	8
3.1. Çift Film Teorisi	8
3.2. Oksijen Transfer Verimi	11
3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi	11
3.4. Çözünmüş Oksijen Doygunluk Konsantrasyonu	13
3.5. Havalandırma Verimine Etki Eden Parametreler	21
4. KAPAKLI KONDUİTLERDE HAVALANDIRMA VE İKİ FAZLI AKIM TİPLERİ	22
5. MATERYAL VE METOT	24
5.1. Materyal	24
5.2. Deney Düzenegi	24
5.3. Oksijenmetrenin Kullanılması	29
5.4. Deneyin Yapılışı	30
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	33
6.1. Yüksek Basıncılı Kapaklı Konduitlere Ait Sonuçlar	33
6.2. Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlere Ait Sonuçlar	43
6.3. Yüksek Basıncılı – Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlere Ait Ortak Sonuçlar	53
7. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dikey ve yatay borularda iki fazlı akım modelleri	2
Şekil 3.1. Gaz transferine ait çift film teorisinin grafiksel gösterilişi	9
Şekil 4.1. Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım	22
Şekil 4.2. Kapaklı konduit içerisindeki akış tiplerinin sınıflandırılması	23
Şekil 5.1. Yüksek basınçlı kapaklı konduit	24
Şekil 5.2. Serbest yüzeyli kapaklı konduit	25
Şekil 5.3. Yüksek basınçlı kapaklı konduite ait deney düzeneği	26
Şekil 5.4 Serbest yüzeyli kapaklı konduite ait deney düzeneği	26
Şekil 5.5. a-c Yüksek basınçlı kapaklı konduite ait fotoğraflar	28
Şekil 5.6. a-c Serbest yüzeyli kapaklı konduite ait fotoğraflar	29
Şekil 6.1. a-c Basınçlı Konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	36
Şekil 6.2. a-c Basınçlı Konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	38
Şekil 6.3. a-c Basınçlı Konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile E_{20} değişimi	40
Şekil 6.4. a-c Basınçlı Konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile E_{20} değişimi	42
Şekil 6.5.a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	46
Şekil 6.6.a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	48
Şekil 6.7. a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile E_{20} değişimi	50
Şekil 6.8. a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile E_{20} değişimi	52
Şekil 6.9. a-c Serbest yüzeyli-Yüksek basınçlı konduitte 1.6 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	54
Şekil 6.10. a-c Serbest yüzeyli-Yüksek basınçlı konduitte 3,2 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	56
Şekil 6.11. a-c Serbest yüzeyli-Yüksek basınçlı konduitte 4.8 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi	57
Şekil 6.12. a-c Serbest yüzeyli-Yüksek basınçlı konduitte 1.6 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile E_{20} değişimi	59
Şekil 6.13. a-c Serbest yüzeyli-Yüksek basınçlı konduitte 3.2 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile E_{20} değişimi	61
Şekil 6.14. a-c Serbest yüzeyli-Yüksek basınçlı konduitte 4.8 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile E_{20} değişimi	62
Şekil 6.15. Yüksek basınçlı kapaklı konduitte ölçülen ve hesaplanan değerlerin kıyaslanması	64
Şekil 6.16 Serbest yüzeyli kapaklı konduitte ölçülen ve hesaplanan değerlerin kıyaslanması	64

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Suda çok az çözünen gazlara ait Henry sabitleri	14
Tablo 3.2. Çeşitli gazların yayınma katsayıları	15
Tablo 3.3. Sıcaklığa bağlı olarak suyun buhar basıncı	15
Tablo 3.4. 760 mm Hg basıncında ve % 20.90 nispetinde oksijen ihtiva eden kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları (mg/L)	19
Tablo 3.5. Deniz seviyesinden yükseklerde çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun değişimi	20
Tablo 3.6. Deniz seviyesinde tuzluluğun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi	20
Tablo 5.1. Tuzluluğa karşı gelen % değeri	30
Tablo 5.2. Barometrik basınca karşı gelen % değeri	30
Tablo 6.1 Yüksek Basınçlı Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları	33
Tablo 6.2 Serbest Yüzeyle Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları	43

SİMGELER LİSTESİ

$\frac{dC}{dt}$	: konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s)
$\frac{A}{V}$	: Özgül ara kesit yüzeyi
$\frac{dm}{dt}$	: Kütleli hız (mg/s)
A	: Kütle transferi için kesit alanı (m ²)
a	: Su kalite parametresi (kaba olarak kirletilmiş sularda 0.65 ve temiz sularda 1.8)
a _w	: Su kalitesi faktörü (temiz su için 1.8)
b	: Savak tipine bağlı katsayı (kalın kenarlı savaklarda 0.6 ve ince kenarlı savaklarda 1.05)
b _w	: Havalandırma katsayısı (keskin kenarlı savaklar için 0.79-1.3)
B _u	: Çıkış tüneli genişliği (m)
C	: Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _d	: Standart şartlarda mansapta bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _{dl}	: Deney yapılan şartlarda mansapta ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _{ds}	: Klorür konsantrasyonu (g/L)
C _g	: Gazın gaz ortamdaki konsantrasyonu (mg/m ³)
C _g [*]	: Gazın gaz fazdaki denge veya doygunluk konsantrasyonu (mg/m ³)
C _L	: Gazın sıvı fazdaki konsantrasyonu (mg/m ³)
C _L [*]	: Gazın sıvı fazdaki denge veya doygunluk konsantrasyonu (mg/m ³)
C _{hl}	: % klor miktarı
C _o	: Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _s	: Gazın sıvı ortamdaki doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
C _s [*]	: Standart şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
C _{sl}	: Deney yapılan şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
C _d	: Mansaptaki suyun t dakika sonundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _u	: Standart şartlarda membada bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C _{ul}	: Deney yapılan şartlarda membada ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
D	: Savağın kreteninden düşme yüksekliği (m)
E	: Oksijen transfer verimi (deney şartlarındaki T °C de)
E ₁₅	: 15 °C deki oksijen transfer verimi
E ₂₀	: 20 °C'deki oksijen transfer verimi
EL	: Ölçüm yapılan bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği (m)

Fr	: Froude Sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H	: Henry sabiti
H_E	: Enerji yüksekliği (m)
H_m	: Mansap su derinliği (m)
h_d	: Suyun düşme yüksekliği (m)
h	: Konduit kapak açıklığı (m)
h_s	: Kapak altındaki su yüksekliği (m)
H_c	: Savak üzerindeki kritik su derinliği (m)
k_D	: Dağılım katsayısı
K_g	: Kütle transfer katsayısı
K_{La}	: Kütle transfer katsayısı
$K_{La_{20}}$	: 20 °C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) madde transfer katsayısı (1/saat)
K_{La_T}	: T °C deki madde transfer katsayısı (1/saat)
L	: Konduit uzunluğu (m)
M_a	: Gazın molekül ağırlığı (g/mol)
Q_a	: Giren hava debisi (m^3/sn)
O_R	: Standart şartlardaki oksijen transfer oranı ($\text{kg O}_2 / \text{saat}$)
P_A	: Atmosferik basınç (mm Hg)
P	: Gazın toplam basıncı (Pa)
P_g	: Gazın kısmi basıncı (atm)
P_w	: Buhar basıncı (Pa)
q	: Birim genişlikten geçen debi ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
q_a	: Boyutsuz hava debisi
Q	: Savak debisi (m^3/s)
Q_h	: Hava debisi (m^3/s)
Q_s	: Su debisi (m^3/s)
R	: Üniversal gaz sabiti (8.3145 J / K. mol)
Re	: Reynolds Sayısı
r	: Oksijen eksiklik oranı
r_{15}	: 15 °C'deki oksijen eksiklik oranı
r_{20}	: 20 °C deki oksijen eksiklik oranı
t_n	: Napın kalınlığı (m)
t	: Kütle transferinin meydana gelme süresi (s)
t_u ve t_d	: Kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği süreler (s)

T	: Su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
V_g	: Transfer olunan gaz hacmi (m^3)
v_0	: Havanın girmesi için ihtiyaç duyulan minimum hız (1.1 m/s)
V_w	: Akışkanın hızı (m/sn)
V_s	: Su hızı (m/sn)
x_g	: Çözülmüş gazın dengedeki mol oranı
α	: Bir katsayı (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$)
θ	: Üçgen labirent savaklarda tepe açısı (derece)
γ	: Suyun birim hacim ağırlığı (t/m^3)

ÖZET

Doktora Tezi

SULARIN HAVALANDIRILMASINDA YÜKSEK BASINÇLI VE SERBEST YÜZEYLİ KONDUİTLERİN KULLANILMASI

Mehmet ÜNSAL

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
2007, Sayfa: 71

Nehir ve akarsulardaki çözünmüş oksijen miktarı, hem suyun kalitesini gösteren bir özellik olarak hem de suda yaşayan canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gereken çok önemli bir kriterdir. Hidrolik yapılar, akarsu ile kısa bir süre için temasta olmalarına rağmen, bir nehir sistemindeki çözünmüş oksijen miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Bir nehirde doğal olarak birkaç kilometrede meydana gelebilecek oksijen transferi, tek bir hidrolik yapı ile hızlı bir şekilde meydana getirilebilir. Bu hızlandırılmış oksijen transferinin asıl sebebi, çok miktarda kabarcık meydana getiren akım içerisine oksijenin aktarılmasıdır. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut yüzey alanını önemli miktarda artırır.

Bu çalışmada kapaklı konduitlere hava girişi ve bunun oksijen transferine etkisi araştırılmıştır. 1.6-4.8 cm arasında değişen kapak açıklıkları, 2-4 m arasında değişen konduit uzunluğu, 15-18°C arasında değişen ortam sıcaklıklarına bağlı olarak deneyler yapılmıştır. Araştırma sonuçları yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin, suda çözünmüş oksijen değerini neredeyse doymuluk değeri derecesine çıkardığını göstermiştir. Serbest yüzeyli ve yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde Froude sayısı arttıkça Qh/Qs ve E_{20} değeri artmıştır. Froude sayısının 15'ten büyük değerlerinde oksijen transfer verimi maksimum doymuluğa ulaşmıştır. Kapak açıklığı ve konduit boyunun E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin

olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlardan faydalanılarak nonlineer analiz yapılarak formüller elde edilmiştir. Elde edilen formüller ile deney sonuçları birbirine uygun çıkmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Oksijen Transferi, Havalandırma, Çözünmüş Oksijen, Yüksek Basıncılı Kapaklı Konduit, Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduit

ABSTRACT

PhD Thesis

USING HIGH-HEAD AND FREE-SURFACE CONDUITS IN WATER AERATION

Mehmet ÜNSAL

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

2007, Page: 71

The amount of dissolved oxygen (DO) in the rivers and water streams is very important for the quality and existence of aquatic life. Hydraulic structures have an impact on the amount of dissolved oxygen in a river system, even though the water is in contact with the structure for only a short time. The same quantity of oxygen transfer that normally would occur over several kilometers in a river can occur at a single hydraulic structure. The primary reason for this accelerated oxygen transfer is that air is entrained into the flow, which produces a large number of bubbles. These air bubbles greatly increase the surface area available for mass transfer.

This study seeks the air entrainment of gated conduits and how they affect the oxygen transfer efficiency. Experiments have done for gate opening varying 1.6-4.8 cm, conduit length varying 2-6 m and temprature varying 15-18 °C. It was observed from the results that approximately full transfer up to the saturation value occurred at the high head and free surface gated conduits. The results indicated that Qh / Q_s and E_{20} increased as Froude number increased in free surface and high head gated conduits. At Froude numbers greater than 15, almost full oxygen transfer, up to the saturation value, occurred. It was observed that gate opening and conduit length did not have an important effect on E_{20} . Also a nonlinear analysis has done by using experimental

results and has found equations. There is a close relation between equations and experimental results.

KEY WORDS: Oxygen Transfer, Aeration, Dissolved Oxygen, High Head Gated Conduit, Free Surface Gated Conduit

1. GİRİŞ

Su kalitesini belirleyen önemli parametreler arasında olarak sıcaklık, pH değeri, elektriksel iletkenlik, suda bulunan katı maddeler, bulanıklık ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu bulunmaktadır [1]. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Fiziksel olarak oksijen transfer işlemi; oksijenin, atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılmasıdır ki buna havalandırma adı verilmektedir. Bu işlem de amaç gazların suya transfer edilmesi veya bu gazların sulardan uzaklaştırılmasıdır. Suların havalandırılması aşağıdaki durumlar için söz konusudur [2]:

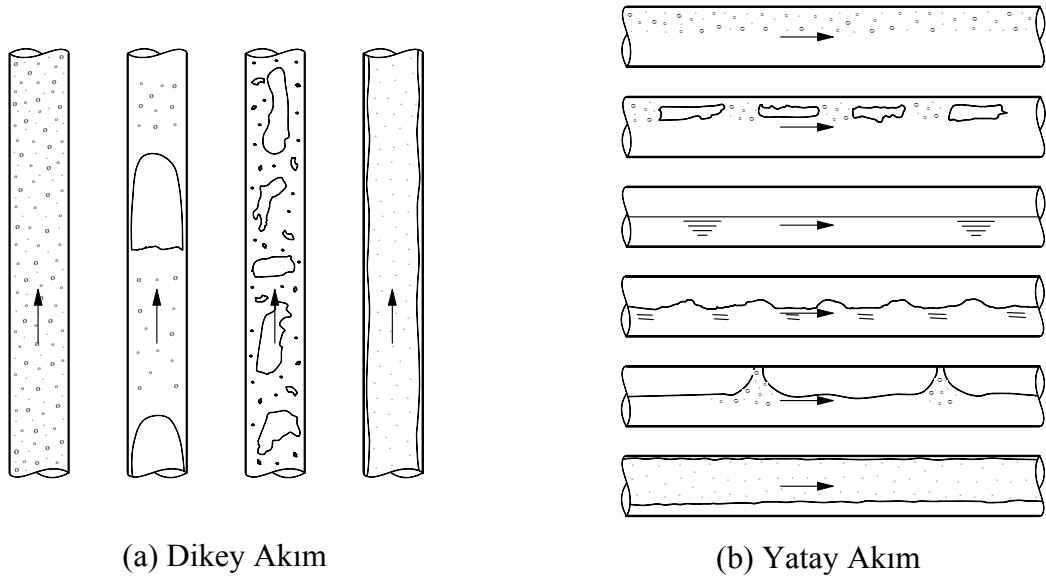
- **Oksijen kazandırmak:** Demir (Fe^{++}) veya Manganın (Mn^{++}) oksidasyonu veya Amonyumun (NH_4^+) giderilmesi, biyolojik tasfiye, nehir veya göllerde çözünmüş oksijen standartlarının karşılanabilmesi.
- **Karbondiyoksit gidermek veya kazandırmak:** Karbondiyoksitin (CO_2) bazen sudan giderilmesi bazen de suya verilmesi gereklidir. Sudaki bu karbondiyoksit dengesinin sağlanması için.
- **Metanın giderilmesi:** Anaerobik ayrışmanın ürünlerinden metan gazının sudan giderilmesi için.
- **Uçucu yağlar ve kimyasal maddelerin giderilmesi:** Bu maddeler suya kötü koku ve tat verdiklerinden ve sağlığa zararlı oldukları için.
- **Hidrojen sülfür gidermek:** Suda istenmeyen koku ve tadın giderilmesi, metallerin korozyonunun azaltılması ve çimentonun ayrışmasının önlenmesi için.

Günümüzde çeşitli nedenlerle akarsularda oluşan çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliğinin ekolojik dengeyi tehdit ettiği bilinmektedir. Bu doğrultuda ekolojik dengeyi korumak için akarsularda gerekli olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (5 mg/l) sağlanmalıdır [3]. Akarsular üzerinde inşa edilecek olan hidrolik yapılarla havalandırma yapılarak gerekli çözünmüş oksijen suya kazandırılabilir. İnce kenarlı veya kalın kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolusavaklar ve kapaklı dipsavak çıkış ağızları gibi hidrolik yapılar ile havalandırma kolay bir şekilde yapılabilir.

Oksijen transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması gerekmektedir. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut olan yüzey alanını artırır. Hidrolik yapılar ile bir düşü yüksekliği kazandırılmış suyun, mansap tarafındaki

su yüzeyine çarptırılması sonucu atmosferden emilen hava, su içerisine aktarılır. Böylece suya hızlı bir şekilde oksijen kazanımı sağlanmış olur.

Hidrolik yapılarla yapılan havalandırmadan farklı havalandırma yöntemlerinde, su ve basınçlı hava pompalamak için kullanılacak elektrik enerjisi, işletme maliyetini attıracağından hidrolik yapılar ile havalandırmanın daha ekonomik olduğu söylenebilir. Birçok akarsuda doğal ortamda oksijen transferi için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu akarsular üzerinde yapılacak olan bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok kısa bir mesafede ve düşük bir maliyet ile sağlanabilir. Yüksek basınçlı borular içerisine değişik metotlarla atmosferden hava alınmak suretiyle iki fazlı akım sistemleri elde edilir [4] (Şekil 1.1). Bu sistemler içerisine transfer edilen hava kabarcıklarının boyutları ne kadar küçük boyutlarda olursa oksijen transferi için gerekli olan yüzey alanı da o kadar artar. Yüzey alanının artmasından dolayı oksijen transferi de artar. Ayrıca boru içerisindeki yüksek basınç ta oksijen transferini kolaylaştırır.



Şekil 1.1 Dikey ve yatay borularda iki fazlı akım modelleri

Bu çalışmada; su mühendisliğinde geniş uygulama alanına sahip olan ve havalandırma işlemi konusunda mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olarak gösterilen kapaklı konduitler incelenmiştir. Yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli olmak üzere iki tip kapaklı konduit kullanılmıştır. Her iki tip için de öncelikle havalandırma ardından da oksijen transfer verimleri tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Konu ile ilgili daha önce yapılmış literatür çalışmaları ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Gameson [5] ve Gameson ve diğ. [6], akarsular üzerinde inşa edilen savaklar için;

$$E_{20} = 1 - [1 + 0.693a_w b_w h_d]^{-1} \quad (1)$$

denklemini önermektedirler. Burada; E_{20} = 20 °C'deki oksijen transfer verimi, a_w = su kalitesi faktörü (temiz su için 1.8), b_w = havalandırma katsayısı (ince kenarlı savaklar için 0.79-1.3) ve h_d = suyun düşme yüksekliğidir (m).

- Avery ve Novak [7], savak ve kaskatlar için;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0.24 \times 10^{-4} Fr^{1.78} Re^{0.53}} \right)^{1.115} \quad (2)$$

denklemini önermişlerdir. Burada; Fr = Froude sayısı ve Re = Reynolds sayısıdır.

- The U.K. Water Research Laboratory (WRL) [8], Gameson'un denklemini düzenleyerek aşağıdaki gibi bir denklem önermiştir.

$$E_{20} = 1 - [1 + 0.073a_w b_w h_d (1 - 0.011h_d)]^{-1} \quad (3)$$

- Thene [9], Avery ve Novak [7]'nin geliştirdikleri denklemde mansap su yüksekliğini de dikkate alarak;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0.32 \times 10^{-5} Fr^{2.08} Re^{0.63} \left(1 - 0.6 \exp\left(-3.7 \frac{H_m}{h_d}\right) \right)} \right)^{1.115} \quad (4)$$

denklemini önermektedir. Burada; H_m = mansap su derinliğidir (m).

- Holler [10], radyal kapaklı savaklar için;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0.213h_d} \right) \quad (5)$$

denklemini önermektedir.

- Markofsky ve Kobus [11], savaklarda Reynolds Sayısı 5×10^5 den büyük akımlar için;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0.1Fr^{1.2}} \right)^{1.115} \quad (6)$$

denkleminin kullanılmasının uygun olduğunu belirtmektedirler.

- Nakasone [12], savaklarda farklı akım rejimlerini tarif etmek için aşağıdaki denklemleri önermektedir.

$$(D + 1.5H_c) \leq 1.2mveq \leq 0.65m^3 / s / m \text{ için}; E_{20} = 1 - \exp(-2.61(D + H_c)^{1.31} q^{0.428} H_m^{0.310}) \quad (7a)$$

$$(D + 1.5H_c) > 1.2mveq \leq 0.65m^3 / s / m \text{ için}; E_{20} = 1 - \exp(-2.86(D + H_c)^{0.816} q^{0.428} H_m^{0.310}) \quad (7b)$$

$$(D + 1.5H_c) < 1.2mveq > 0.65m^3 / s / m \text{ için}; E_{20} = 1 - \exp(-0.28(D + H_c)^{0.31} q^{-0.363} H_m^{0.310}) \quad (7c)$$

$$(D + 1.5H_c) > 1.2mveq > 0.65m^3 / s / m \text{ için}; E_{20} = 1 - \exp(-0.30(D + H_c)^{0.816} q^{-0.363} H_m^{0.310}) \quad (7d)$$

Burada; D = savağın kretinden suyun düşme yüksekliği (m), H_c = savak üzerindeki kritik su derinliği (m) ve q = birim genişlikten geçen debidir ($m^3/s.m$).

- Preul ve Holler [13], üzerinde kapak bulunan eşikler için;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 666Fr^{-3.33}} \right) \quad (8)$$

denklemini önermektedirler.

- Rindels ve Gulliver [14], yuvarlatılmış (Ogee profilli) kretler için;

$$E_{20} = 1 - \exp\left(\frac{0.26h_d}{1 + 0.22q} - 0.20H_m\right) \quad (9)$$

denklemini önermektedirler.

- Thene [15], savaklar için Ervine ve Elsayy [16] ve Elsayy ve McKeogh [17]'nin hava girişi ile ilgili buldukları denklemlerden faydalanarak;

$$E_{20} = 1 - \exp\left(-0.16F^{2.69} \frac{t_n^2}{q} \left(1 - \frac{v_0}{\sqrt{2gh_d}}\right)^{-1}\right) \quad (10)$$

denklemini önermiştir. Burada; t_n = napın kalınlığı (m), v_0 = havanın suya aktarılması için ihtiyaç duyulan minimum hız (1.1 m/s) ve g = yerçekimi ivmesidir (m/s^2).

- Tsivoglou ve Wallace [18], akarsular ve hidrolik yapılar için;

$$E_{20} = 1 - \exp(-0.18h_d) \quad (11)$$

denklemini önermektedirler.

- Foree [19], küçük su yapılarında hava girişinin dikkate alınması için Tsivoglou ve Wallace [18]'in denklemini aşağıdaki şekilde düzenlemiştir.

$$E_{20} = 1 - \exp(-0.48h_d) \quad (12)$$

- Wilhelms ve Smith [20], kapaklı dipsavak için Tsivoglou ve Wallace [18]'in denkleminde faydalanarak;

$$E_{20} = 1 - \exp(-0.14h_d) \quad (13)$$

denklemini önermektedirler.

- Wilhelms [21], üzerinde kapak bulunan eşikler için;

$$E_{20} = 1 - \exp(-0.0086(h_d q / s) - 0.19) \quad (14)$$

denklemini önermiştir. Burada; s = kapağın batma yüksekliğidir (m).

- Wormleaton ve Soufiani [22], Avery ve Novak [7]'in denklemine benzeştirerek üçgen labirent savaklar için;

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.48 h_d^{1.35} Q^{-0.131} \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{-0.342} \right)^{-1} \quad (15)$$

denklemini önermektedirler. Burada; Q = savak debisi (m³/s) ve θ = üçgen labirent savaklarda tepe açısıdır (derece).

- Wormleaton ve Soufiani [22], üçgen labirent savaklarda büyük oksijen transfer verimlerinin hesaplanmasında ($E_{20} > 0.55$);

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.86 h_d Q^{((0.195 \cos \theta + 0.335) h_d - 0.522)} \right)^{-1} \quad (16)$$

denkleminin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

- Watson ve diğ. [23], küçük düşü yüksekliğine sahip ve üst yüzeyi taşlarla pürüzlendirilmiş savaklar için;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.00107(H_m/h_d)^{0.70} Re^{0.32} Fr^{2.0})^{-1} \quad (17)$$

denklemini önermişlerdir.

- Sharma [24], yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde hava girişi üzerine bir dizi çalışma yapmıştır. Yaptığı bu çalışmada hava girişi için deliğin altındaki su yüksekliğini baz alarak buradaki Froude sayısına bağlı olduğunu belirtmiştir.
- Stahl ve Hager [25], dairesel borularda hidrolik sıçrama üzerine bir dizi çalışmada bulunmuşlardır.
- Speerli [26], serbest yüzeyli tünel akımlarında hava girişi için aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$q_a = Q_a / (g B_u^2 H_E^3)^{0.5} \quad (18)$$

Burada; q_a = boyutsuz hava debisi, Q_a = giren hava debisi (m^3/sn), g = yerçekimi ivmesi (m/s^2), B_u = çıkış tüneli genişliği (m) ve H_E = enerji yüksekliği (m).

- Butts ve Evans [27], 54 adet küçük baraj üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucu;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.73a b h_d (1 - 0.11h_d))^{-1} \quad (19)$$

denklemini geliştirmişlerdir. Burada; a = su kalite parametresi (kaba olarak kirletilmiş sularda 0.65 ve temiz sularda 1.8) ve b = Savak tipine bağlı katsayıdır (kalın kenarlı savaklarda 0.6 ve ince kenarlı savaklarda 1.05).

- Wormleaton ve Tsang [28], dikdörtgen labirent savaklarda oksijen transfer verimlerinin hesaplanmasında;

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.138 h_d^{1.059} q_w^{-0.096} \right)^{-1} \quad (20)$$

denklemini önermişlerdir. Burada; q = birim debidir (m^2/s).

- Son yıllarda Özkan ve diğ. [29], Özkan ve diğ. [30], Baylar ve Özkan [31], Baylar ve diğ. [32] ve Bağatur [33] havalandırma ve oksijen transferi üzerine çeşitli çalışmalarda bulunmuşlardır.

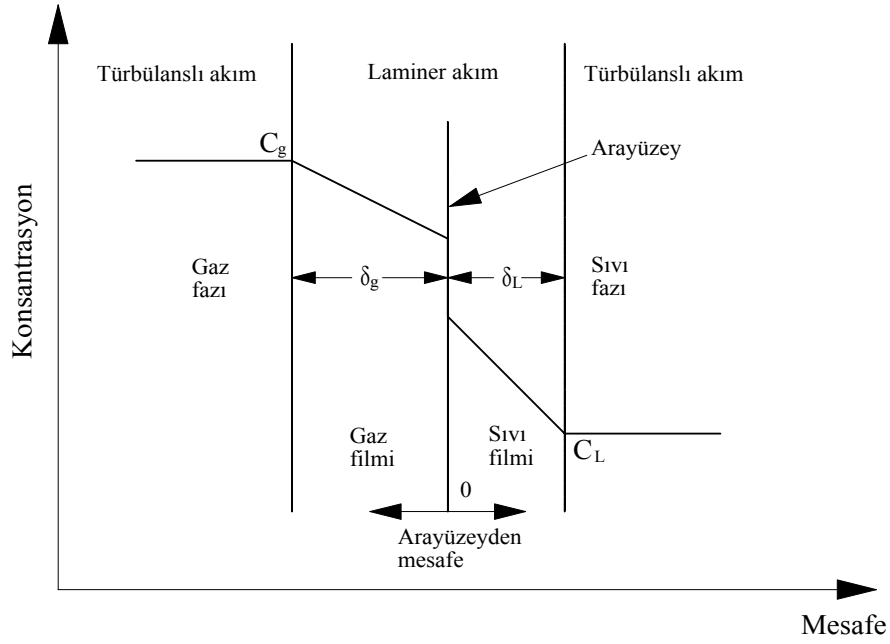
3. GAZ TRANSFERİ

Sularda gaz transferi; suya klor, çözülmüş oksijen vb. gazları vermek veya CO_2 , H_2S gibi gazları sulardan uzaklaştırmak amacıyla yapılır. Bir gazın sudaki çözünürlüğü, gazın cinsine, suyun sıcaklığına ve sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Eğer bir sıvı ortam bir gaz veya gaz karışımlarıyla temas halinde ise gaz molekülleri, gaz ortamdan sıvıya veya sıvıdan gaz ortamına transfer olurlar. Bu durum gaz ile sıvı arasında bir denge hali meydana gelinceye kadar devam eder. Denge durumunda sıvı içindeki gaz konsantrasyonu doymuş durumdadır.

Gaz transferinin mekanizmasını izah için çift film teorisi, penetrasyon teorisi ve yüzey yenilenme teorisi gibi teoriler geliştirilmiştir [34].

3.1. Çift Film Teorisi

Bu teoriye göre gaz-sıvı ara yüzeyinde Şekil 3.1’de görüldüğü gibi iki tabaka mevcuttur. Bunların dışında sıvı ve gaz fazları yer alır. Bu ince tabakalar, gaz moleküllerinin, gaz ve sıvı fazları arasındaki hareketine karşı direnç gösterirler. Gaz moleküllerinin gaz fazından sıvı fazına geçmesinde, sıvıda çözünürlüğü az olan gazlar esas direnci sıvı tabakasından, çözünürlüğü çok olan gazlar ise esas direnci gaz filminden görürler. Sıvı içinde çözünürlüğü orta şiddette olan gazlar ise her iki tabakada da önemli ölçüde geçiş direnci ile karşılaşılır.



Şekil 3.1. Gaz transferine ait çift film teorisinin grafiksel gösterilişi

Suların havalandırılmasında karşılaşılan sistemlerde genel olarak suda az çözünen gazlar söz konusu olup gaz transfer hızı, gazın denge halindeki konsantrasyonu ve mevcut konsantrasyonu arasındaki farkla orantılıdır. Bu tür sistemler için gaz transfer hızı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_g - C_g^*) = K_L A (C_L^* - C_L) \quad (21)$$

Burada; $\frac{dm}{dt}$ = kütesel hız (mg/s), K_g = gaz faz kütle transfer katsayısı (m/s), K_L = sıvı faz kütle transfer katsayısı (m/s), A = kütle transferi için kesit alanı (m^2), C_g = gazın gaz fazdaki konsantrasyonu (mg/m^3), C_g^* = gazın gaz fazdaki denge veya doymuluk konsantrasyonu (mg/m^3), C_L = gazın sıvı fazdaki konsantrasyonu (mg/m^3) ve C_L^* = gazın sıvı fazdaki denge veya doymuluk konsantrasyonunu (mg/m^3) göstermektedir.

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

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} \quad (22)$$

Burada; V = sistemin toplam hacmi (m^3). Bu ifade (21) nolu denklemde yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_g - C_g^*) = K_L A (C_L^* - C_L) \quad (23)$$

elde edilir. Suların havalandırılması işlemlerinde gaz transferine esas direnç sıvı tarafı filmi içerisindedir. Bu nedenle $\frac{A}{V}$ yerine özgül ara kesit yüzeyini gösteren "a" ve K_L 'nin birleştirilmesiyle ise sıvı film katsayısını gösteren " $K_L a$ " kütle transfer katsayısı kullanılır. Böylece C_L^* yerine C_s ve C_L yerinede C kullanılarak (23) nolu denklem,

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (24)$$

şeklinde yazılır. Burada; $\frac{dC}{dt}$ = konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s), $K_L a$ = kütle transfer katsayısı (1/s), C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. $K_L a$ zamanın fonksiyonu olup (24) nolu denklemin hidrolik yapının membaındaki bir noktadan mansaba doğru integre edilmesinden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a dt \right] \quad (25)$$

Burada; C_u ve C_d = sırasıyla memba ve mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), r = oksijen eksiklik oranı ve t_u ile t_d = sırasıyla kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği sürelerdir (s). C_u ile C_d deneysel olarak ölçülür ve C_s ise literatürdeki denklemler veya tablolar yardımıyla bulunur [34].

3.2. Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun doymuluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneği olarak tanımlanır. (25) nolu denklem oksijen transfer verimi olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir [5].

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} = 1 - \frac{1}{r} \quad (26)$$

Burada; E = oksijen transfer verimidir. E = 0 değeri yapıda oksijen transferinin olmadığını ve E = 1 değeri mansap suyunun doymuluğa ulaştığını gösterir. E > 1 değerleri ise mansap suyunun aşırı doymuluğa sahip olduğunu ifade eder ($C_d > C_s$).

15 °C'deki oksijen eksiklik oranını (r_{15}) kullanarak 20 °C'deki oksijen transfer verimini (E_{20}) ifade edebilmek için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$E_{20} = 1 - \frac{1}{r_{15}^{1.115}} \quad (27)$$

3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi

Gameson ve diğ. [5], küçük bir savak modeli üzerinde deneysel çalışmalar yürüterek oksijen transferinin su sıcaklığı ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalara göre aşağıdaki ampirik denklemleri geliştirmişlerdir.

15 °C referans sıcaklıkta;

$$\ln(1 - E_{15}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.018(T - 15)} \quad (28)$$

ve 20 °C sıcaklıkta;

$$\ln(1 - E_{20}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.0165(T - 20)} \quad (29)$$

Burada; E_{15} ve E_{20} = sırasıyla 15 °C ve 20 °C deki oksijen transfer verimlerini, $E = T$ °C deki oksijen transfer verimini ve T = su sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Holler [6] oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini tanımlamak için aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$\ln(1 - E) = \ln(1 - E_{20})\alpha^{(T-20)} \quad (30)$$

Burada; α = bir katsayıdır (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$). Bu denklemin hidrolik yapılar için uygun olmadığı ve Gameson ve diğ. [6] tarafından geliştirilen denklem kadar iyi sonuçlar vermediği anlaşılmıştır [35].

Tebbutt ve diğ. [36], kaskat dolusavaklar üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$\frac{(r - 1)}{(r_{20} - 1)} = \frac{E(1 - E_{20})}{E_{20}(1 - E)} = (1 + 0.0335(T - 20)) \quad (31)$$

Burada; $r = T$ °C deki oksijen eksiklik oranı ve $r_{20} = 20$ °C deki oksijen eksiklik oranıdır.

Gulliver ve Rindels [35], oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini (32) nolu denklem ile ifade etmişlerdir.

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/f} \quad (32)$$

veya

$$E_{20} = 1 - (1 - E)^{1/f} \quad (33)$$

şeklinde yazılabilir. Burada " f " değeri aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T-20)^2 \quad (34)$$

(32) nolu denklemde, 0°C - 40°C arasındaki sıcaklıklarda % 0.03 gibi oldukça küçük bir maksimum hata meydana geldiğinden kullanılması önerilmektedir.

3.4. Çözünmüş Oksijen Doygunluk Konsantrasyonu

Gazların sudaki çözünürlüğü (reaksiyonsuz ortamda) Henry Kanunu ile ifade edilmektedir. Atmosferdeki oksijen, azot ve nadir gazlar bu sınıfa girmektedir. Metan ve hidrojen gazları da bu bakımdan inert olup Henry Kanunu'na uymaktadır. Diğer taraftan karbondioksit, karbonik asit meydana getirmek üzere %1 nispetinde su ile reaksiyona girmektedir.

Gaz karışımlarına ait Dalton Kanunu'na göre; bir gazın karışım içindeki basıncı, bu gazın karışım içindeki hacimsel oranı ile gaz karışımının toplam basıncı çarpımına eşittir. Buna gazın kısmi basıncı denir. Mesela, deniz seviyesinde su buharı ihtiva etmeyen havanın hacmen %79 azot, %21 oksijenden meydana geldiği kabul edilir ve hava basıncı 1 atmosfer (atm) alınırsa, oksijenin kısmi basıncı 0.21atm olur.

Diğer taraftan, deniz seviyesinde 760 mm Hg (civa yüksekliği) basıncı altında bulunan 0 °C deki havanın su ile temas halinde olduğu kabul edilirse, bu hava su buharına doymuş olacaktır. Suyun 0 °C deki buhar basıncı 4.58 mm Hg olduğundan, oksijenin kısmi basıncı $0.21(760-4.58) = 158$ mm Hg olarak bulunur.

Sıvı içinde çözünen bir gazın doymuşluk halindeki konsantrasyonu, sıvı ile temasta olan gazın kısmi basıncının bir fonksiyonudur. Bu ilişki Henry Kanunu ile ifade edilmektedir.

$$P_g = H x_g \quad (40)$$

Burada; P_g = gazın kısmi basıncı (atm), H = Henry sabiti ve x_g = çözünmüş gazın dengedeki mol kesridir.

$$x_g = \frac{\text{mol gaz } (n_g)}{\text{mol gaz } (n_g) + \text{mol su } (n_{su})} \quad (41)$$

Henry sabiti (H); gazın cinsine, sıcaklığına ve içindeki bileşenlere bağlıdır. Çeşitli gazlar için H 'nin değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Suda çok az çözünen bazı gazlara ait Henry sabitleri [37]

Hx 10 ⁻⁴ , atm/mol oranı								
T (°C)	Hava	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄	N ₂	O ₂
0	4.32	0.0728	3.52	5.79	0.0268	2.24	5.29	2.55
10	5.49	0.104	4.42	6.36	0.0367	2.97	6.68	3.27
20	6.64	0.142	5.36	6.83	0.0483	3.76	8.04	4.01
30	7.71	0.186	6.20	7.29	0.0609	4.49	9.24	4.75
40	8.70	0.233	6.96	7.51	0.0745	5.20	10.4	5.35
50	9.46	0.283	7.61	7.65	0.0884	5.77	11.3	5.88
60	10.1	0.341	8.21	7.65	0.103	6.26	12.0	6.29

Diğer taraftan bir gazın sıvı içindeki doygunluk konsantrasyonu; gazın, gaz ortamındaki konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Bu matematiksel olarak,

$$C_s = k_D \cdot C_g \quad (42)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; C_s = gazın sıvı ortamdaki doygunluk konsantrasyonu (mg/L), C_g = gazın gaz ortamdaki konsantrasyonu (mg/L) ve k_D = dağılım katsayısıdır. Dağılım katsayısı k_D gazın ve sıvının cinsine, sıcaklığına bağlı olarak değişir. Çeşitli gazlara ait dağılım katsayıları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Bir gazın gaz ortamındaki konsantrasyonu; gazın kısmi basıncı, molekül ağırlığı ve sıcaklığa bağlı olduğundan doygunluk konsantrasyonu,

$$C_s = k_D \frac{f \cdot (P - P_w)}{R \cdot T} M_a \quad (43)$$

denkleminde ifade edilmektedir. Burada; f = kuru havada gazın hacim yüzdesi, P = gazın toplam basıncı (Pa), P_w = sıvının buhar basıncı (Pa), M_a = çözünen gazın molekül ağırlığı (g/mol), R = universal gaz sabiti (8.3145 J / K. mol) ve T = mutlak sıcaklıktır (°K).

P_w sıvının buhar basıncı, sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Buna ait değerler Tablo 3.3.'de verilmektedir. Kuru havada ve deniz seviyesinde bir gazın havadaki hacim yüzdeleri ise; azot % 78.084, oksijen % 20.948, argon % 0.934, karbondioksit % 0.032 ve diğer gazlar ise % 0.002 olup, basit işlemler için havanın % 79'unun azot ve % 21'inin oksijenden ibaret olduğu kabul edilmektedir.

Tablo 3.2. Çeşitli gazların hava-su sisteminde dağılım katsayıları [1]

Parametre	Mol. Ağ.	Yoğunluk (0°C ve 101.3 k Pa)	Dağılım Katsayısı, k_D				Kaynama Noktası
	g/mol	kg/m ³	0°C	10°C	20°C	30°C	°C
Hidrojen (H ₂)	2.016	0.08988	0.0214	0.0203	0.0195	0.0189	-253
Metan (CH ₄)	16.014	0.7168	0.0556	0.0433	0.0335	0.0306	-162
Azot (N ₂)	28.01	1.251	0.0230	0.0192	0.0166	0.0151	-196
Oksijen (O ₂)	32.00	1.429	0.0493	0.0398	0.0337	0.0296	-183
Amonyak (NH ₃)	17.03	0.771	1.300	0.943	0.763	-	-33.4
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	34.08	1.539	4.690	3.65	2.87	-	-61.8
Karbondiyoksit (CO ₂)	44.01	1.977	1.710	1.23	0.942	0.738	-78.5
Ozon (O ₃)	48.00	2.144	0.641	0.539	0.395	0.259	-112
Hava	-	1.2928	0.0288	0.0234	0.0200	0.0179	-

Tablo 3.3. Sıcaklığa bağlı olarak suyun buhar basıncı [1]

Sıcaklık	Buhar Basıncı	Sıcaklık	Buhar Basıncı	Sıcaklık	Buhar Basıncı
°C	mm Hg	°C	mm Hg	°C	mm Hg
-10	2.15	3	5.68	17	14.53
-9	2.32	4	6.10	18	15.46
-8	2.51	5	6.54	19	16.46
-7	2.71	6	7.01	20	17.53
-6	2.93	7	7.51	21	18.65
-5	3.16	8	8.04	22	19.82
-4	3.41	9	8.61	23	21.05
-3	3.67	10	9.20	24	22.37
-2	3.97	11	9.84	25	23.75
-1	4.36	12	10.52	26	25.31
-0	4.58	13	11.23	27	26.74
0	4.58	14	11.98	28	28.32
1	4.92	15	12.78	29	30.03
2	5.29	16	13.63	30	31.82

Çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (C_s), önemli bir su kalitesi parametresidir. Çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun doğru olarak tayin edilmesi, oksijen eksiklik oranının (r) belirlenmesinde dolayısıyla su kirlilik kontrolü çalışmalarında oldukça önemlidir [38].

Araştırmacılar, çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunu doğru olarak belirlemek için birçok incelemeler yapmışlardır. 1955'den beri çözünmüş oksijen değerini hesaplamak için birçok metot geliştirilmiştir. Bu metotlardan aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

Gameson ve Robertson [39] tarafından geliştirilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$C_s = \frac{475 - 2.65C_{ds}}{33.5 + T} \quad (44)$$

Bu denklem ilk zamanlarda çok yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Burada; C_{ds} = klorür konsantrasyonu (g/L) ve T = sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$). Denklem 0°C - 50°C sıcaklıklar arasındaki deniz suyu ve temiz sular için kullanılabilir. Ancak, bu denklemin hesaplama hatası oldukça yüksektir. Denklemin ortalama relatif hatası % 4'ten büyüktür. Deneysel olarak bulunan ve denklem ile hesaplanan değerler arasındaki maksimum sapma 1.19 mg/L ye ulaşabilmektedir. Birçok durumda bu sapma kabul edilemeyecek mertebededir.

1960'da Committee on Sanitary Engineering Research of the Sanitary Engineering Division (American Society of Civil Engineers) doğal akarsu sıcaklığı seviyeleri için daha doğru doygunluk değerlerini saptamak amacıyla bir çalışma yürütmüş ve aşağıdaki denklemi geliştirmişlerdir.

$$C_s = 14.652 - 0.41022 T + 0.0079910 T^2 - 0.000077774 T^3 \quad (45)$$

Burada; T = sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$). Bu denklem $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 30^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklar için kullanılabilir. Gameson'un [5] denkleminden daha iyi sonuçlar vermektedir. Ortalama relatif hata % 0.56 ve ortalama mutlak hata 0.05 mg/L dir. Bu denklemin dezavantajı, 0°C - 30°C arasında sınırlandırılması ve sadece sıfır çözünmüş klorür konsantrasyonu için kullanılabilmesidir.

Yukarıdaki denklemde belirtilen dezavantajlar dikkate alındığında, Benson ve Krause [40] tarafından geliştirilen (46) nolu denklemin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [41] ve [42].

$$\ln(C_s) = -139.34411 + \left(\frac{1.575701 \times 10^5}{T} \right) - \left(\frac{6.642308 \times 10^7}{T^2} \right) + \left(\frac{1.243800 \times 10^{10}}{T^3} \right) - \left(\frac{8.621949 \times 10^{11}}{T^4} \right) - (C_{hl}) \left[0.031929 - \left(\frac{19.428}{T} \right) + \left(\frac{3.8673 \times 10^3}{T^2} \right) \right] \quad (46)$$

Burada; T = su sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$) ve C_{hl} = ‰ klor miktarını göstermektedir.

Hua [43], Standard Methods [44] değerlerine göre çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunu aşağıdaki denklem ile ifade etmektedir.

$$\ln C_s = 237.30587 - \left(\frac{12349.519}{T} \right) - (1.45715916T) + (3.762842 \times 10^{-3} T^2) - (3.5396541 \times 10^{-6} T^3) - C_{ds} \left[0.015775 - \left(\frac{5.723}{T} \right) + \left(\frac{3.631637 \times 10^5}{T^3} \right) \right] \quad (47)$$

Hua [43] hesaplamaları kolaylaştırmak için T^2 ve T^3 terimlerini denklemden çıkarmış ve sıcaklığı $T = T (^{\circ}\text{C}) + 273$ olarak aşağıdaki yeni denklemi geliştirmiştir.

$$C_s = \exp[-17.015355 + 0.0226297T + (3689.38/T) + (0.01166 - (6.544/T))C_{ds}] \quad (48)$$

Burada; T = su sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$) olup bu denklem 0°C - 50°C deki deniz suyu ve temiz su için kullanılabilir. Bu denklemdeki ortalama relatif hata yalnızca % 0.31 ve ortalama mutlak hata 0.03 mg/L dir.

Oksijen transfer ölçümlerinin yapıldığı bölgelerde atmosfer basıncı (mm Hg) ve ortalama nisbi neme (%) bağlı olarak oksijen transferi değişmektedir. Yani, deniz kıyısından yükseklerle çıkıldıkça, havalandırıcıların havalandırma kapasiteleri düşmektedir. Bu nedenle C_s , C_u ve C_d değerleri aşağıdaki denklemler ile ortam şartlarına göre düzenlenebilir.

$$C_{s1} = C_s \frac{P - P_w}{760} \quad (49a)$$

$$C_{u1} = C_u \frac{P - P_w}{760} \quad (49b)$$

$$C_{d1} = C_d \frac{P - P_w}{760} \quad (49c)$$

Burada; P = atmosferik basınç (mm Hg), P_w = su buharı kısmi basıncı (tablolardan alınabilir) (mm Hg), C_{s1} = deney şartlarında çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L), C_s = standart şartlarda çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L), C_{u1} = deney şartlarında membada ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), C_u = standart şartlarda membada bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), C_{d1} = deney şartlarında mansapta ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L) ve C_d = standart şartlarda mansapta bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonudur (mg/L).

Eğer çözünmüş oksijen konsantrasyonu ölçümü yapılan bölgede atmosferik basınç bilinmiyorsa, bölgenin deniz seviyesinden yüksekliğine (rakım) bağlı olarak aşağıdaki denklemler kullanılabilir [45].

$$C_{s1} = C_s \left[1 - \frac{(0.0065EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (50a)$$

$$C_{u1} = C_u \left[1 - \frac{(0.0065EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (50b)$$

$$C_{d1} = C_d \left[1 - \frac{(0.0065EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (50c)$$

Burada; EL = ölçüm yapılan bölgenin deniz seviyesinden yüksekliğidir (m).

Eğer atmosferik basınç, buhar basıncı ve sıcaklık birlikte dikkate alınıyorsa, çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu aşağıdaki denklem ile bulunabilir.

$$C_s = \frac{(510.2 - 0.45T)(P - P_w)}{T + 35} \quad (51)$$

Burada; T = su sıcaklığı (°C), P = atmosferik basınç (bar) ve P_w = su buharı kısmi basıncıdır (bar).

Yukarıda verilen denklemlerden başka çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu; sıcaklığa ve klorür konsantrasyonuna bağlı olarak hazırlanmış tablolardan alınabilir (Tablo 3.4.).

Tablo 3.4. 760 mm Hg basıncında ve % 20.90 nispetinde oksijen ihtiva eden kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları (mg/L) [46]

Sıcaklık (°C)	Klorür Konsantrasyonu (mg/L)				
	0	5000	10000	15000	20000
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.98
11	11.08	10.49	9.92	9.35	8.80
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84
18	9.54	9.07	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.42	7.99	7.57	7.14
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.74
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13

Yükseklere çıkıldıkça çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu azalmaktadır. Aşağıdaki tabloda deniz seviyesinden (760 mm Hg) yükseklerdeki çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları verilmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Deniz seviyesinden yükseklerde Ç.O. doygunluk konsantrasyonunun değişimi [34]

°C	Deniz Seviyesinin Üzerindeki Yükseklikler (m)							°F
	0	300	600	900	1200	1500	1800	
0	14.6	14.1	13.6	13.2	12.7	12.3	11.8	32.0
2	13.8	13.3	12.9	12.4	12.0	11.6	11.2	35.6
4	13.1	12.7	12.2	11.9	11.4	11.0	10.6	39.2
6	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.1	42.8
8	11.8	11.4	11.0	10.6	10.3	9.9	9.6	46.4
10	11.3	10.9	10.5	10.2	9.8	9.5	9.2	50.0
12	10.8	10.4	10.1	9.7	9.4	9.1	8.8	53.6
14	10.3	9.9	9.6	9.3	9.0	8.7	8.3	57.2
16	9.9	9.7	9.2	8.9	8.6	8.3	8.0	60.8
18	9.5	9.2	8.7	8.6	8.3	8.0	7.7	64.4
20	9.1	8.8	8.5	8.2	7.9	7.7	7.4	68.0
22	8.7	8.4	8.1	7.8	7.7	7.3	7.1	71.6
24	8.4	8.1	7.8	7.5	7.3	7.1	6.8	75.2
26	8.1	7.8	7.5	7.3	7.0	6.8	6.6	78.8
28	7.8	7.5	7.3	7.0	6.8	6.6	6.3	82.4
30	7.5	7.2	7.0	6.8	6.5	6.3	6.1	86.0
32	7.3	7.1	6.8	6.6	6.4	6.1	5.9	89.6
34	7.1	6.9	6.6	6.4	6.2	6.0	5.8	93.2
36	6.8	6.6	6.3	6.1	5.9	5.7	5.5	96.8
38	6.6	6.4	6.2	5.9	5.7	5.6	5.4	100.4
40	6.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.4	5.2	104.4

Suyun tuzluluğu, çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunu etkileyen parametrelerden biridir. Su tuzluluğunun (g/L) artışına bağlı olarak çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu düşecektir. Aşağıdaki tabloda deniz seviyesinde tuzluluğa bağlı olarak değişim verilmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. Deniz seviyesinde tuzluluğun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi [34]

°C	Deniz Seviyesinde Tuzluluk (g/L)					°F
	0	10	20	30	35	
10	11.3	10.6	9.9	9.3	9.0	50.0
12	10.8	10.1	9.5	8.9	8.6	53.6
14	10.3	9.7	9.1	8.6	8.3	57.2
16	9.9	9.3	8.7	8.2	8.0	60.8
18	9.5	8.9	8.4	7.9	7.6	64.4
20	9.1	8.5	8.0	7.6	7.4	68.0
22	8.7	8.2	7.8	7.3	7.1	71.6
24	8.4	7.9	7.5	7.1	6.9	75.2
26	8.1	7.6	7.2	6.8	6.6	78.8
28	7.8	7.4	7.0	6.6	6.4	82.4

3.5. Havalandırma Verimine Etki Eden Parametreler

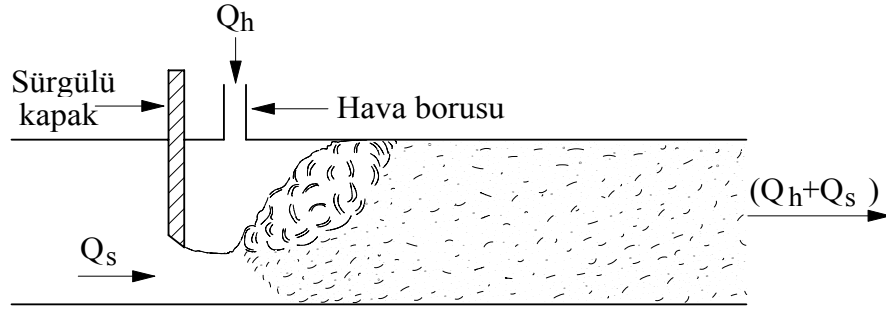
Hidrolik yapılardaki oksijen transfer verimini belirlemek için genellikle aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

- Hidrolik yapının yeri ve tipi,
- Hidrolik yapıdan geçen debi,
- Kapak açıklığı,
- Ölçüm yapılan yerdeki barometrik basınç ve nisbi nem,
- Yapının memba ve mansabındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu,
- Sudaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu,
- Su sıcaklığı'dır.

4. KAPAKLI KONDUİTLERDE HAVALANDIRMA VE İKİ FAZLI AKIM TİPLERİ

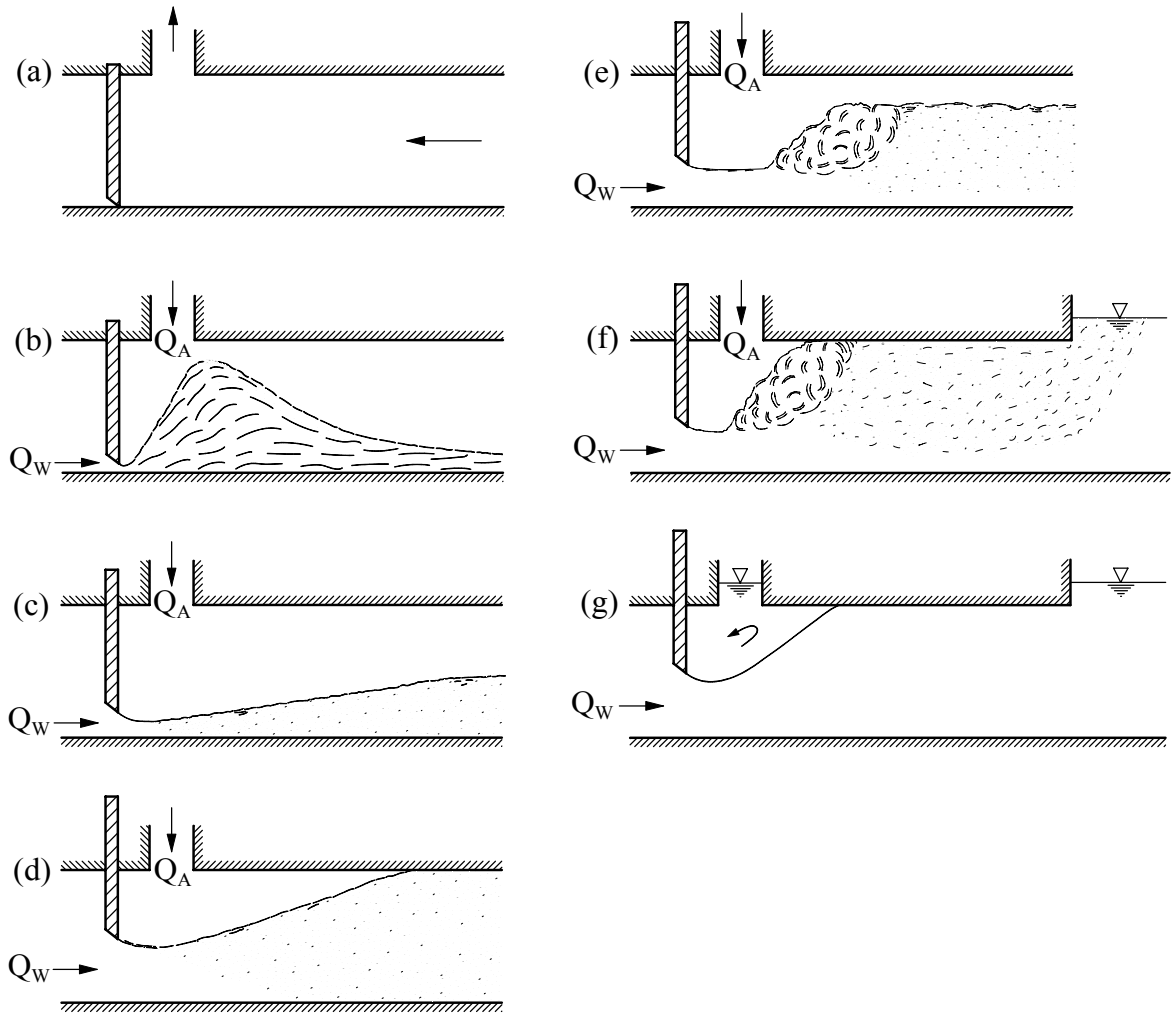
Kapaklı konduitlerde hidrolik sıçrama ve türbülans neticesinde havanın suya karışması mümkün olmaktadır. Su akımına hava girişini sağlamak amacıyla pompa kullanılarak su basıncı değeri yükseltilir. Kapak mansabında, su, hızla savaklanırken oluşan düşük basınç nedeniyle bu noktada bir vakumlama etkisi meydana gelir ve meydana gelen bu düşük basınç etkisiyle de dış ortamdan alınan hava, kabarcıklar halinde suya karışmış olur (Şekil 4.1). Kontrol kapağından sonra mansapta su akımı içerisinde hava alınması:

- 1) Kaviteasyon hasarlarını azaltmak için,
- 2) Vibrasyon etkisi ve kararlı akım şartlarını limit değerlere çekmek için kullanılır.



Şekil 4.1 Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım

Yapılan son çalışmalarda kapaklı konduitlerde savaklama kapağı mansabında oluşabilecek iki fazlı akım rejimleri Şekil 4.2. a-g'de gösterilmiştir [34].



Şekil 4.2 Kapaklı konduit içerisindeki akış tiplerinin sınıflandırılması; a) sadece hava akışı; b) sprey (püskürme şeklinde) akım; c) serbest yüzeyli akım; d) köpüklü akım; e) hidrolik sıçrama-1; f) hidrolik sıçrama-2; g) sadece su akışı

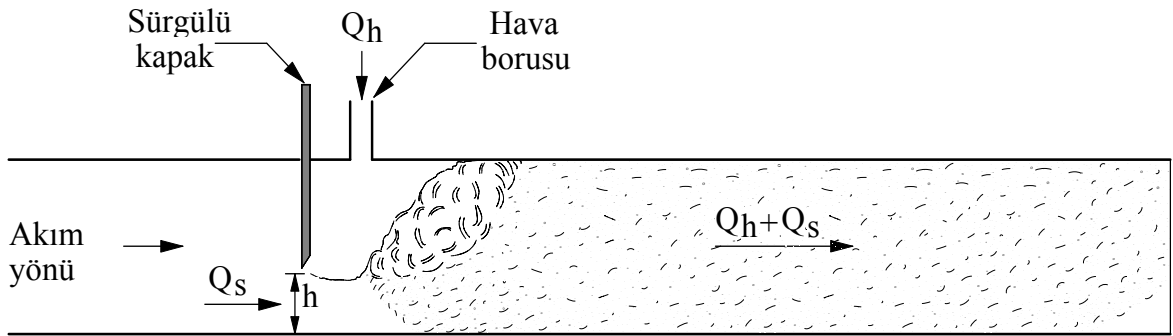
5. MATERİYAL VE METOT

5.1. Materyal

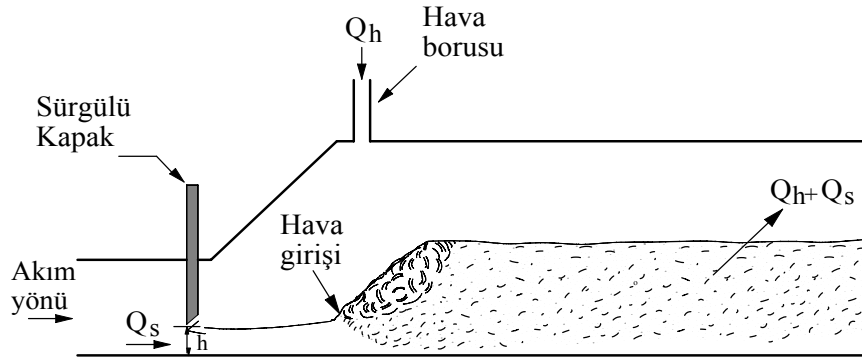
Bu çalışmada, deneylerin yapılması için musluk suyu kullanılmıştır. Musluk suyu kullanılması nedeniyle oksijen transferini etkileyebilecek olan yüzen maddeler, organik maddeler, süspanse maddeler ve tuzun etkisi görülmemiştir. Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltmak amacıyla kimyasal madde olarak sodyum sülfid (Na_2S) ve katalizör olarak kobalt klorür (CoCl_2) kullanılmıştır.

5.2. Deney Düzenegi

Bu çalışmada, yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli olmak üzere iki tip kapaklı konduit kullanılmış, bu konduitlerin hava girişi ile oksijen transfer verimleri incelenmiştir. (Şekil 5.1 ve 5.2). Her iki tip kapaklı konduitte de farklı kapak açıklıkları, farklı debi değerleri, ve farklı konduit uzunluğuna bağlı olarak hava girişi ve oksijen transfer verimleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.1 Yüksek basınçlı kapaklı konduit



Şekil 5.2 Serbest yüzeyli kapaklı konduit

Bu tez çalışması için yapılan deneylerde musluk suyu kullanılmıştır. Musluk suyu kullanılması nedeniyle oksijen transferini etkileyebilecek olan yüzen maddeler, organik maddeler, süspanse maddeler ve tuzun etkisi görülmemiştir. Suyun oksijenini azaltmak için kullanılan kimyasal maddelerin havalandırmayı etkilememesi için deney yapılırken kullanılan su sürekli olarak değiştirilmiştir.

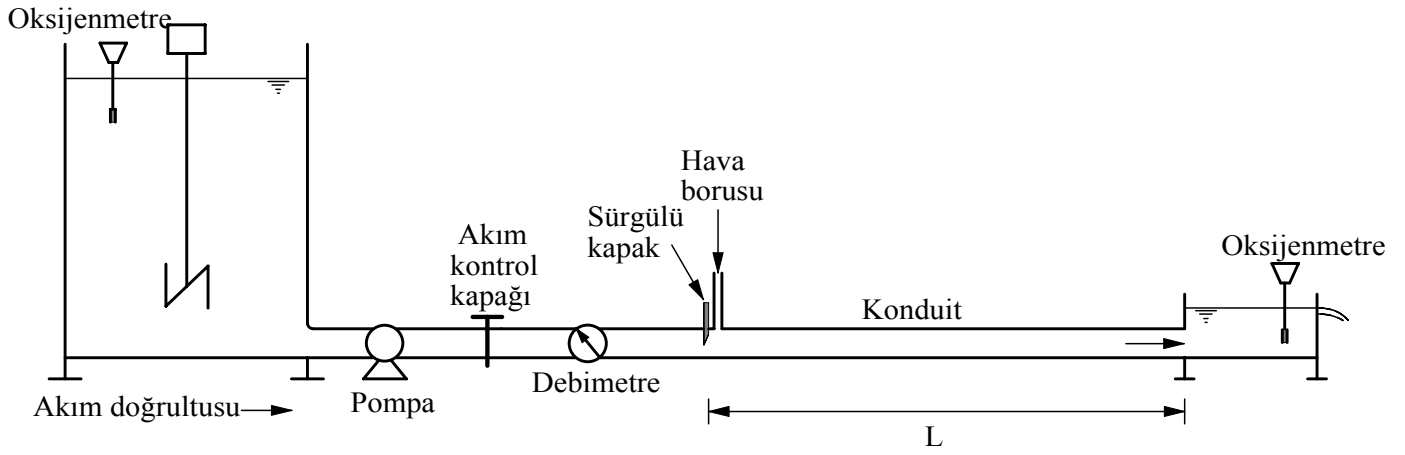
Deneyde kullanılan yüksek basınçlı kapaklı konduit dikdörtgen kesitlidir (genişliği 40 mm, yüksekliği 80 mm). Konduitin boyu 2 m ile 6 m arasında değişmektedir. Konduitin savaklama kapağından sonraki tüm bölümlerinde mika kullanılmak suretiyle kapaktan sonra oluşan sıçrama ve hava vakumlaması tüm boylarda detaylı olarak incelenmiştir. Savaklama kapağının mansabında 16 mm çapında bir delik açılarak dış ortamdaki havanın bu delik vasıtasıyla kanal içerisine girmesi sağlanmıştır (Şekil 5.1).

Deneyde kullanılan serbest yüzeyli kapaklı konduit Şekil 5.2’de görüldüğü gibidir. Kapaktan hemen sonraki kısmın eğimi 45 derecedir. Serbest yüzeyli konduit dikdörtgen bir kesite sahiptir (genişliği 40 mm, yüksekliği 250 mm). Konduit boyu 2 m ile 6 m arasında değişmektedir. Yüksek basınçlı kapaklı konduitte olduğu gibi bu konduitte de savaklama kapağının mansabında 16 mm çapında delik açılarak dış ortamdaki havanın kanal içine girmesi sağlanmıştır.

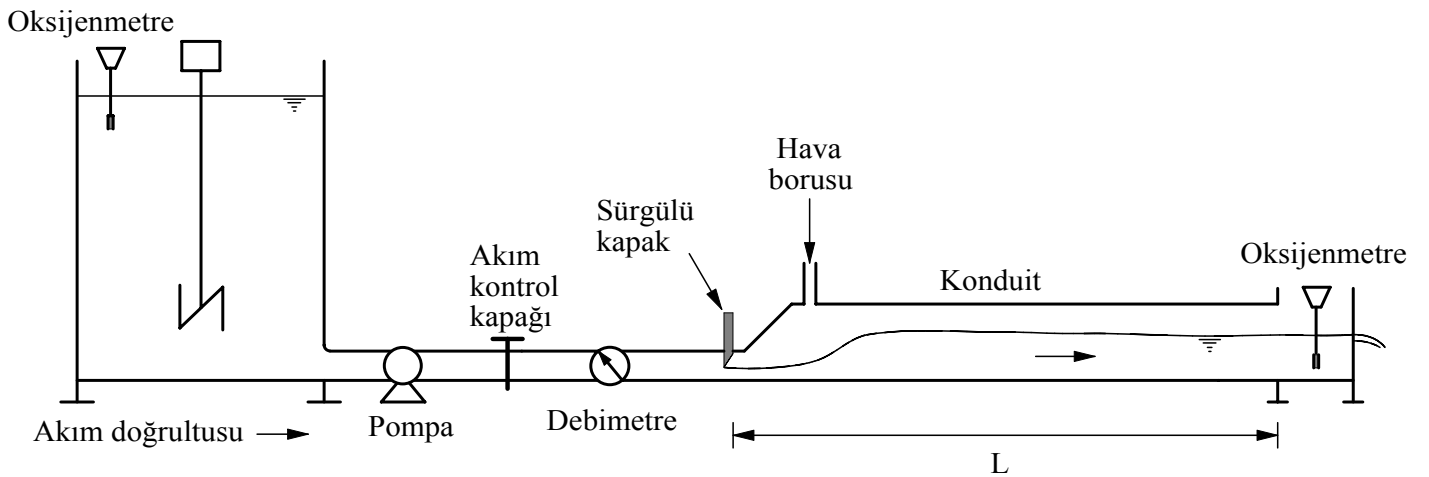
Yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde havalandırma ve oksijen transfer verimini tayin etmek amacıyla Şekil 5.3 ve 5.4’te görüldüğü deney düzenekleri kullanılmıştır.

Deneylerin yapılabilmesi için; çözünmüş oksijen konsantrasyonunu azaltmak amacıyla kullanılacak kimyasal maddelerin karıştırıldığı üç tonluk bir su deposu, suyu depodan alıp konduite göndermek için su deposu tabanı seviyesinde su pompası, istenilen debi değerlerini ayarlamak için küresel kontrol vanası, sistemden geçen debi değerlerini belirlemek için dijital

göstergeli 0.01 l/s ölçüm hassasiyetli 100 mm çaplı elektromanyetik debimetre, açılan delikten konduite giren havanın hızını ölçmek için anemometre, su sıcaklığını ve çözünmüş oksijen miktarını aynı anda ölçen oksijenmetre kullanılmıştır. Konduit ile debimetre arasındaki bağlantıyı sağlamak ve enerji kaybını azaltmak için dairesel kesitten dikdörtgen kesite geçiş için flanşlı metal koni kullanılmıştır.

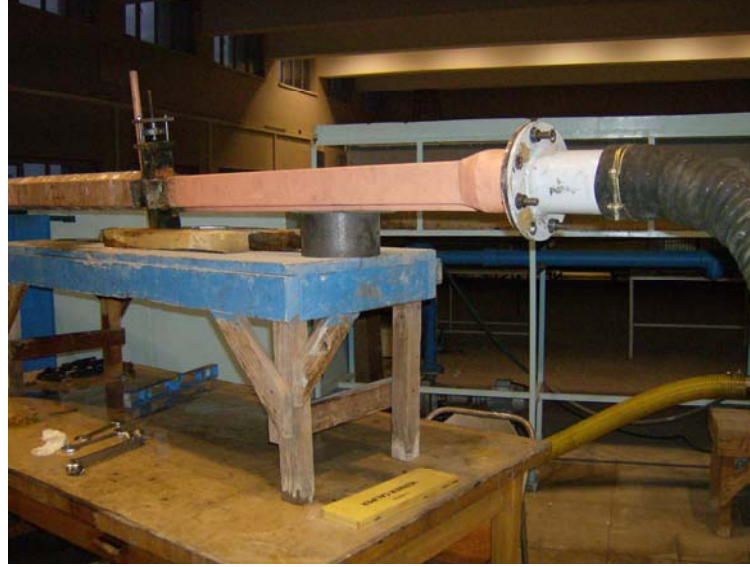


Şekil 5.3. Yüksek basınçlı kapaklı konduite ait deney düzeneği



Şekil 5.4 Serbest yüzeyli kapaklı konduite ait deney düzeneği

Ayrıca aşağıda deneylerde kullanılan yüksek basınçlı (şekil 5.5 a-c) ve serbest yüzeyli (şekil 5.6 a-c) kapaklı konduitlere ait fotoğraflar verilmiştir.



(a)



(b)

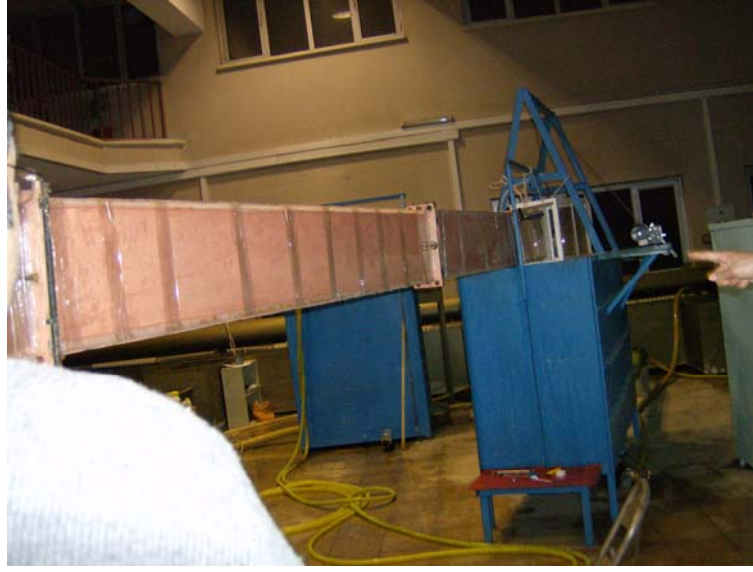


(c)

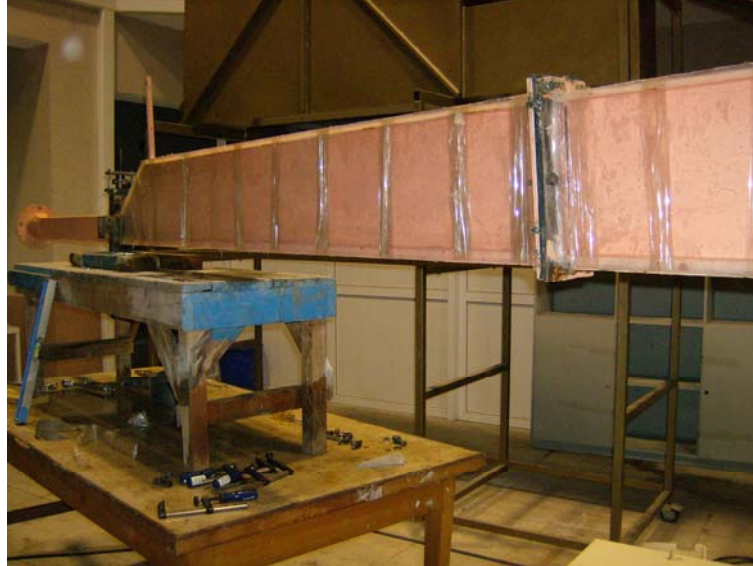
Şekil 5.5. a-c Yüksek basınçlı kapaklı konduite ait fotoğraflar



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.6. a-c Serbest yüzeyli kapaklı konduite ait fotoğraflar

5.3. Oksijenmetrenin Kullanılması

Memba ve mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonlarını ölçmek için METTLER TOLEDO 4050 marka oksijenmetre kullanılmıştır. Bu oksijenmetre hem su içindeki çözünmüş oksijen miktarını hem de suyun o andaki mevcut sıcaklığını aynı anda ölçebilmektedir. Bu oksijenmetre kullanımdan önce günlük olarak kalibre edilmiştir. Kalibre işleminde % doygunluk değeri ayarlanırken, sudaki tuzluluk ve ölçüm yapılan yerdeki barometrik basınç dikkate alınmıştır. Bunun için aşağıdaki tablolardan yararlanılmıştır (Tablo 5.1 ve 5.2).

Tablo 5.1 Tuzluluğa karşı gelen % değeri [3]

İletkenlik (mS)	Tuzluluk (g/L)	% Ayar
-	0.0	100
6	2.5	97
11	5.0	95
15	7.5	93
20	10.0	90
24	12.5	88
27	15.0	85
31	17.5	82
34	20.0	81
37	22.5	78
40	25.0	75
43	27.5	73
45	30.0	70
47	32.5	68
49	35.0	66

Tablo 5.2 Barometrik basınca karşı gelen % değeri [3]

Barometrik Basınç (mmHg)	% Ayar
600	79
620	82
640	84
660	87
680	90
700	92
720	95
740	97
760	100
780	103
800	105
820	108

5.4. Deneyin Yapılışı

Deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı ortamda atmosfer basıncı yaklaşık 677 mm Hg olarak tespit edilmiştir.

Hava giriş performansının tespiti için yapılan deneylere basınçlı konduitlerle başlanmıştır. Öncelikle 2 m uzunluğundaki ilk parçayla başlanmıştır. Bu ilk parçadan giren havanın debisi, açılan delikten giren havanın hızının anemometre ile ölçülmesi sonucu elde edilmiştir. Bu ölçümler yapıldıktan sonra konduite 2 m'lik ikinci parça takılarak 4 m uzunluğundaki konduite giren havanın debisi tespit edilmiştir. 4 m'lik kısmın deneyleri tamamlandıktan sonra son 2 m'lik kısım takılarak 6 m uzunluğundaki konduite giren hava debisi tespit edilmiştir. Konduite giren havanın debisi tespit edilirken anemometre ile yaklaşık 2 dakikalık ölçüm yapılarak giren hava hızının ortalaması alınmıştır. Alınan bu ortalama hız giren havanın girdiği deliğin çapı kullanılarak elde edilen delik alanıyla çarpılarak hava debisi hesaplanmıştır. Deneyler yapılırken tüm boylar için 1.6 cm, 3.2 cm ve 4.8 cm'lik kapak açıklıkları kullanılmıştır.

Serbest yüzeyli kapaklı konduitte basınçlı konduit için yukarıda belirtilen deneylerin aynısı yapılmıştır. Kullanılan kapak açıklıkları da basınçlı konduitte kullanılan kapak açıklıklarının aynısıdır.

Bu deneyler yapılırken farklı debi değerleri kullanılmıştır. Bu debilere bağlı olarak farklı su hızları tespit edilmiştir. Bu hızlar kullanılarak kapak altındaki Froude sayısı bulunmuştur.

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{gh_s}} \quad (52)$$

Burada; V_s = su hızı (m/sn), h_s = kapak altındaki su yüksekliği (m) ve g = yerçekimi ivmesi (m/s^2).

Oksijen transfer veriminin tespiti için yapılan deneylerde, su deposuna doldurulan suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sodyum sülfat (Na_2SO_4) kullanılarak yaklaşık olarak 0 mg/L'ye yakın değerlere düşürülmüştür. Ayrıca bu işlem için kobalt klorür ($CoCl_2$) katalizör olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni suyun deneye başlama anında çözünmüş oksijen konsantrasyonu değeri ile suyun doymunluk konsantrasyonu değeri arasındaki farkı artırmak ve olası deney hatalarını önlemektir. Depodan pompalanan suyun debisi kontrol vanası ile ayarlanmak suretiyle konduitlerden geçirilmiştir. Su konduit içerisinden geçerken kapakta oluşan basınç nedeniyle açılmış olan deliklerden giren havayı da beraberinde sürükler. İki fazlı

akım olarak adlandırılan akış sırasında basınçlı ortamda hava kabarcıkları içerisindeki oksijen suda çözünmeye başlar. Konduit sonuna yerleştirilen mansap kanalında çözülmüş oksijen değerleri oksijenmetre yardımıyla ölçülmüştür.

Ölçüm yapılırken oksijenmetrenin probu su içerisinde sabit tutulmayıp 1devir/sn. hızında yaklaşık 30 cm çaplı daireler çizecek şekilde döndürülmüştür. Bu sayede oksijen konsantrasyonu değeri noktadan bağımsız olarak ölçülmüştür.

Bu deneyler yapılırken farklı debi değerlerine bağlı olarak kapak altındaki Froude sayısı tespit edilmiştir. Oksijen transfer verimi ve hava giriş debileri tespit edilirken farklı Froude sayıları, farklı kapak açıklıkları ve farklı boylar ve ortamın sıcaklığına göre aynı işlemler tekrarlanarak yapılmıştır.

Yapılan deneylerde sistemdeki suyun oksijene doyup doymadığı, her deney aşamasında Tablo 3.4.'deki değerlerle kontrol edilmiştir. Deneyde kullanılan suyun sıcaklığı tespit edilmiştir. Oksijenin doyma konsantrasyonu, sıcaklığın fonksiyonu olması nedeniyle, oksijen transfer verimi de sıcaklığa bağlıdır. Farklı sistemlerin karşılaştırılmasında üniform bir temel sağlamak için, oksijen transfer veriminin belirli bir sıcaklıkta normalize edilmesi (standart hale getirilmesi) gerekmektedir. Bu çalışmada Gulliver ve Rindels [35] tarafından önerilen (32) nolu denklem kullanılarak oksijen transfer verimleri (E) 20 °C'de normalize edilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitler kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen verileri gösteren tablolar, bu tablo değerleri kullanılarak çizilen grafikler ve bu grafiklere ait yorumlar sunulmuştur.

6.1. Yüksek Basınçlı Kapaklı Konduitlere Ait Sonuçlar

Tablo 6.1 Yüksek Basınçlı Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları

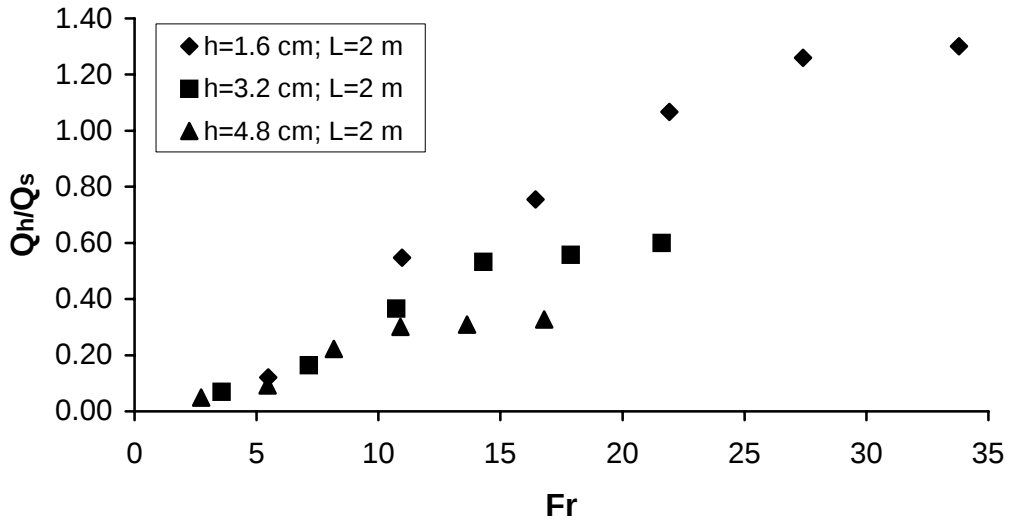
Sıra No	h (cm)	L (m)	Q _s (l/s)	V _s (m/s)	Fr (-)	Q _h /Q _s (-)	E ₂₀ (-)
1	1.6	2	1.39	2.003	5.479	0.121	0.210
2	1.6	2	2.78	4.007	10.962	0.547	0.679
3	1.6	2	4.17	6.011	16.439	0.755	0.838
4	1.6	2	5.56	8.015	21.919	1.067	0.928
5	1.6	2	6.95	10.019	27.399	1.26	0.964
6	1.6	2	8.57	12.109	33.798	1.301	0.978
7	3.2	2	2.565	2.171	3.574	0.07	0.162
8	3.2	2	5.13	4.343	7.151	0.164	0.593
9	3.2	2	7.695	6.513	10.728	0.366	0.788
10	3.2	2	10.26	8.684	14.305	0.532	0.881
11	3.2	2	12.825	10.855	17.882	0.557	0.934
12	3.2	2	15.50	13.390	21.612	0.600	0.948
13	4.8	2	3.593	1.871	2.726	0.0485	0.096
14	4.8	2	7.186	3.742	5.453	0.0920	0.466
15	4.8	2	10.78	5.613	8.178	0.2223	0.662
16	4.8	2	14.373	7.484	10.904	0.301	0.755
17	4.8	2	17.966	9.355	13.630	0.309	0.802
18	4.8	2	22.13	11.526	16.797	0.327	0.838
19	1.6	4	1.39	2.171	5.479	0.160	0.155
20	1.6	4	2.78	4.343	10.962	0.563	0.488
21	1.6	4	4.17	6.513	16.439	0.811	0.798
22	1.6	4	5.56	8.684	21.919	0.891	0.917
23	1.6	4	6.95	10.855	27.399	0.935	0.959
24	1.6	4	8.17	12.766	32.223	0.920	0.972
25	3.2	4	2.565	2.003	3.574	0.0671	0.120
26	3.2	4	5.13	4.007	7.151	0.1576	0.496

27	3.2	4	7.695	6.011	10.728	0.300	0.697
28	3.2	4	10.26	8.015	14.305	0.346	0.842
29	3.2	4	12.825	10.019	17.882	0.388	0.895
30	3.2	4	15.63	12.211	21.795	0.417	0.932
31	4.8	4	3.593	1.871	2.726	0.0497	0.042
32	4.8	4	7.186	3.742	5.453	0.0885	0.269
33	4.8	4	10.78	5.613	8.178	0.122	0.568
34	4.8	4	14.373	7.484	10.904	0.1373	0.689
35	4.8	4	17.966	9.355	13.630	0.1496	0.748
36	4.8	4	21.90	11.406	16.622	0.1553	0.799
37	1.6	6	1.39	2.171	5.479	0.0	0.224
38	1.6	6	2.78	4.343	10.962	0.2077	0.592
39	1.6	6	4.17	6.513	16.439	0.4633	0.814
40	1.6	6	5.56	8.684	21.919	0.6307	0.989
41	1.6	6	6.95	10.855	27.399	0.6708	1.000
42	1.6	6	8.20	12.813	32.341	0.735	1.000
43	3.2	6	2.565	2.003	3.574	0.0654	0.207
44	3.2	6	5.13	4.007	7.151	0.1351	0.439
45	3.2	6	7.695	6.011	10.728	0.1951	0.794
46	3.2	6	10.26	8.015	14.305	0.2225	0.937
47	3.2	6	12.825	10.019	17.882	0.2235	0.900
48	3.2	6	15.60	12.188	21.753	0.2867	1.000
49	4.8	6	3.593	1.871	2.726	0.0	0.192
50	4.8	6	7.186	3.742	5.453	0.0	0.411
51	4.8	6	10.78	5.613	8.178	0.0272	0.650
52	4.8	6	14.373	7.484	10.904	0.0453	0.719
53	4.8	6	17.966	9.355	13.630	0.0620	0.778
54	4.8	6	21.77	11.338	16.522	0.0858	0.821

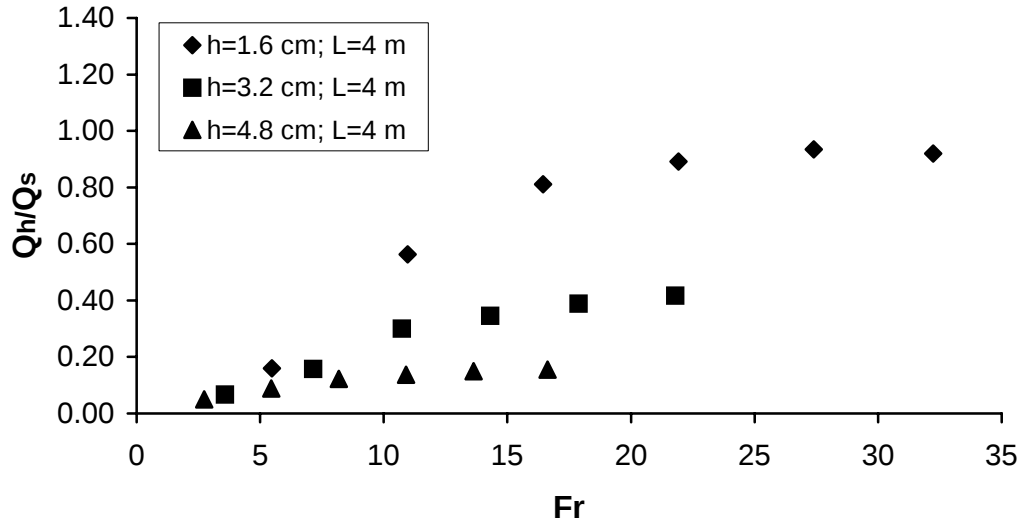
Tablo 6.1 ve Şekil 6.1 a-c'den görüleceği üzere Froude sayısının artışına bağlı olarak Q_h/Q_s oranı tüm boylarda ve tüm kapak açıklıklarında artış göstermiştir.

Ayrıca Froude sayısının 10 ve 10'dan daha küçük değerlerinde her boydaki farklı kapak açıklıklarında Q_h/Q_s oranları birbirine çok yakın hatta eşit olmasına rağmen Froude sayısının 10'dan büyük değerlerinde Q_h/Q_s oranları arasında belirgin değer farklılıkları meydana gelmiştir. Bu Froude sayısı değerinden sonra kapak açıklığının azalmasıyla hava giriş oranı Q_h/Q_s artış göstermiştir.

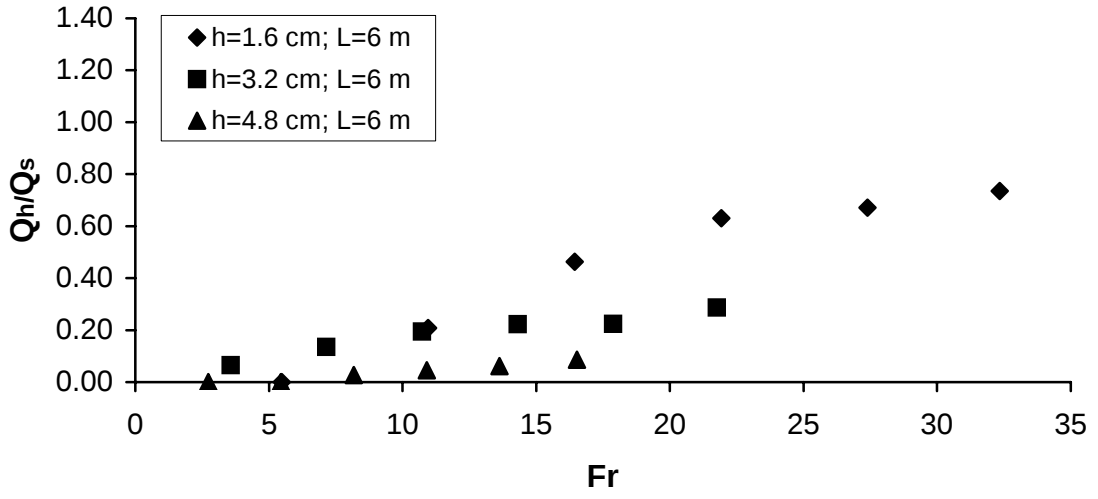
Tüm boylar kendi içerisinde ayrı ayrı incelendiği zaman kapak açıklıklarının artmasıyla Q_h/Q_s oranı daha düşük değerler almıştır. Kapak açıklığının artmasıyla kapağın memba ve mansap kısımlarındaki basınç farkı düşecek ve buna bağlı olarakta atmosferden emilen hava miktarı azalacaktır. Tüm boylar içerisinde en büyük Q_h/Q_s oranı en küçük kapak açıklığı yani $h=1.6$ cm'de meydana gelmiştir.



(a)



(b)



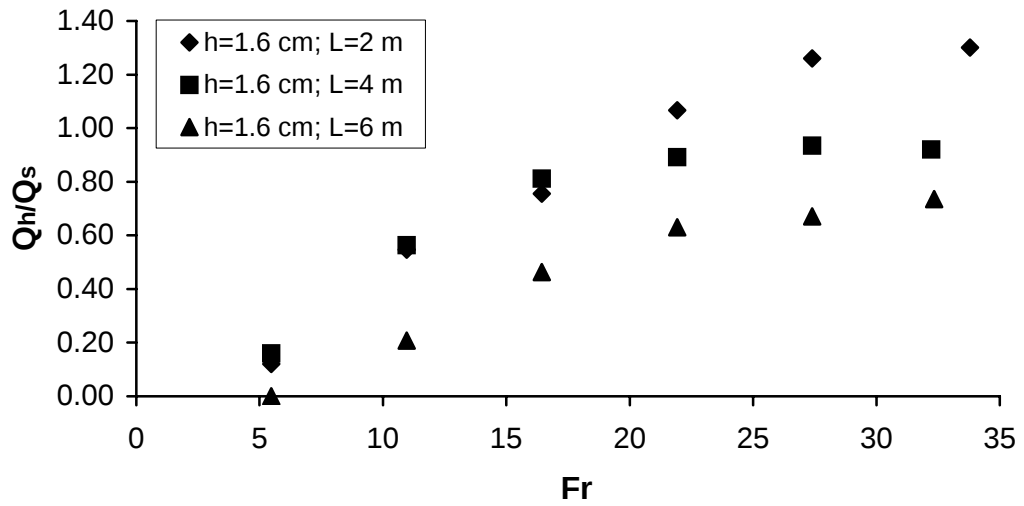
(c)

Şekil 6.1. a-c Basınçlı Konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi

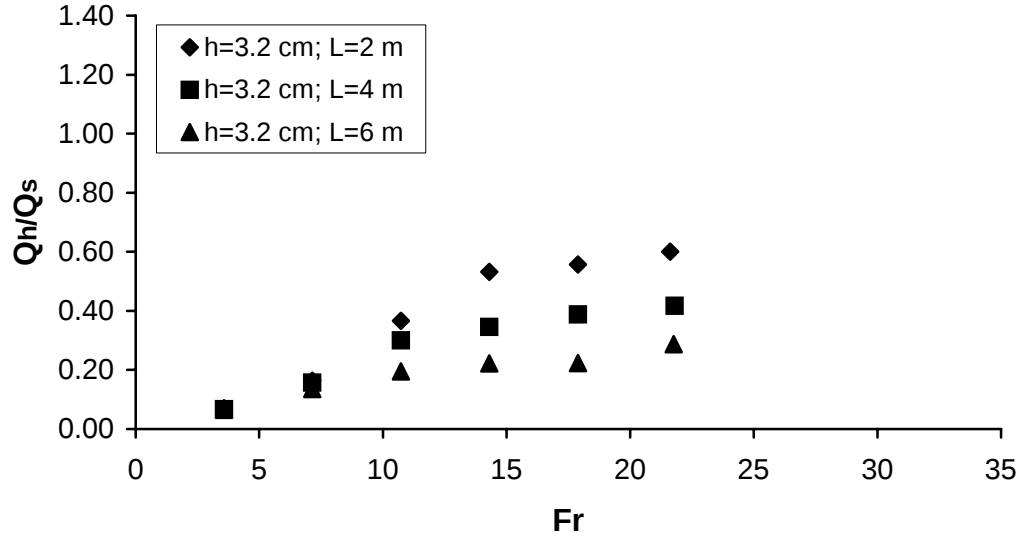
Tüm kapak açıklıklarında hız dolayısıyla da Froude sayısı arttıkça hava giriş oranı Q_h/Q_s büyük artışlar göstermiştir (Şekil 6.2. a-c).

Şekil 6.2 a-c'den görüleceği gibi en yüksek Q_h/Q_s oranı en küçük konduit boyu ve bu boydaki en küçük kapak açıklığında gerçekleşmiştir. Kapak açıklığı arttıkça kapak membaındaki su hızının düşmesine paralel olarak memba ve mansap kısmındaki basınç farkının azalmasıyla konduit içerisine giren hava miktarı da azalmıştır.

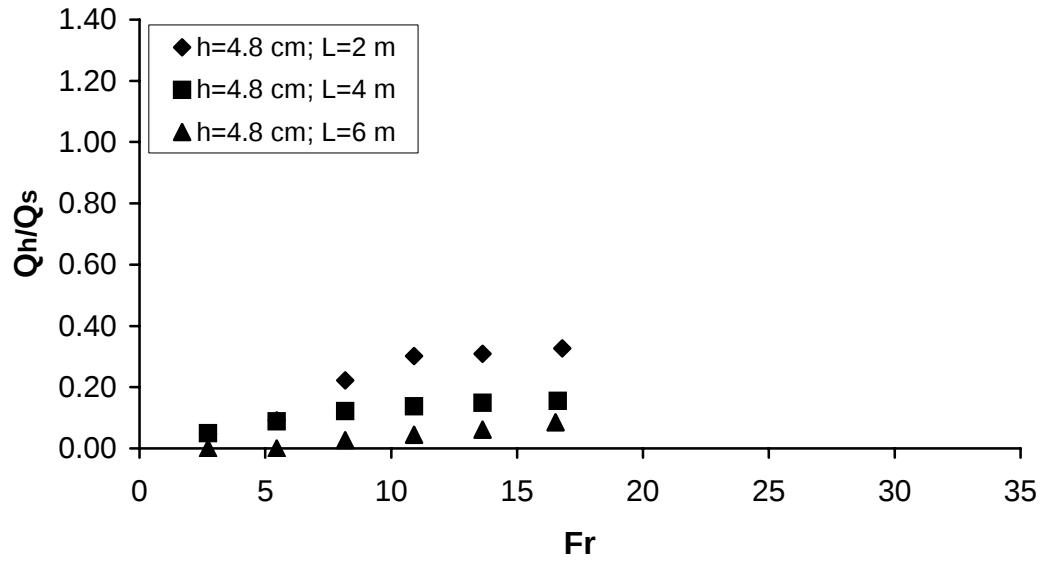
Her kapak açıklığı ayrı olarak incelendiğinde konduitin boy uzunluğunun artmasının hava giriş oranı Q_h/Q_s üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir deyişle konduit boy uzunluğu arttıkça hava giriş oranı Q_h/Q_s azalmıştır. Bu azalmanın sebebi olarak, konduit boy uzunluğunun artmasına bağlı olarak konduit içerisinde sürüklenmesi gereken su miktarının artacağı ve dolayısıyla bu sürüklemenin yapılabilmesi için yenilmesi gereken basıncın artması ifade edilebilir. Bu büyük basınç, havalandırma için açılan delikten giren hava miktarının azalmasına neden olacak ve giren hava miktarı azaldıkça elde edilen Q_h/Q_s oranı da düşecektir.



(a)



(b)



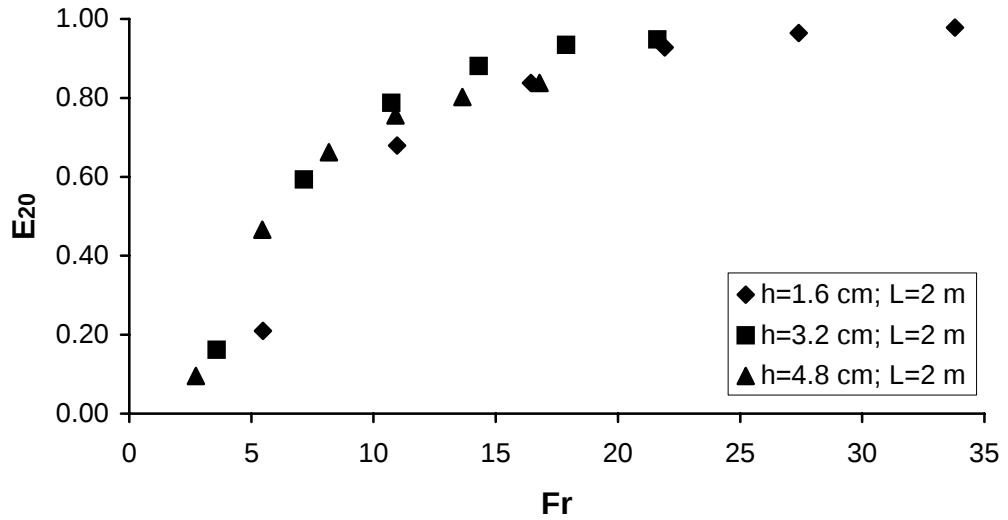
(c)

Şekil 6.2. a-c Basınçlı Konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi

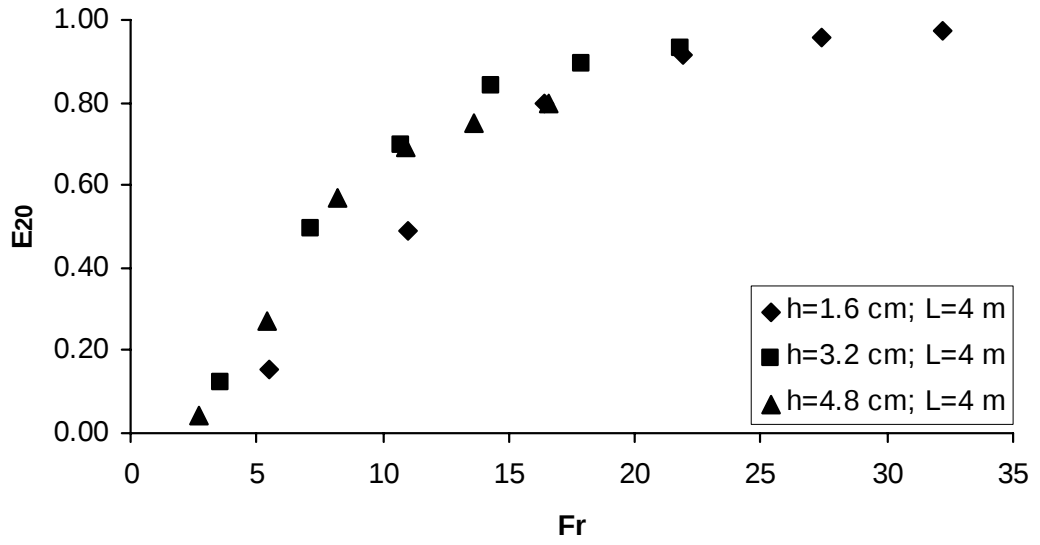
Şekil 6.3. a-c’den görüleceği üzere her boydaki tüm kapak açıklıklarında Forude sayısı artarken oksijen transfer verimi E_{20} değeri de artış göstermiştir.

Ayrıca her boydaki tüm kapak açıklıklarında E_{20} oksijen transfer verimi değerleri açısından birbirine çok yakın hatta eşit sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Burada kapak açıklığının oksijen transfer verim değeri E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.

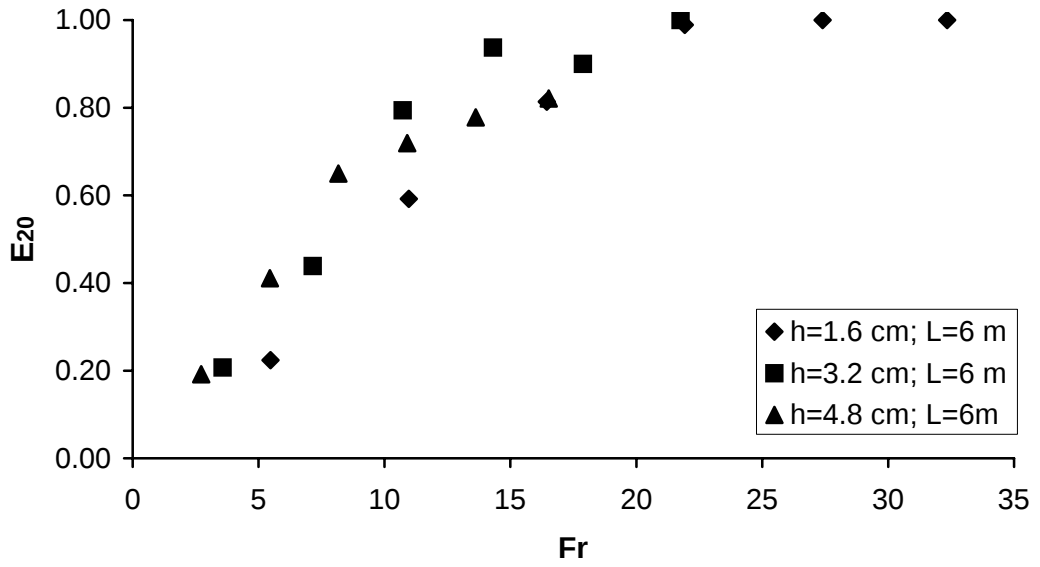
Şekil 6.3. a-c incelendiğinde tüm boy ve kapak açıklıklarında Froude sayısının 15’ten daha büyük değerlerinde oksijen transfer verimi E_{20} maksimum doygunluk değerine ulaştığı tespit edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

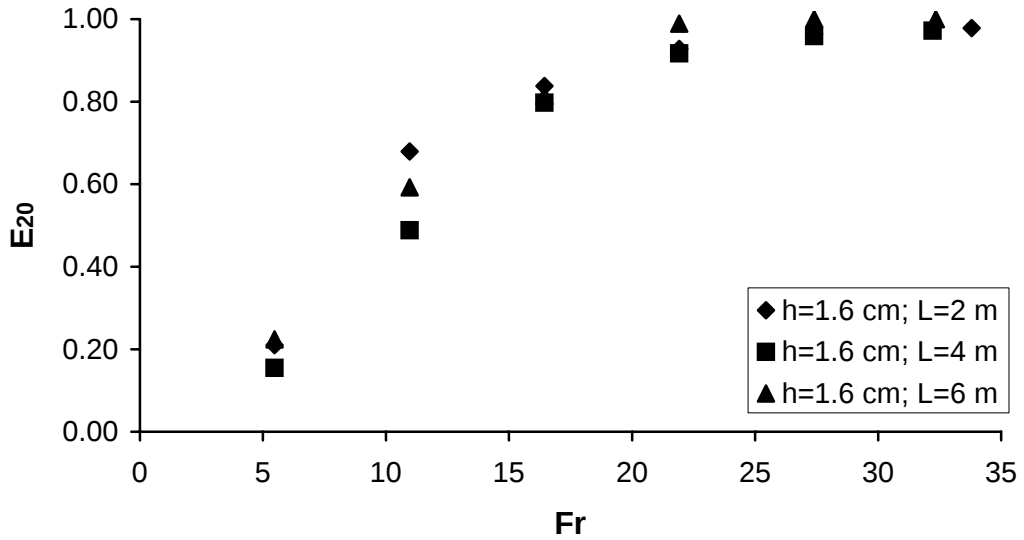
Şekil 6.3. a-c Basınçlı Konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile E_{20} değişimi

Konduitin hız bağılı olarak Froude sayısının artışına oksijen transfer verimi E_{20} üzerinde önemli bir etkisi mevcuttur. Hız arttıkça oksijen transfer verimi E_{20} artmıştır (şekil 6.4. a-c).

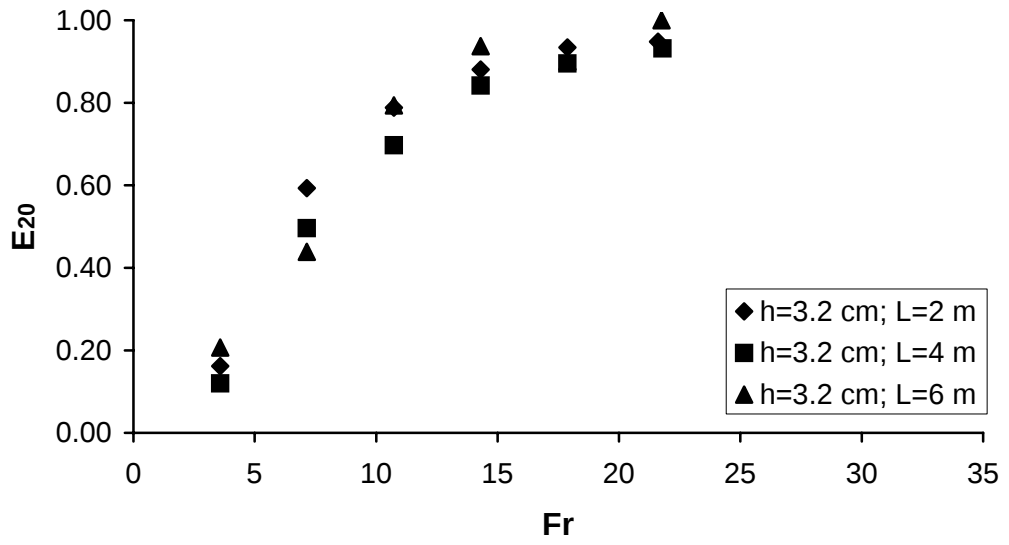
Genel olarak Froude sayısının 15'ten büyük değerlerinde E_{20} oksijen transfer verim değeri maksimum doygunluğa ulaşmıştır.

Grafiklerden anlaşılabacağı üzere her kapak açıklığı için, konduit boyunun artmasıyla, elde edilen oksijen transfer verimi E_{20} değerleri arasında herhangi önemli bir farklılık oluşmamış ve birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir.

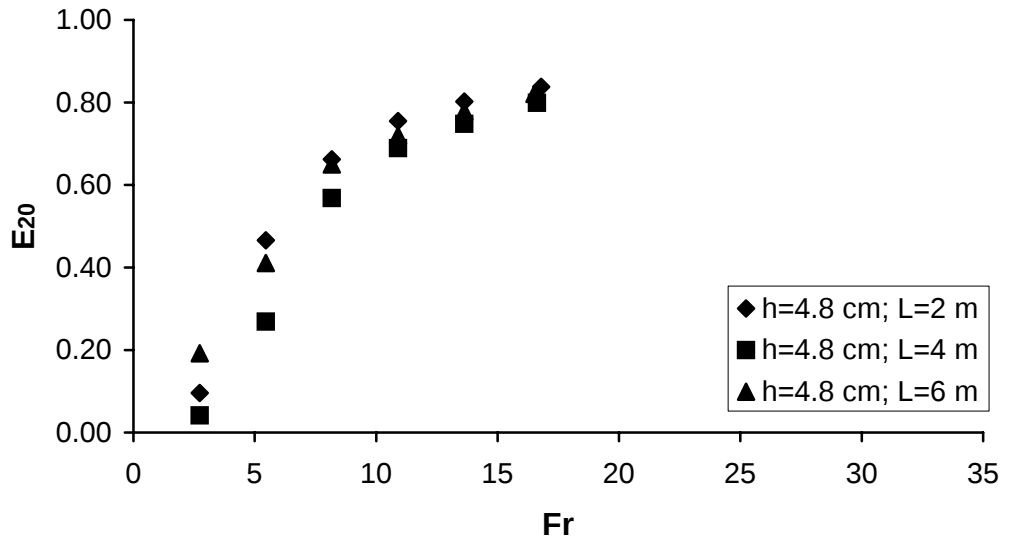
Buradan basınçlı konduitlerde boy uzunluğunun oksijen transfer verimi açısından belirleyici bir parametre olmadığı ortaya çıkmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.4. a-c Basınçlı Konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile E_{20} değişimi

6.2. Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlere Ait Sonuçlar

Tablo 6.2 Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlere Ait Deney Sonuçları

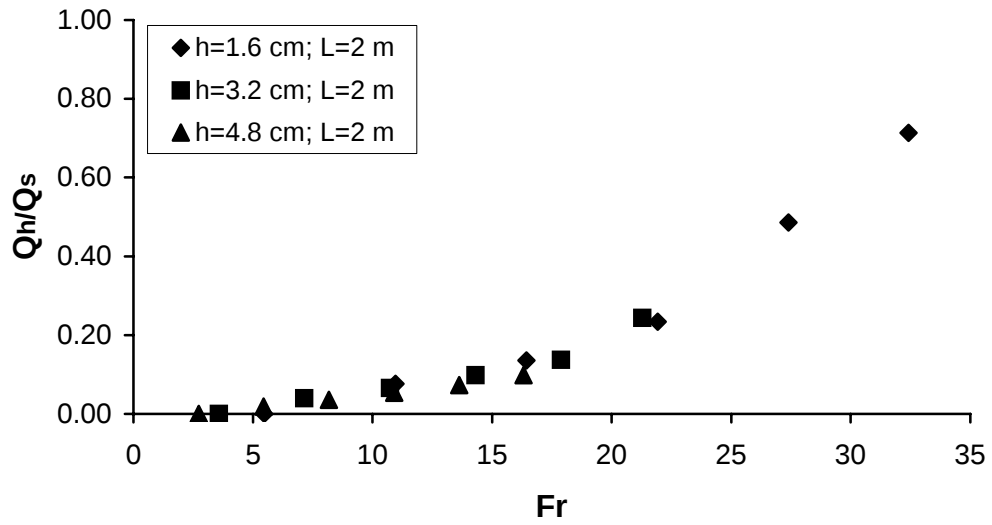
Sıra No	h (cm)	L (m)	Q _s (l/s)	V _s (m/s)	Fr (-)	Q _h /Q _s (-)	E ₂₀ (-)
1.	1.6	2	1.39	2.171	5.479	0.0	0.235
2.	1.6	2	2.78	4.343	10.962	0.0763	0.666
3.	1.6	2	4.17	6.513	16.439	0.136	0.817
4.	1.6	2	5.56	8.684	21.919	0.234	0.900
5.	1.6	2	6.95	10.855	27.399	0.486	0.950
6.	1.6	2	8.22	12.844	32.419	0.713	0.969
7.	3.2	2	2.565	2.003	3.574	0.0	0.143
8.	3.2	2	5.13	4.007	7.151	0.0401	0.584
9.	3.2	2	7.695	6.011	10.728	0.0655	0.727
10.	3.2	2	10.26	8.015	14.305	0.0982	0.862
11.	3.2	2	12.825	10.019	17.882	0.137	0.903
12.	3.2	2	15.26	11.922	21.278	0.244	0.945
13.	4.8	2	3.593	1.871	2.726	0.0	0.090
14.	4.8	2	7.186	3.742	5.453	0.0187	0.464
15.	4.8	2	10.78	5.613	8.178	0.0354	0.647
16.	4.8	2	14.373	7.484	10.904	0.0540	0.750
17.	4.8	2	17.966	9.355	13.630	0.0730	0.820
18.	4.8	2	21.49	11.193	16.311	0.0982	0.877
19.	1.6	4	1.39	2.171	5.479	0.0	0.014
20.	1.6	4	2.78	4.343	10.962	0.0906	0.477
21.	1.6	4	4.17	6.513	16.439	0.128	0.753
22.	1.6	4	5.56	8.684	21.919	0.276	0.833
23.	1.6	4	6.95	10.855	27.399	0.526	0.889
24.	1.6	4	8.22	12.844	32.419	0.805	0.916
25.	3.2	4	2.565	2.003	3.574	0.0	0.027
26.	3.2	4	5.13	4.007	7.151	0.0422	0.269
27.	3.2	4	7.695	6.011	10.728	0.0928	0.607
28.	3.2	4	10.26	8.015	14.305	0.115	0.728
29.	3.2	4	12.825	10.019	17.882	0.164	0.781
30.	3.2	4	15.08	11.781	21.026	0.299	0.825
31.	4.8	4	3.593	1.871	2.726	0.0	0.06

32.	4.8	4	7.186	3.742	5.453	0.0266	0.298
33.	4.8	4	10.78	5.613	8.178	0.107	0.539
34.	4.8	4	14.373	7.484	10.904	0.0898	0.699
35.	4.8	4	17.966	9.355	13.630	0.121	0.825
36.	4.8	4	21.38	11.135	16.227	0.133	0.872
37.	1.6	6	1.39	2.171	5.479	0.0	0.134
38.	1.6	6	2.78	4.343	10.962	0.0642	0.424
39.	1.6	6	4.17	6.513	16.439	0.116	0.718
40.	1.6	6	5.56	8.684	21.919	0.284	0.846
41.	1.6	6	6.95	10.855	27.399	0.559	0.914
42.	1.6	6	8.22	12.844	32.419	0.726	0.936
43.	3.2	6	2.565	2.003	3.574	0.0	0.063
44.	3.2	6	5.13	4.007	7.151	0.0491	0.355
45.	3.2	6	7.695	6.011	10.728	0.0887	0.677
46.	3.2	6	10.26	8.015	14.305	0.111	0.831
47.	3.2	6	12.825	10.019	17.882	0.149	0.900
48.	3.2	6	15.26	11.922	21.278	0.461	0.934
49.	4.8	6	3.593	1.871	2.726	0.0	0.125
50.	4.8	6	7.186	3.742	5.453	0.0354	0.348
51.	4.8	6	10.78	5.613	8.178	0.0896	0.590
52.	4.8	6	14.373	7.484	10.904	0.0774	0.792
53.	4.8	6	17.966	9.355	13.630	0.105	0.902
54.	4.8	6	21.62	11.260	16.409	0.131	0.931

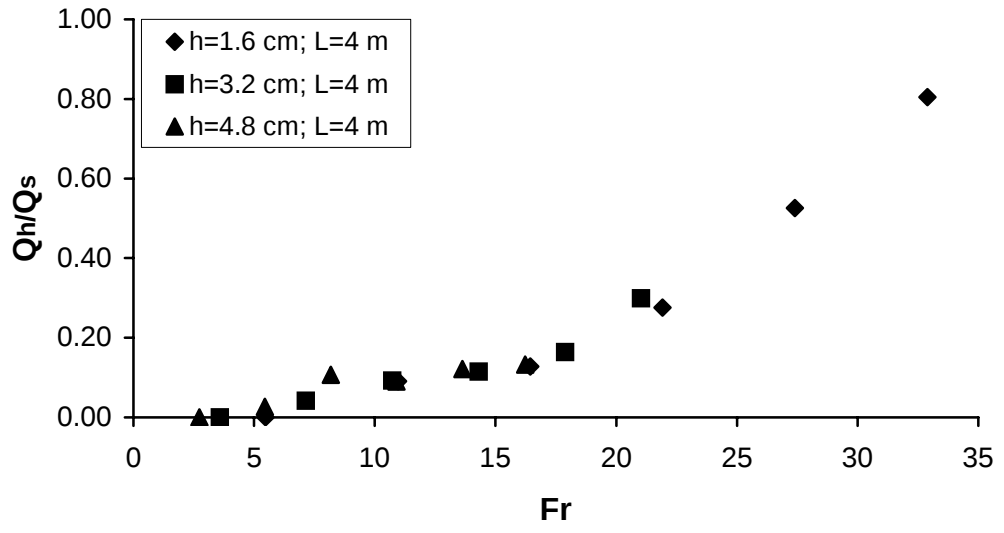
Tablo 6.2 ve Şekil 6.5. a-c'den, tüm kapak açıklıklarında Froude sayısının küçük değerleri için konduitteki boy artışının Q_h/Q_s hava giriş oranı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak Froude sayısı arttıkça Q_h/Q_s hava giriş oranında da önemli miktarda artış meydana gelmiştir.

Grafikler incelendiğinde, kapak açıklığındaki artışın elde edilen Q_h/Q_s değerini fazla değiştirmedeği görülmüştür. Kapak açıklığının artmasıyla elde edilen Q_h/Q_s değerleri birbirine çok yakın olmuştur

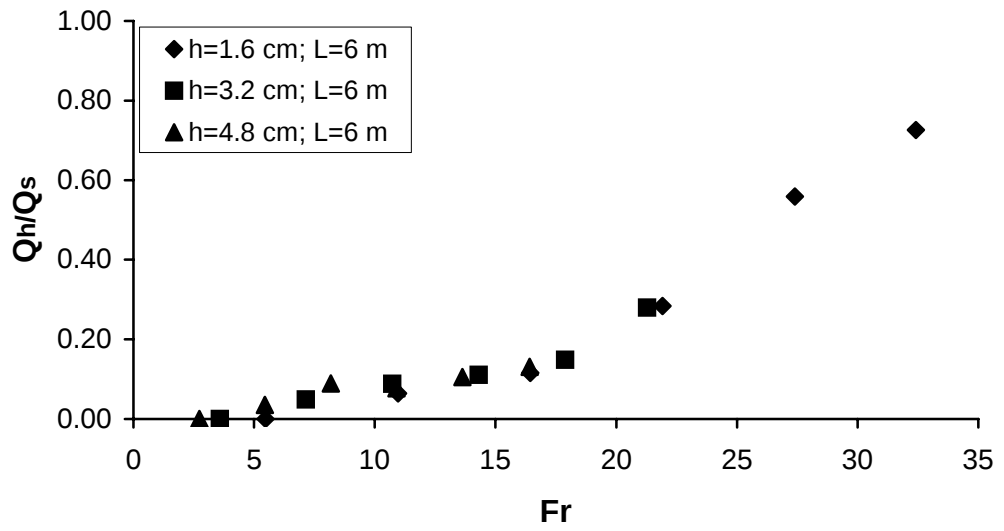
Burada, kapak açıklığındaki artışın Q_h/Q_s hava giriş oranı değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir.



(a)



(b)

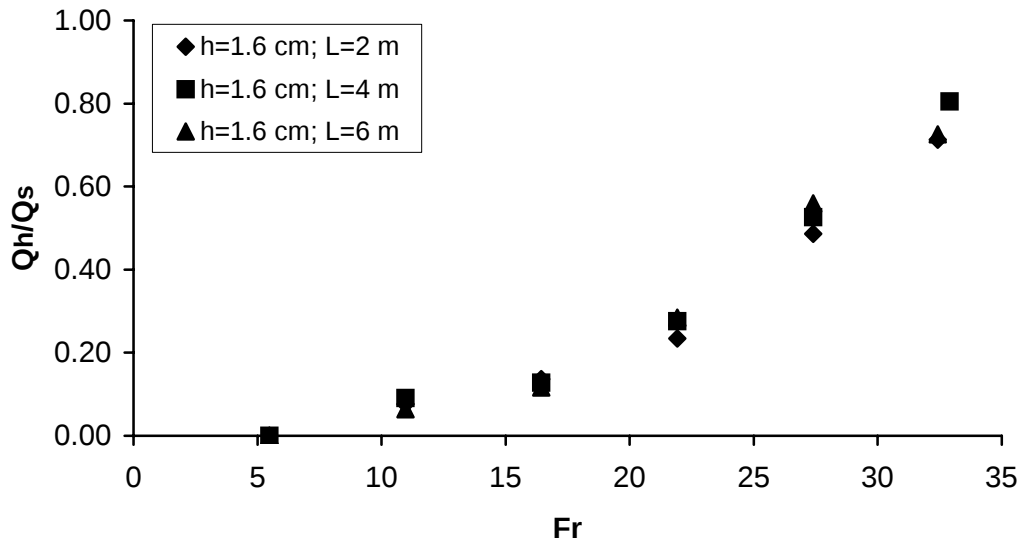


(c)

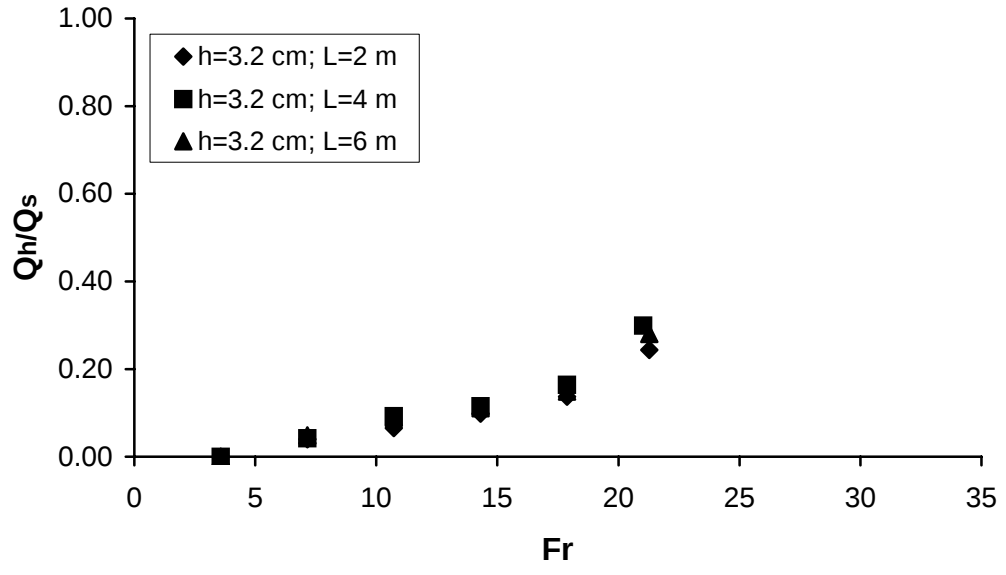
Şekil 6.5.a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi

Froude sayısının artışına bağlı olarak Q_h/Q_s hava giriş oranı tüm boy ve kapak açıklıklarında artış göstermiştir. Her kapak açıklığı ayrı olarak incelendiğinde boy artışıyla birlikte hava giriş oranları Q_h/Q_s arasında önemli farklar oluşmadığı, elde edilen hava giriş oranlarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir(Şekil 6.6. a-c).

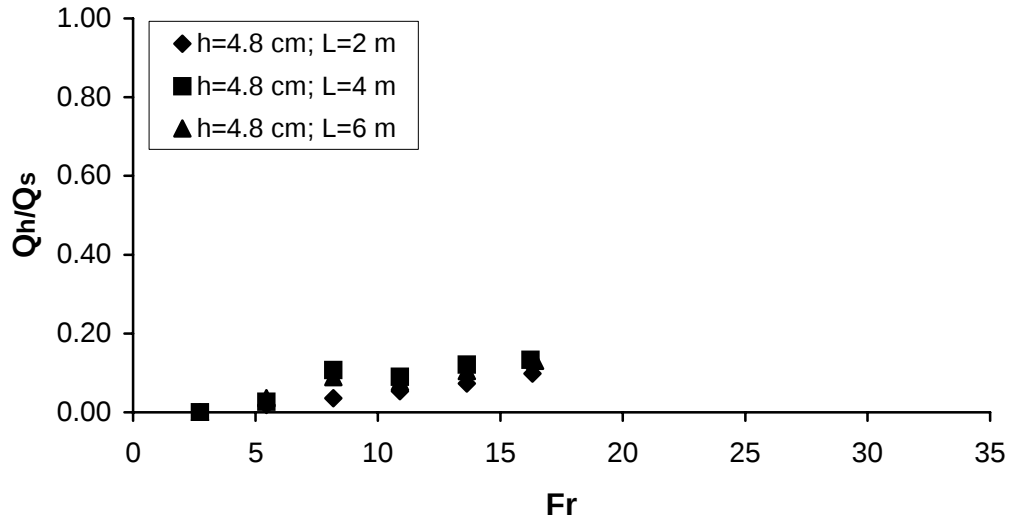
Buradan serbest yüzeyli konduitlerde hava giriş oranı Q_h/Q_s üzerinde konduit boy uzunluğunun önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



(a)



(b)



(c)

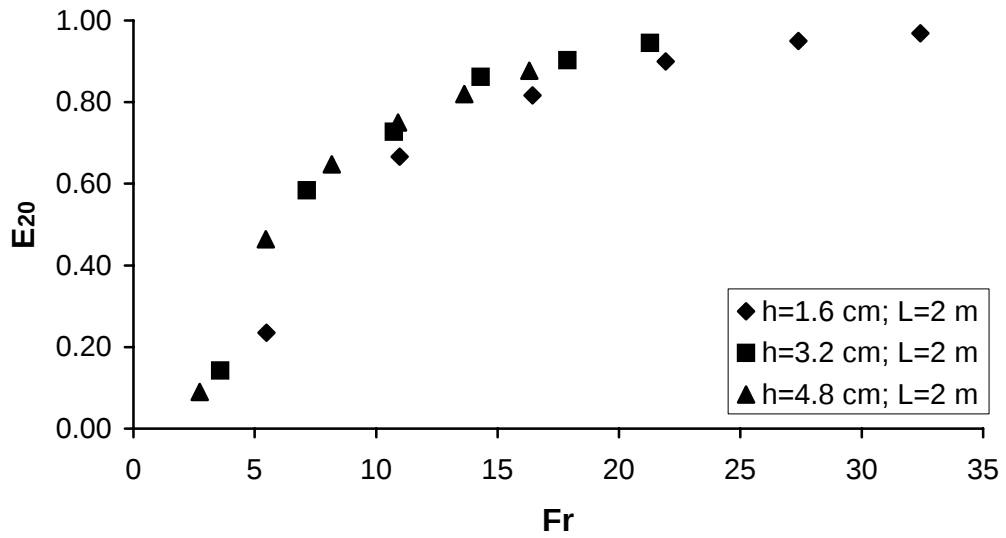
Şekil 6.6.a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi

Şekil 6.7 a-c'den görüleceği gibi E_{20} oksijen transfer verim değeri Froude sayısının artışına bağlı olarak artmıştır.

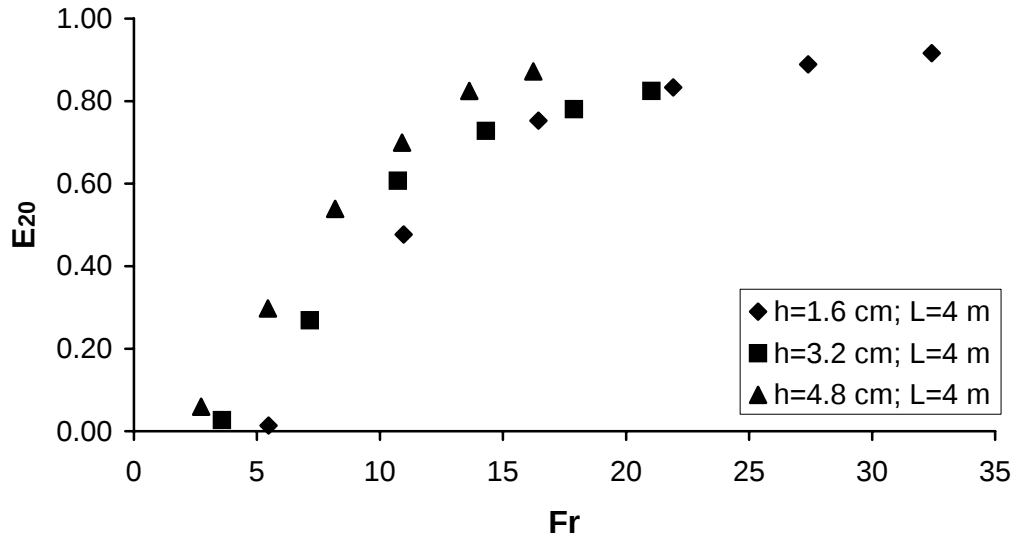
Tüm boylardaki farklı kapak açıklıklarında E_{20} oksijen transfer verim değeri aynı Froude sayılarında yaklaşık olarak birbirine eşit çıkmıştır.

Burada oksijen transfer verim değeri E_{20} açısından kapak açıklığının artmasının çok önemli bir etki oluşturmadığı ifade edilebilir.

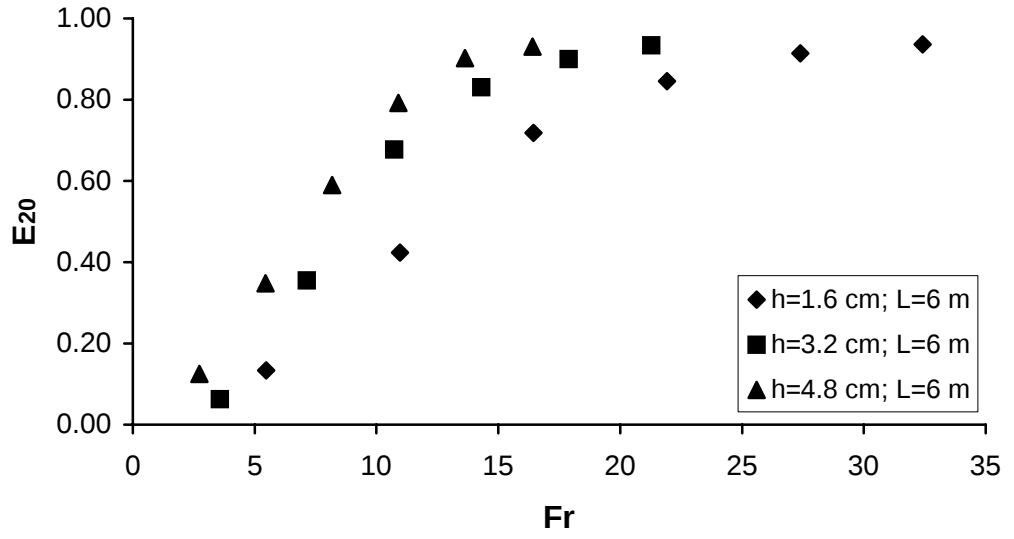
Tüm boylarda 15'ten büyük Froude sayılarında oksijen transfer verim değeri E_{20} maksimumu doygunluğa ulaşmıştır.



(a)



(b)



(c)

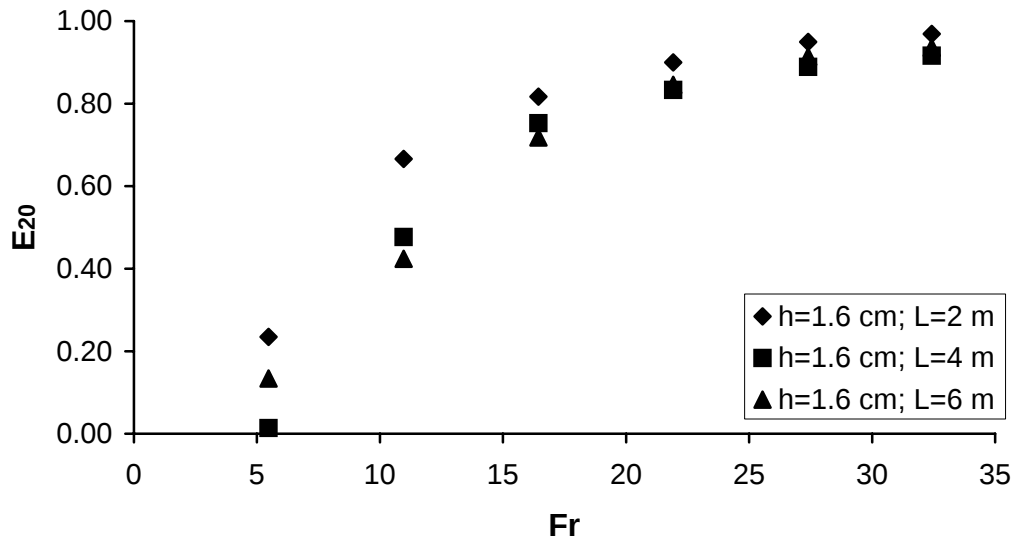
Şekil 6.7. a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı kapak açıklıklarında Froude sayısı ile E_{20} değişimi

Her kapak açıklığındaki farklı boyların tamamında hız artışına ve dolayısıyla Froude sayısının artmasına bağlı olarak oksijen transfer verim değeri E_{20} artmıştır(Şekil 6.8 a-c).

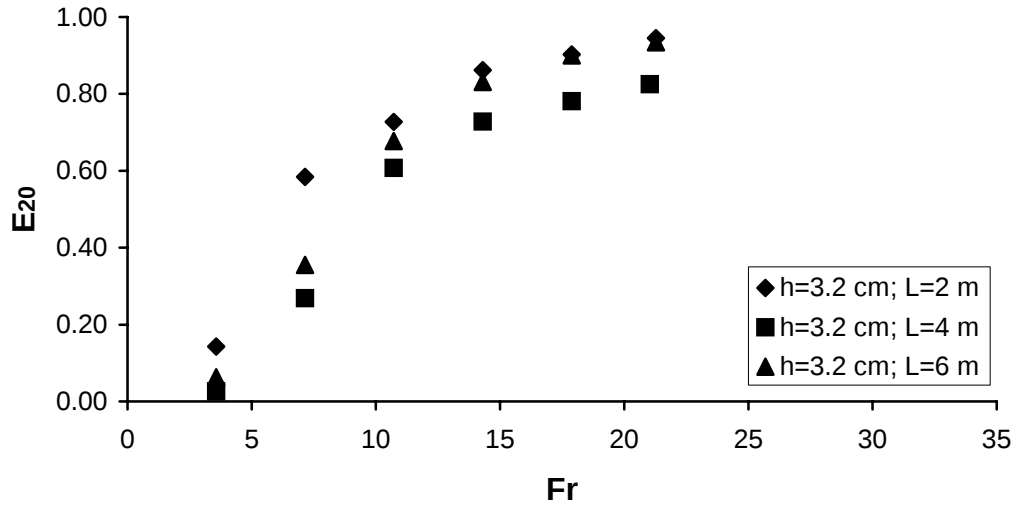
Froude sayısının 15'ten büyük değerlerinde tüm kapak açıklıkları ve tüm boylarda oksijen transfer verim değeri E_{20} maksimum doygunluğa ulaşmıştır.

Konduit boylarındaki artış E_{20} oksijen transfer verim değerini önemli ölçüde etkilememiştir. Boy artışıyla elde edilen değerler genel olarak birbirine çok yakın hatta eşit çıkmıştır.

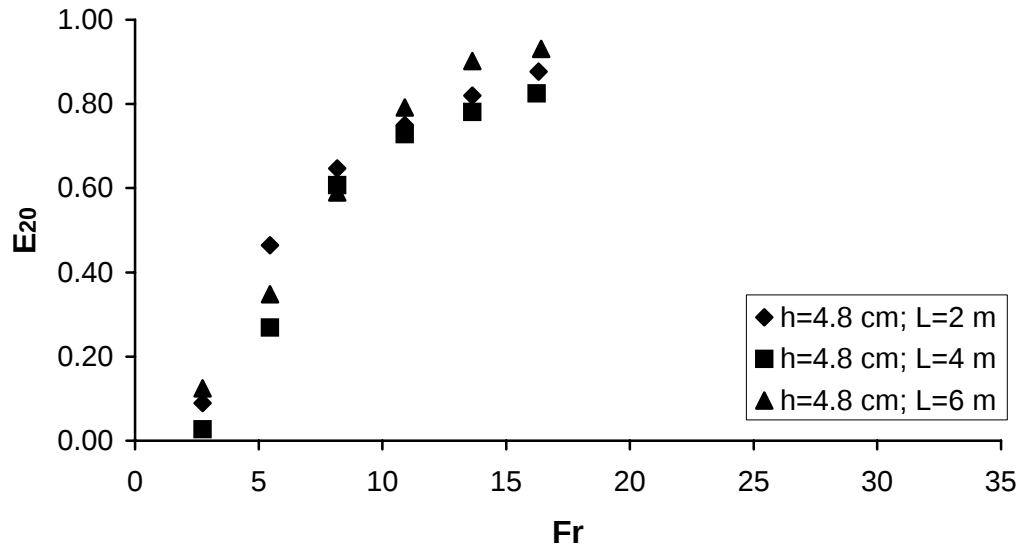
Bu sonuçlardan da görüleceği üzere serbest yüzeyli konduitlerde boy uzunluğu E_{20} oksijen transfer verim değeri üzerinde etkili değildir. Küçük konduit boylarında bile maksimum doygunluk konsantrasyonu sağlanabilmektedir.



(a)



(b)



(c)

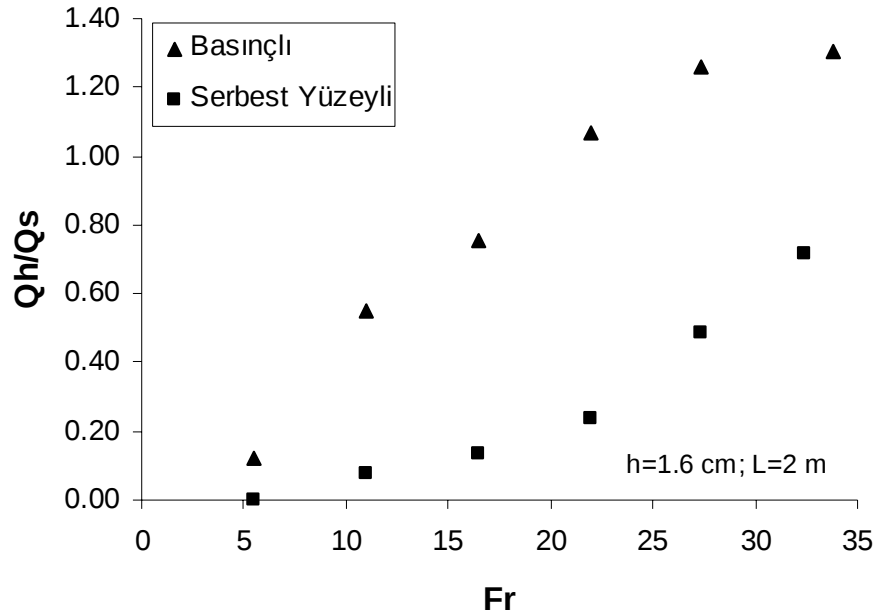
Şekil 6.8. a-c Serbest yüzeyli konduitte farklı boylarda Froude sayısı ile E_{20} değişimi

6.3. Yüksek Basıncılı – Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduitlere Ait Ortak Sonuçlar

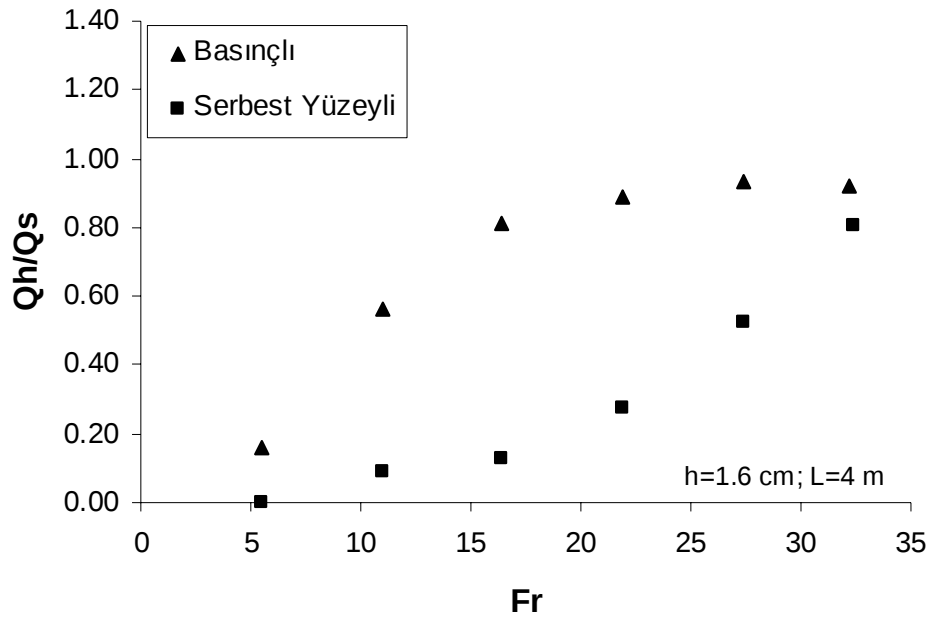
Şekil 6.9. a-c’den görüleceği üzere aynı kapak açıklıklarındaki farklı boyların tamamında hava giriş oranı Q_h/Q_s , yüksek basınçlı kapaklı konduitte serbest yüzeyli konduite nazaran daha yüksek çıkmıştır.

En küçük konduit boyu dikkate alındığında hava giriş oranı Q_h/Q_s açısından yüksek basınçlı konduit daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak boy artışıyla birlikte her iki tip konduitte de elde edilen hava giriş oranı Q_h/Q_s sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 6.10. a-c ve Şekil 6.11. a-c).

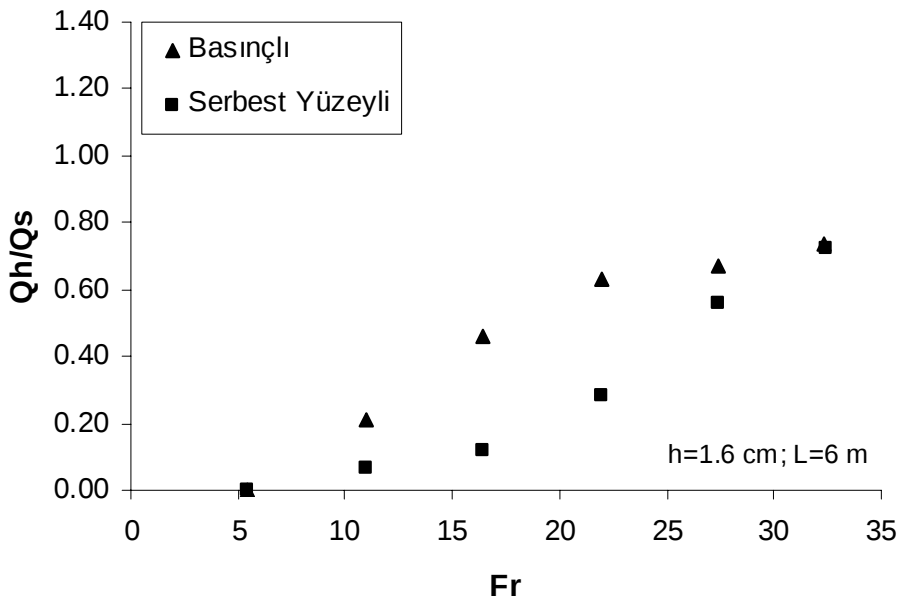
Buradan, hava giriş oranı Q_h/Q_s açısından konduitteki boy artışının konduit tipi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir.



(a)

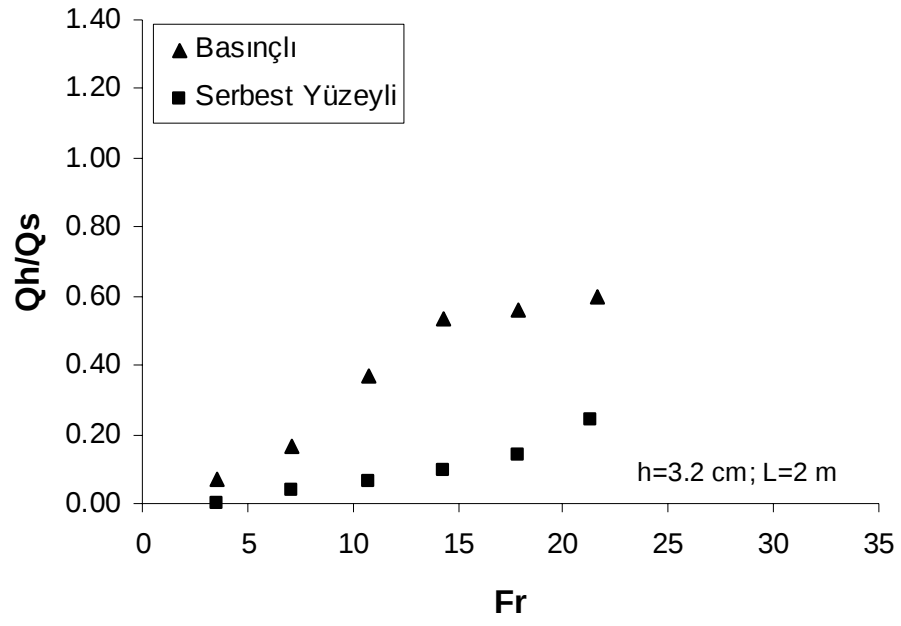


(b)

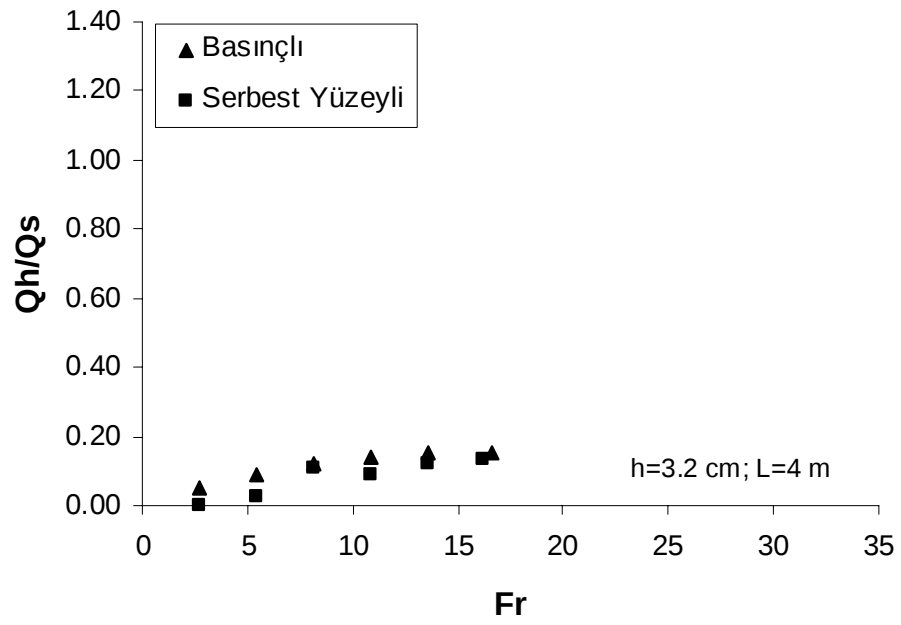


(c)

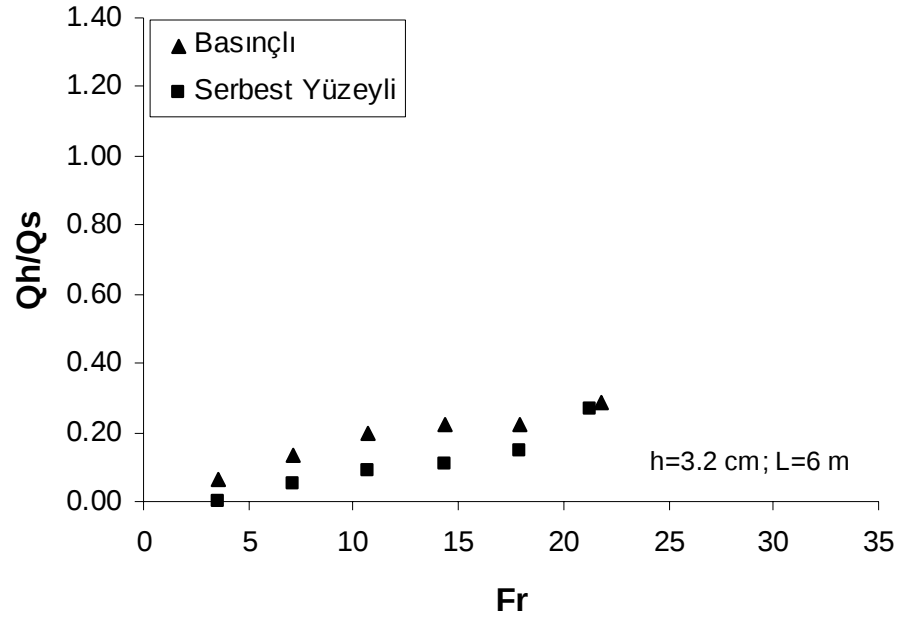
Şekil 6.9. a-c Serbest yüzeyle-Yüksek basınçlı konduitte 1.6 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi



(a)

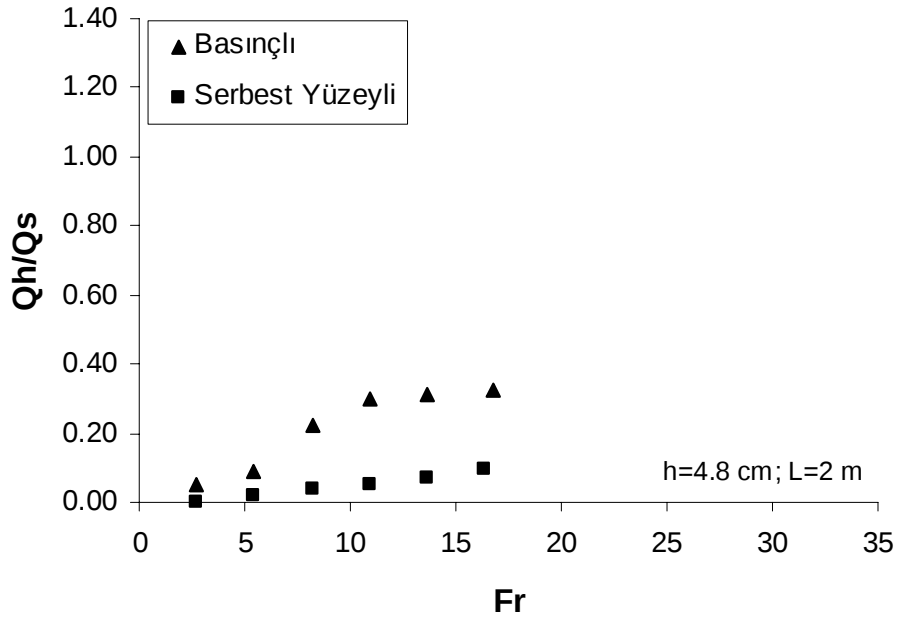


(b)

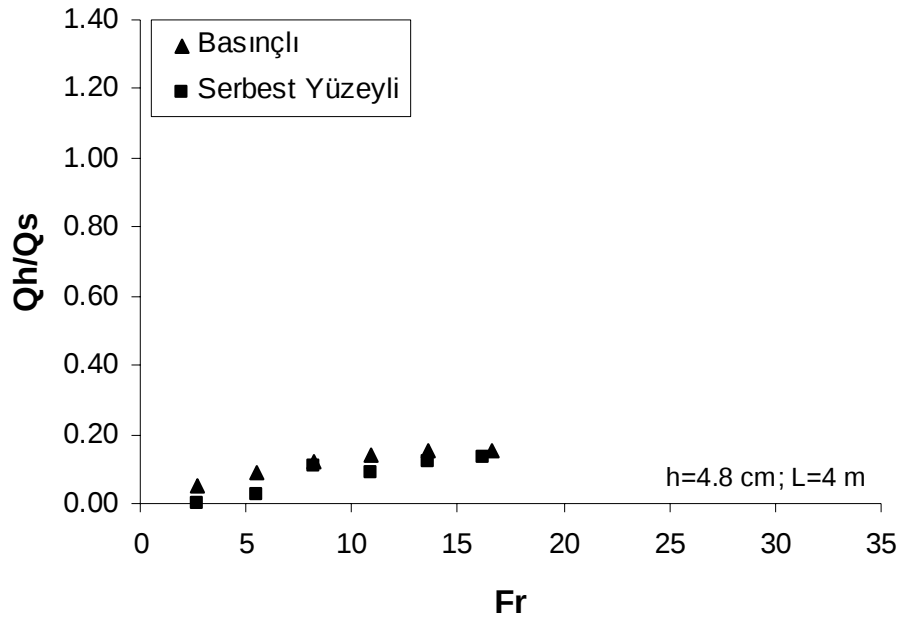


(c)

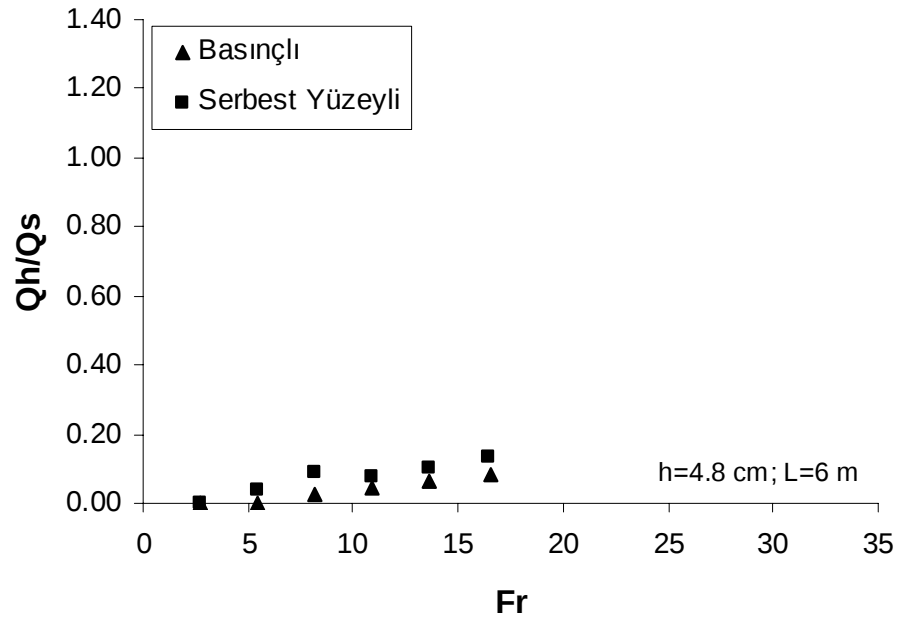
Şekil 6.10. a-c Serbest yüzeyle-yüksek basınçlı konduitte 3.2 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi



(a)



(b)



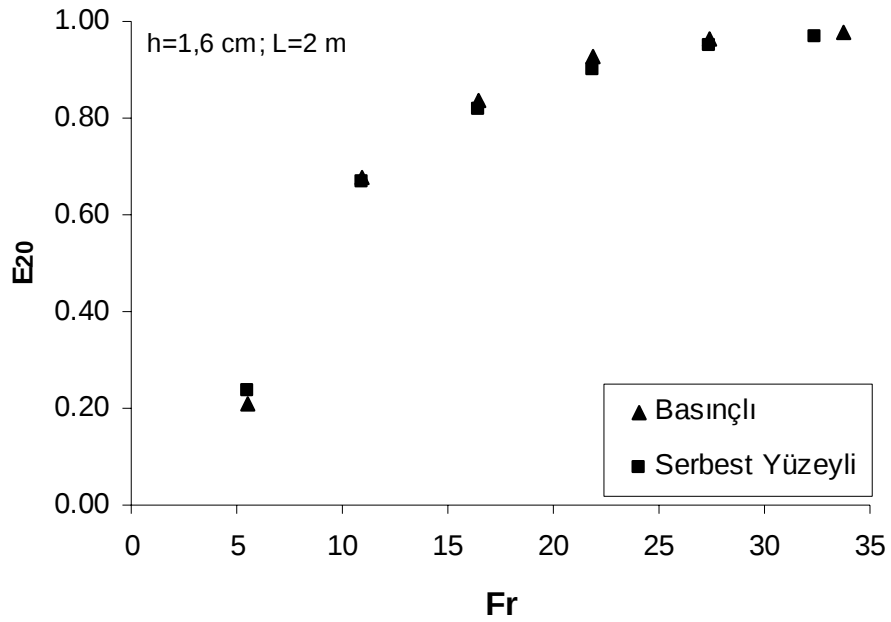
(c)

Şekil 6.11. a-c Serbest yüzeyli-yüksek basınçlı konduitte 4.8 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile Q_h/Q_s değişimi

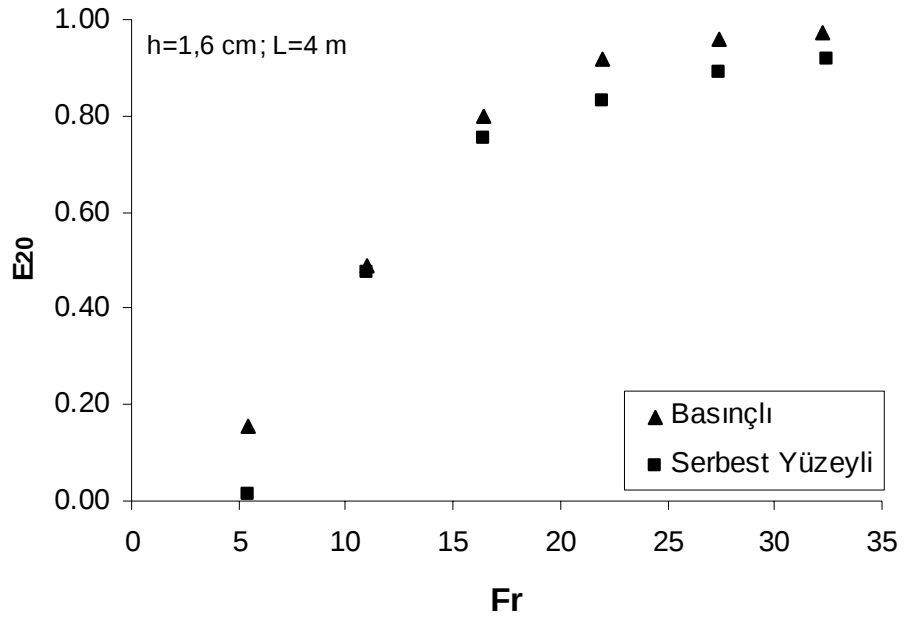
Şekil 6.12. a-c, Şekil 6.13. a-c ve Şekil 6.14. a-c incelendiğinde, tüm kapak açıklığı ve tüm boylarda oksijen transfer verim değeri E_{20} açısından hem serbest yüzeyli hem de yüksek basınçlı kapaklı konduitte elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın hatta eşit çıkmıştır.

Her iki tip konduit için 15'ten büyük Froude sayılarında oksijen transfer veriminin maksimum doygunluk değerine ulaştığı söylenebilir.

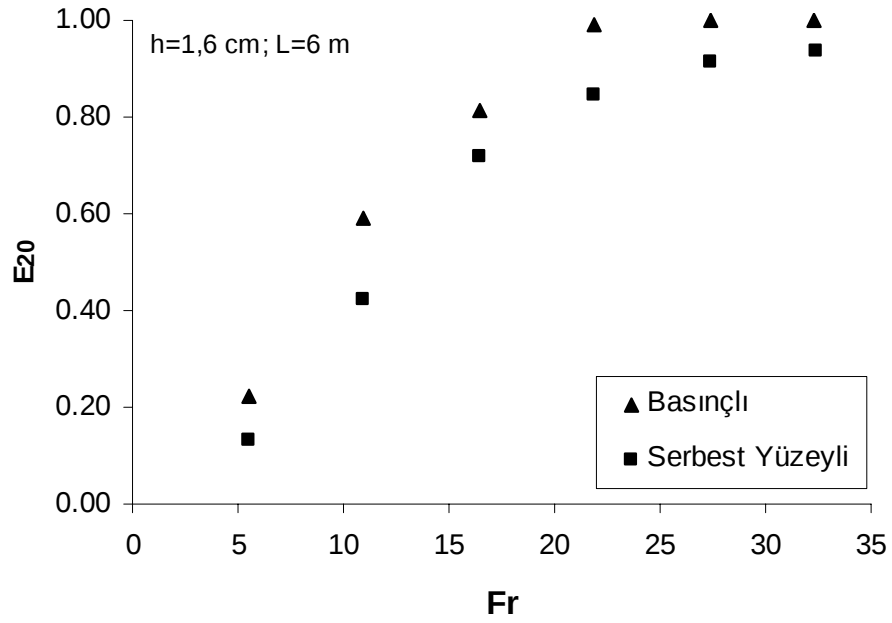
Buradan, konduit tipi, konduit boy uzunluğu ve konduit kapak açıklığı değerlerinin oksijen transfer verimi E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ifade edilebilir.



(a)

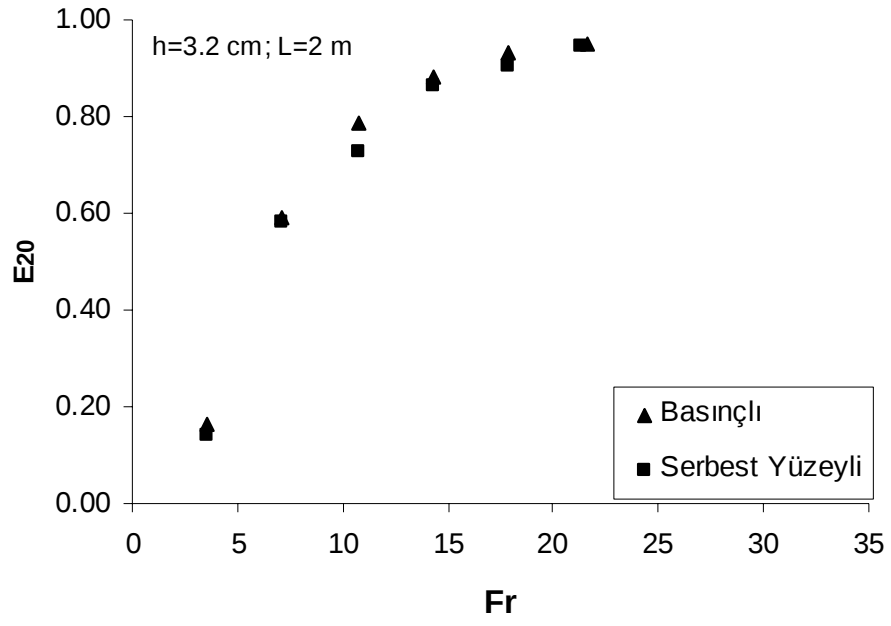


(b)

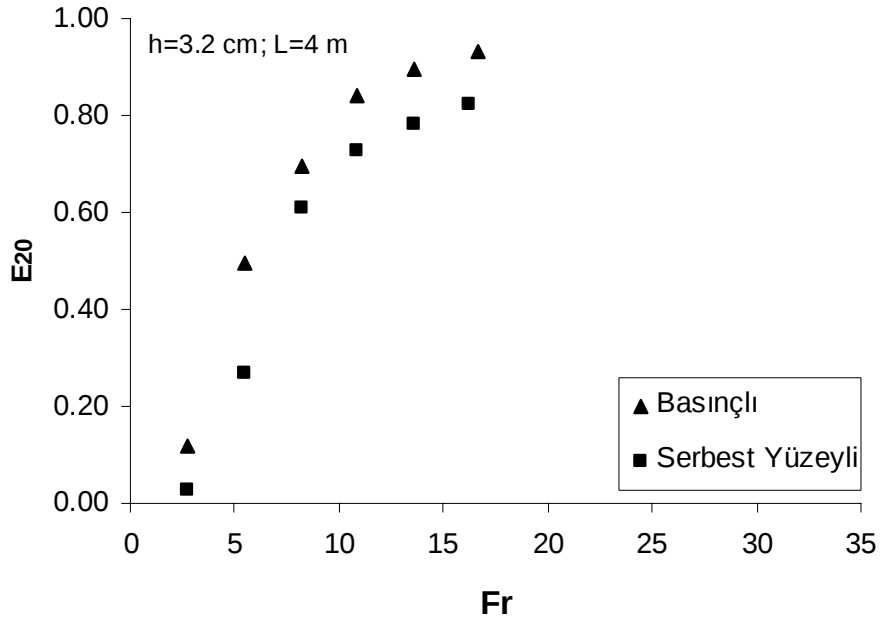


(c)

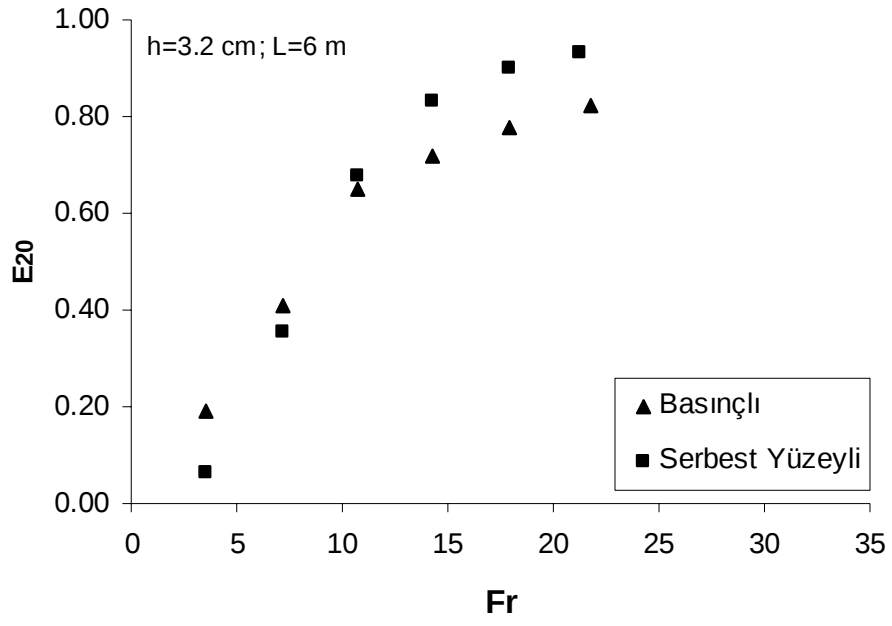
Şekil 6.12. a-c Serbest yüzeyle-yüksek basınçlı konduitte 1.6 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile E_{20} değişimi



(a)

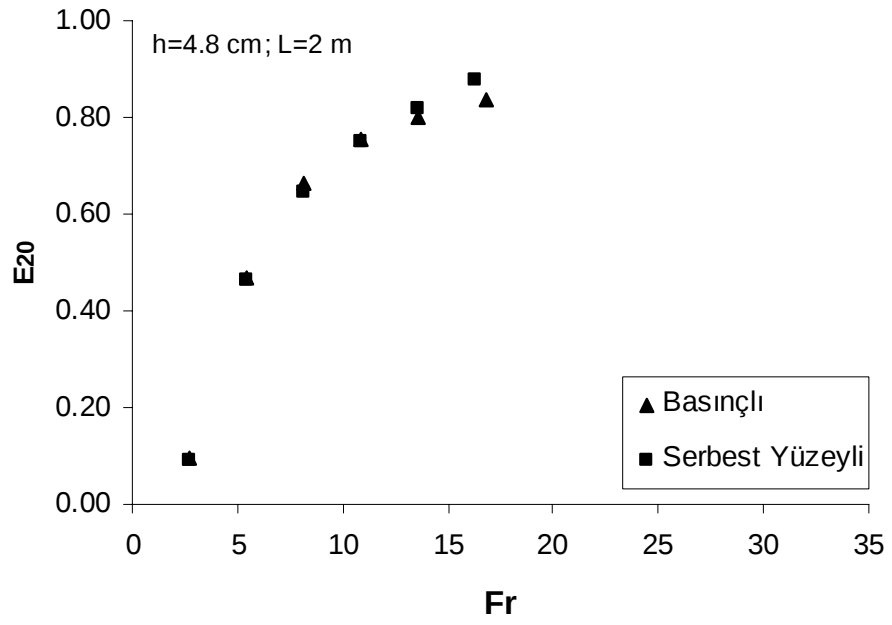


(b)

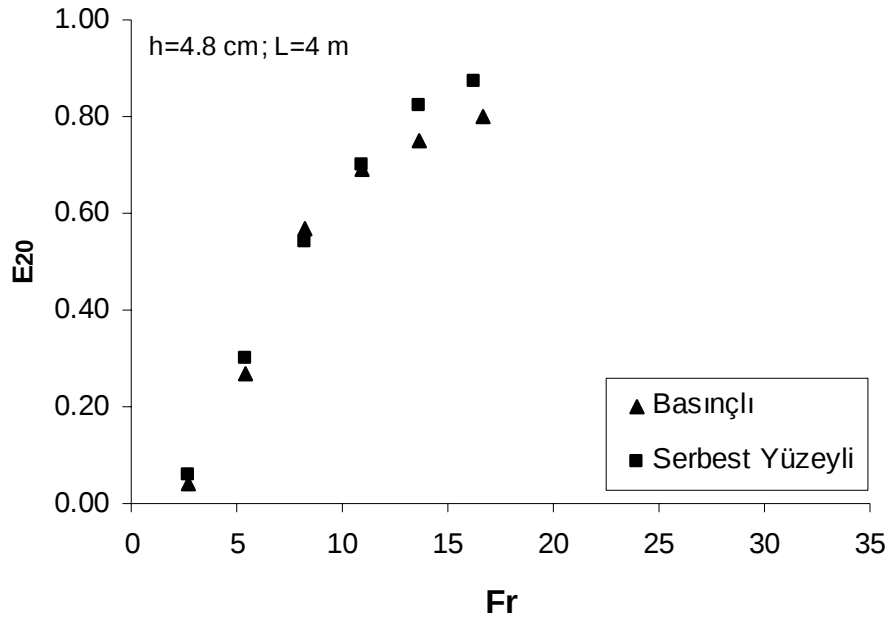


(c)

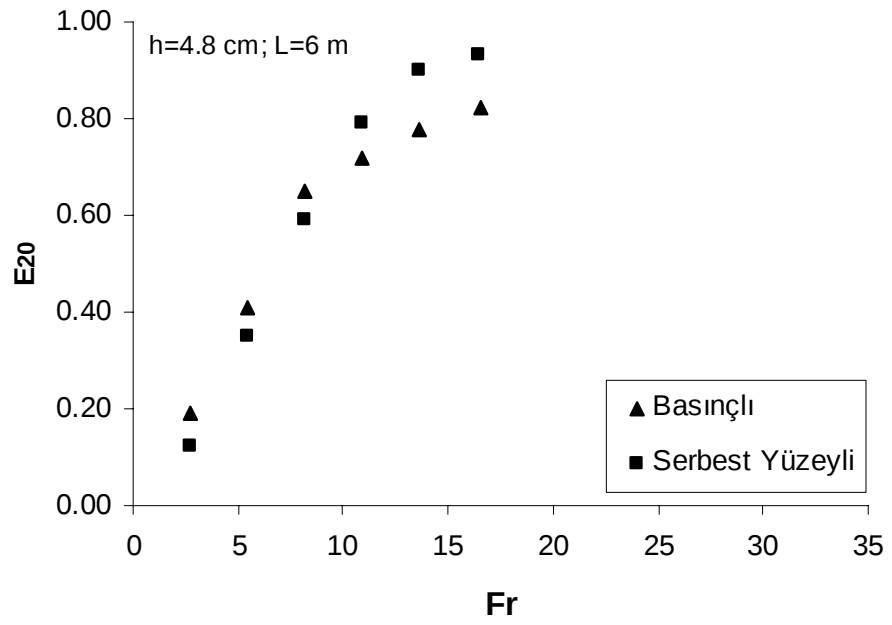
Şekil 6.13. a-c Serbest yüzeyle-yüksek basınçlı konduitte 3.2 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile E_{20} değişimi



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.14. a-c Serbest yüzeyle-yüksek basınçlı konduitte 4.8 cm kapak açıklığı-farklı boy uzunluğu için Froude sayısı ile E_{20} değişimi

Yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak her iki tip konduit için oksijen transfer verimi E_{20} değerini veren formüller geliştirilmiştir. Nonlineer analiz yapılarak elde edilen formüller ve her formüle ait regreasyon katsayısı değerleri aşağıda verilmiştir.

Yüksek Basınçlı Kapaklı Konduit

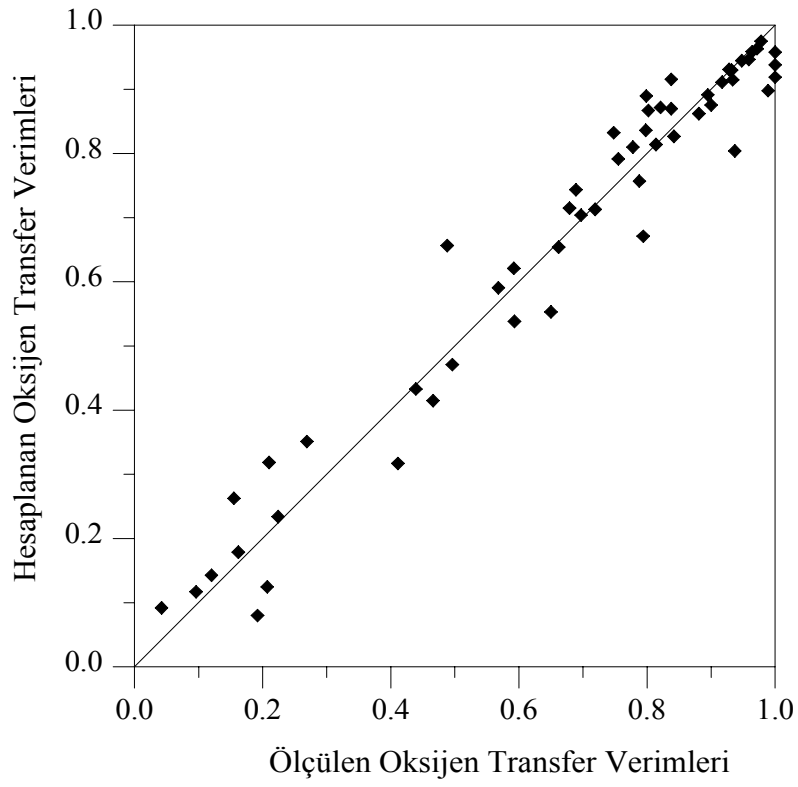
$$E_{20} = 1 - \left[1 + 0.05 \left(\frac{h}{L} \right)^{0.39} Fr^{2.42} \right]^{-1} \quad R^2=0.95$$

Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduit

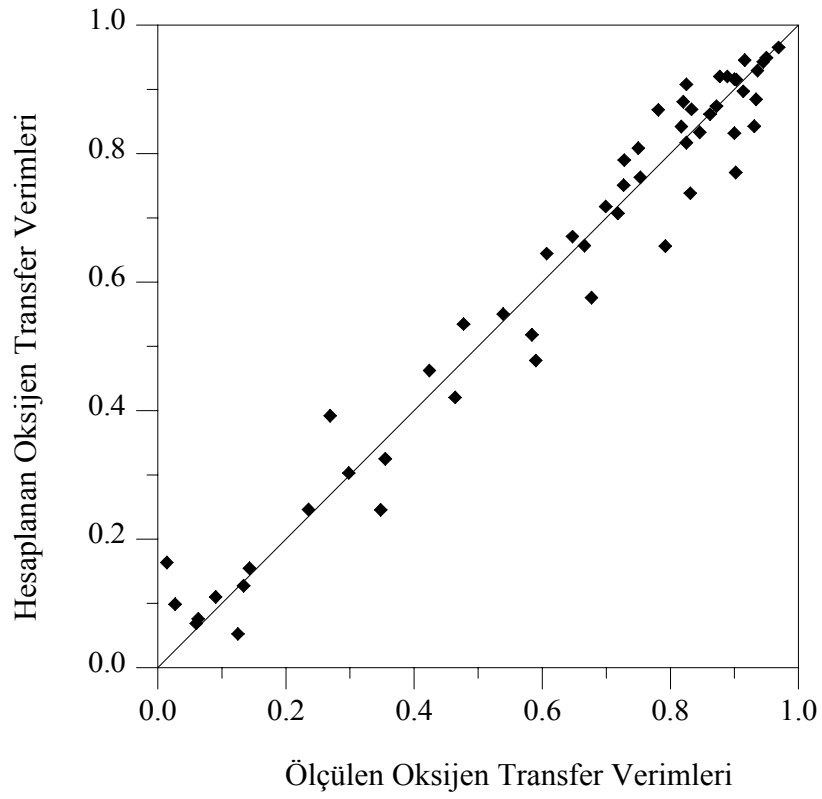
$$E_{20} = 1 - \left[1 + 0.15 \left(\frac{h}{L} \right)^{0.74} Fr^{2.56} \right]^{-1} \quad R^2=0.96$$

Burada; E_{20} = oksijen transfer verimi, h = kapak açıklığı (m), L = konduit boyu (m), Fr = kapak altındaki Froude sayısı'dır.

Ayrıca deneyler yapılarak elde edilen ve formüller kullanılarak hesaplanan değerleri gösteren bir grafik çizilerek deneysel sonuçlar ile hesaplanan değerlerin birbirine uygunluğu tespit edilmiştir (şekil 6.15 ve Şekil 6.16).



Şekil 6.15 Yüksek basınçlı kapaklı konduitte ölçülen ve hesaplanan değerlerin kıyaslanması



Şekil 6.16 Serbest yüzeyli kapaklı konduitte ölçülen ve hesaplanan değerlerin kıyaslanması

Yapılan bu tez çalışmasında hem serbest yüzeyli hem de yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde havalandırma mekanizması hidrolik sıçramayla gerçekleşmektedir.

Son yıllarda Küçükali [47] laboratuarda klasik hidrolik sıçramayla ilgili sistematik deneyler gerçekleştirmiştir. Deneyler, genişliği 0.5 m olan bir açık kanalda gerçekleştirilmiş ve deneylerde Froude sayısı 2.3–6.4 arasında değerler almıştır. Sonuç olarak havalandırma verimliliği 0.01-0.103 arasında değişim göstermiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında serbest yüzeyli ve yüksek basınçlı kapaklı konduitler kullanılarak oksijen transfer verimleri tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında Froude sayısı 2.726-33.798 ve debilerde 1.39- 22.13 l/s arasında değişim göstermiştir. Sonuç olarak havalandırma verimliliği 0.014-1.00 arasında değişmiştir.

Buradan açıkça görüldüğü üzere bu tez çalışmasında kullanılan yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerle maksimum oksijen transfer verimi çok kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu sonuçta serbest yüzeyli ve yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin havalandırma ve oksijen transferi açısından kullanılabilecek en uygun ve en verimli hidrolik yapı olduğu ortaya çıkmıştır.

7. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde hava girişi ve oksijen transfer veriminin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bu incelemelerde yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde hava girişi ve oksijen transfer verimini etkileyen parametreler olarak; su sıcaklığı, konduit kapak açıklığı, konduit boy uzunluğu, kapak altındaki Froude sayısı ve çözünmüş oksijen eksikliği dikkate alınmıştır. Yapılmış olan çok sayıda deneyle yüksek basınçlı ve serbest yüzeyli kapaklı konduitlerin hava girişi ve oksijen transfer verimleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Yüksek Basınçlı Kapaklı Konduit

- Yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde akışkan hızına dolayısıyla Froude sayısının artmasına bağlı olarak hava giriş oranı Q_h/Q_s artmıştır.
- 10'dan büyük Froude sayılarında kapak açıklığının azalmasıyla hava giriş oranı Q_h/Q_s artmıştır.
- Konduit boyunun artmasıyla hava giriş oranı Q_h/Q_s azalmıştır. Bunun sebebi olarak memba ve mansap arasındaki basınç farkının azalması ifade edilebilir.
- Froude sayısının artmasıyla oksijen transfer verim değeri E_{20} artış göstermiştir. Bunun nedeni hava giriş oranının artması olarak ifade edilebilir.
- 15'ten büyük Froude sayılarında oksijen transfer verim değeri E_{20} maksimum doygunluğa ulaşmıştır.
- Yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde kapak açıklığındaki artışın oksijen transfer verim değeri E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Konduit boyundaki artışın oksijen transfer verim değeri E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunu sebebi olarak, konduit boyunun artmasıyla azalan hava giriş oranı Q_h/Q_s ifade edilebilir.

Serbest Yüzeyli Kapaklı Konduit

- Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde tüm boy ve tüm kapak açıklıklarında Froude sayısının artmasıyla hava giriş oranı Q_h/Q_s artış göstermiştir.
- Kapak açıklığındaki ve konduit boyundaki değişimin hava giriş oranı Q_h/Q_s üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.
- Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde Froude sayısının artışına bağlı olarak oksijen transfer verim değeri E_{20} artış göstermiştir. Bunun nedeni hava giriş oranının artması olarak ifade edilebilir.
- 15'ten büyük Froude sayılarında oksijen transfer verim değeri E_{20} maksimum doygunluğa ulaşmıştır.
- Serbest yüzeyli kapaklı konduitlerde kapak açıklığı ve konduit boyundaki artışın oksijen transfer verim değeri E_{20} üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Öneriler

- Hidrojen sülfür, metan gibi gazların sulardan uzaklaştırılması, demir ve mangan'ın oksidasyonunun sağlanması gibi konular üzerine çalışmalar yapılabilir
- Farklı enkesitlere sahip konduitler kullanılarak oksijen transfer verimleri tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Karpuzcu, M., “Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü” Boğaziçi üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991
2. Eroğlu, V., “Su Tasfiyesi”, T.C. İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1439, İstanbul, 1991
3. Baylar, A., 2002, Savak Havalandırıcılarda Tip Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85 s.
4. Chaudhry M.H., Yevjevich V., “Closed-Conduit Flow” Water Resources Publication, Michigan, USA, 1981
5. Gameson, A. L. H., “Weirs and Aeration of Rivers”, Journal of the Institution of Water Engineers, Vol. 11, 1957.
6. Gameson, A. L. H., Vandyke, K. G., and Ogden, C. G., “ The Effect of Temperature on Aeration”, Water and Water Engineering, November, 1958.
7. Avery, S., and Novak, P., “Modeling of Oxygen Transfer from Air Entrained by Solid Jets Entering a Free Water”, Proceedings of the XVII Congress, IAHR A59, 1977.
8. Water Research Laboratory (WRL), “Notes on Water Pollution-Aeration of Weirs”, Report. No.61, Department of the Environment, Stevenage, U.K., 1973.
9. Thene, J. R., “Gas Transfer at Weirs Using Hydrocarbon Gas Tracer Method with Head-Space Analysis”, PhD Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, Minn., 1988.
10. Holler, A. G., “Reaeration of Discharge through Hydraulic Structures”, PhD Thesis, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, 1970.
11. Markofsky, M., and Kobus H., “Unified Presentation of Weir-Aeration Data”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 104, 1978, pp. 562.
12. Nakasone, H., “Study of Aeration at Weirs and Cascades”, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 1, February, 1987, pp. 64-81.
13. Preul, H. C., and Holler, A. G., “Reaeration Through Low Dams in the Ohio River”, Proc., Industrial Waste Conf., Purdue Univ., South Bend, Ind., 1969, pp. 1249-1270.
14. Rindels, A. J., and Gulliver, J. S., “Oxygen Transfer at Spillways”, Proc., Air-Water Mass Transfer, S. C. Wilhelms and J. S. Gulliver, eds., ASCE, New York, N.Y., 1991,
15. Thene, J. R., “Gas Transfer at Weirs Using Hydrocarbon Gas Tracer Method with Head-Space Analysis”, PhD Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, Minn., 1988

16. Ervine, D. A., and Elsayy, E. M., "The Effect of a Falling Nappe on River Aeration", Proc., XVI. Congr., Int. Assn. for Hydr. Res., IAHR, Delft, The Netherlands, Vol. 3, 1975, pp. 390-397.
17. Elsayy, E. M., and McKeogh, E. J., "Study of Self Aerated Flow with Regard to Modelling Criteria", Proc., 17th Congr. of Int. Assoc. for Hydr. Res., Delft, The Netherlands, Paper No. A60, 1977, pp. 475-482.
18. Tsivoglou, E. C., and Wallace, J. R., "Characterization of Stream Reaeration Capacity", USEPA Rep. No. R3-72-012, U.S. Envir. Protection Agency., Washington., D. C., 1972.
19. Foree, E. G., "Reaeration and Velocity Prediction for Small Streams", Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 102, No. 5, 1976, pp. 937-952.
20. Wilhelms, S. C., and Smith, D. R., "Reaeration of Through Gated-Conduit Outlet Works", Tech. Rep. No. E-81-5, U. S. Army Corps of Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, 1981.
21. Wilhelms, S. C. "Reaeration of Low-Head Gated Structures Preliminary Results", E-88-1, Water Operations Technical Support, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, 1988.
22. Wormleaton, P. R., and Soufiani, E., "Aeration Performance of Triangular Planform Labyrinth Weirs", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 8, 1998, pp. 709-719.
23. Watson, C.C., Walters, R. W., and Hogan, S. A., "Aeration Performance of Low Drop Weirs", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 1, January, 1998, pp. 65-71
24. Sharma R. H., " Air Entrainment In High Head Gated Conduits", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 102, November 1976 573.
25. Stahl H., Hager H. W., "Hydraulic Jump In Circular Pipes" , Canadian Journal of Civil Engineering, 26: 368-373, 1999
26. Speerli J., "Air Entrainment of Free Surface Tunnel Flow", 28 th. IAHR Congress, Graz, Austria, 1999
27. Butts, T. A., and Evans, R. L., "Small Channel Dam Aeration Characteristics", J. Envir. Engrg., ASCE, 109(3), 1983, pp. 555-
28. Wormleaton, P. R., Tsang, C. C., "Aeration Performance of Rectengular Planform Labyrinth Weirs", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 5, May 2000, pp. 456-465.

29. Ozkan F., Ozturk M., ve Baylar A., "Experimental Investigations of Air and Liquid Injection by Venturi Tubes", *Water and Environment Journal*, 20 (3), 2006, 114-122.
30. Ozkan F., Baylar A., ve Ozturk M., "Air Entraining and Oxygen Transfer in High-Head Gated Conduits", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159 (2), 2006, 139-143.
31. Baylar A., ve Ozkan F., "Applications of Venturi Principle to Water Aeration Systems", *Environmental Fluid Mechanics*, 6 (4), 2006, 341-357.
32. Baylar A., ve Ozkan F., ve Unsal M., "On the Use of Venturi Tubes in Aeration", *CLEAN - Soil, Air, Water*, 35 (2), 2007, 183-185.
33. Bagatur T., "Minimal Conditions for Venturi Aeration of Water Flows" *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management Vol. 158, WM3, 2005*, 127-130.
34. Özkan F., 2005, Basınçlı Su Borularında Hava İletimi ve Oksijen Transferinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 64s.
35. Gulliver, J. S., and Rindels, A. J., "Measurement of Air-Water Oxygen Transfer at Hydraulics Structures", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 119, No. 3, March, 1993, pp. 328-349.
36. Tebbutts, T. H. Y., Rajaratnam, S. K., and Essery, I. T. S., "Reaeration Performance of Stepped Cascades", *J. Inst. of Water Engrs. and Sci.*, 31, 1977, pp. 285-297.
37. Muslu, Y., "Su Temini ve Çevre Sağlığı Cilt II", T.C. İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1302, İstanbul, 1985.
38. Isaacs, W. P., and Gaudy, A. F., Jr., "Atmospheric Oxidation in a Simulated Stream", *J. Sanit. Engrg. Div., ASCE* 94 (2), 319, 1968.
39. Gameson, A. L. H., and Robertson, H. B., *J. Appl. Chem.*, 5, 503, 1955.
40. Benson, B. B., and Krause, D., "The Concentration and Isotopic Fractionation of Oxygen Dissolved in Freshwater and Seawater in Equilibrium with the Atmosphere", *Limnol. Oceanogr.*, 29, 620, 1984.
41. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1985.
42. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1989.
43. Hua, H., "Accurate Method For Calculation of Saturation DO", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 5, September/October, 1990, pp. 988-990.

- 44.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1980.
- 45.** White, E. M., “Fluid Mechanics”, McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y., 1979, pp. 63-65.
- 46.** McGhee, T. J., “Water Supply and Sewerage”, McGRAW - HILL International Editions, 6th Edition, 1991.
- 47.** Küçükali S., 2006, Hidrolik Sıçramanın Havalandırma Verimliliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 125s.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Adıyaman’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyaman’da tamamladıktan sonra 1997 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2001 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2001-2004 yılında İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansını tamamladı. 2001 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü’ne araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.