

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

**BASINÇLI SU BORULARINDA HAVA İLETİMİ VE OKSİJEN
TRANSFERİNİN İNCELENMESİ**

Fahri ÖZKAN

Tez Yöneticisi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2005

BASINÇLI SU BORULARINDA HAVA İLETİMİ VE OKSİJEN TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

Fahri ÖZKAN

Doktora Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 25 / 02 / 2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri üyeleri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile başarılı / ~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

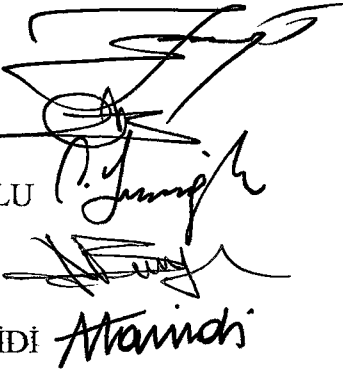
Danışman: Yrd.Doç.Dr. Mehmet TUĞAL

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mualla ÖZTÜRK

Üye : Yrd.Doç.Dr. Salih YAZICIOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ahmet BAYLAR

Üye : Yrd.Doç. Dr. Nizamettin HAMİDİ



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 09/03/05...tarih ve 2005-8...1... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

TEŐEKKÜR

Tez ve bilimsel anlamda bu çalıŐmayı yöneten ve çalıŐmalarım sırasında büyük desteğini ve emeğini gördüğüm danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUğAL'a teŐekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu tez çalıŐmasının deneylerinin yapım aşamasında ve hazırlanmasında zamanını ayırarak bu çalıŐmanın meydana gelmesinde büyük katkıları olan Yrd.Doç.Dr. Ahmet BAYLAR'a, Yrd.Doç.Dr.Mualla ÖZTÜRK'e, Yrd.Doç.Dr. Salih YAZICIOğLU'na, ArŐ.Gör. Mehmet ÜNSAL'a ve bu projeyi destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) KuruluŐu'na teŐekkürü bir borç bilirim.

Fahri ÖZKAN



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	V
SİMGELER LİSTESİ.....	VI
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	4
3. OKSİJEN TRANSFERİ.....	9
3.1.Çift Film Teorisi.....	9
3.2. Oksijen Transfer Verimi.....	11
3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi.....	12
3.4. Kütle Transfer Katsayısının Tayini.....	13
3.5. Çözünmüş Oksijen Doymuluk Konsantrasyonu.....	16
4. YÜKSEK BASINÇLI KAPAKLI KONDUİT VE VENTURİ AYGITI.....	25
4.1 Yüksek Basıncılı Kapaklı Konduit.....	25
4.2.Venturi Aygıtı.....	26
4.3.Klasik Venturi Aygıtında Boyutlandırma.....	28
4.4.Venturi Aygıtının Uygulama Alanları.....	28
4.5.Venturi Aygıtının Gaz Enjeksiyonunda Kullanılması.....	29
4.6.Venturi Aygıtının Sulama-Gübre Enjeksiyon Amaçlı Kullanımı.....	30
4.7.Venturi Aygıtının Havalandırma Amaçlı Kullanımı.....	31
5.MATERYAL VE METOT.....	32
5.1.Materyal.....	32
5.2.Deney Düzeneği.....	33
5.3.Oksijenmetrelerin Kullanılması.....	36
5.4.Deneyin Yapılışı.....	37
6.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	41
6.1.Venturi Havalandırıcılar.....	41
6.1.1.Venturi havalandırıcılarda hava emme performansları.....	41
6.1.2.Venturilerde geri devirsiz sistemlere ait oksijen transfer veriminin sonuçları.....	45
6.1.3.Venturilerde geri devirli sistemlere ait sonuçlar.....	49
6.2.Kapaklı Konduitler.....	51

6.2.1.Kapaklı Konduitlerde hava emme performansları.....	51
6.2.2.Kapaklı konduitlerde geri devirsiz sistemlere ait sonuçlar.....	53
6.2.3.Kapaklı konduitlerde geri devirli sistemlere ait sonuçlar.....	58
7.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR.....	63



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.....	10
Şekil 3.2	$K_L a$ 'nın grafik yolla tayini.....	15
Şekil 4.1	Kapaklı konduit mansabında iki fazlı akım.....	25
Şekil 4.2	Kapaklı konduit içerisindeki akış tiplerinin sınıflandırılması.....	26
Şekil 4.3	Bir venturi aygıtının görünümü.....	27
Şekil 4.4	Bir venturi aygıtının teorik değişkenleri.....	27
Şekil 4.5	Klasik venturide boyutsal değerler.....	28
Şekil 4.6	Venturi aygıtında gaz enjeksiyonu.....	29
Şekil 4.7	Venturi aygıtının yağmurlama tipi sulama sisteminde sıvı gübre enjeksiyonunda kullanımı.....	30
Şekil 4.8	Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı.....	31
Şekil 5.1	Yüksek basınçlı kapaklı konduit.....	32
Şekil 5.2	Venturi aygıtı en kesiti.....	32
Şekil 5.3	(a-c)Venturi havalandırıcı ve kapaklı konduitlerde geri devirsiz sistem için deney düzeneği.....	35
Şekil 5.4	Geri devirli sistem için deney düzeneği.....	36
Şekil 5.5	Yatay konumda venturilere ait hava emme performanslarının ölçülmesi için deney düzeneği.....	38
Şekil 5.6	45° eğimli venturilere ait hava emme performanslarının ölçülmesi için deney düzeneği.....	38
Şekil 6.1	Farklı boru çapları ve daralma oranlarına sahip venturilerde akım hızına bağlı olarak hava emme miktarının değişimi.....	42
Şekil 6.2	Farklı akış hızları için hava emme performansının Venturi mansabındaki boru boyu ile değişimi.....	43
Şekil 6.3	Farklı hız değerleri için venturilerde hava emme performansının eğimle değişimi.....	44
Şekil 6.4	Farklı hız değerleri için boru boylarına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi.....	46
Şekil 6.5	Farklı hız değerleri için venturi yatay açısına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi.....	47
Şekil 6.6	Farklı hız değerleri için venturi daralma oranlarına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi.....	48
Şekil 6.7	Farklı kapak açıklıkları için akışkan hızına bağlı olarak emilen hava miktarı değişimi.....	51

Şekil 6.8 Farklı kapak açıklıkları için akışkan hızına bağlı olarak emilen hava emme performansı değişimi.....	52
Şekil 6.9 Farklı kapak açıklıkları için akışkan hızına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi.....	53
Şekil 6.10 Farklı kapak açıklıkları için hava emme miktarına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi.....	54
Şekil 6.11 Farklı kapak açıklıkları için hava emme performansına bağlı olarak oksijen transfer katsayısı değerlerinin değişimi.....	55
Şekil 6.12 Farklı eğimler için konduitlerde akım hızına bağlı olarak hava emme performansının değişimi.....	56
Şekil 6.13 Farklı eğimler için konduitlerde akım hızına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi.....	57



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 Suda çok az çözünen gazlara ait Henry sabitleri.....	17
Tablo 3.2 Çeşitli gazların yayınma katsayıları.....	18
Tablo 3.3 Sıcaklığa bağlı olarak suyun buhar basıncı.....	18
Tablo 3.4 760 mm Hg basıncında ve % 20.90 nispetinde oksijen ihtiva eden kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları.....	22
Tablo3.5 Deniz seviyesinden yükseklerde çözünmüşoksijen doygunluk konsantrasyonunun değişimi.....	23
Tablo 3.6 Deniz seviyesinde tuzluluğun çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi.....	24
Tablo 5.1 Tuzluluğa karşı gelen % değeri.....	36
Tablo 5.2 Barometrik basınca karşı gelen % değeri.....	37
Tablo 6.1 Venturi Havalandırıcı (V = 0.75 m ³).....	50
Tablo 6.2 Venturi Havalandırıcı (V = 1.5 m ³).....	50
Tablo 6.3 Konduit (V = 0.75 m ³).....	59
Tablo 6.4 Konduit (V = 1.5 m ³).....	59

SİMGELER LİSTESİ

- $\frac{dC}{dt}$: Konsantrasyon değişme hızı (mg/L/s)
- $\frac{A}{V}$: Özgöl ara kesit yüzeyi (1/m)
- $\frac{dm}{dt}$: Madde transfer hızı (g/s)
- A : Oksijen transferinin meydana geldiği yerdeki alan (m²)
- 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)
- C : Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- C_d : Standart şartlarda mansapta bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- C_{d1} : Deney yapılan şartlarda mansapta ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- C_{ds} : Klorür konsantrasyonu (g/L)
- C_g : Gazın gaz ortamdaki konsantrasyonu (mg/L)
- C_{hl} : % klor miktarı
- C_o : Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- C_s : Standart şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
- C_s^{*} : Standart şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
- C_{s1} : Deney yapılan şartlardaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
- C_t : Mansaptaki suyun t dakika sonundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- C_u : Standart şartlarda membada bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- C_{u1} : Deney yapılan şartlarda membada ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
- D : Venturi giriş çapı (mm)
- D_t : Venturi boğaz çapı (mm)
- D_d : Savağın kretinden düşme yüksekliği (m)
- E : Oksijen transfer verimi (deney şartlarındaki T °C de)
- E₁₅ : 15 °C deki oksijen transfer verimi
- E₂₀ : 20 °C'deki oksijen transfer verimi
- EL : Ölçüm yapılan bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği (m)
- F : Froude Sayısı
- f : Kuru havada gazın hacim yüzdesi
- g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

- H : Henry Sabiti
- H_D : Mansap su derinliği (m)
- h : Suyun dūřme yūkseklilđi (m)
- H_c : Savak ūzerindeki kritik su derinliđi (m)
- k_D : Yayılma katsayısı
- K_g : Oksijen için difūzyon katsayısı (m/s)
- K_{La} : Kūtle transfer katsayısı (1/saat)
- $K_{La_{20}}$: 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 ve venturi mansabındaki boru uzunluğu (m)
- M_a : Gazın molekūl ağırlılığı (g/mol)
- O_R : Standart şartlardaki oksijen transfer oranı (kg O₂/ saat)
- P_o : Atmosferik basınc (bar)
- P_A : Atmosferik basınc (mm Hg)
- P : Gaz basıncı (Pa)
- P_g : Gazın kısmi basıncı (atm)
- P_V : Buhar basıncı (Pa)
- P_{dV} : Kısmi su buharı basıncı (bar)
- P_S : Kısmi su buharı basıncı (mm Hg)
- q : Birim genişlikten geçen debi (m³/s/m)
- Q : Savak debisi (m³/s)
- Q_A : Hava debisi (m³/s)
- Q_w : Su debisi (m³/s)
- R : Reynolds Sayısı
- r : Oksijen eksiklik oranı
- r_{15} : 15 °C'deki oksijen eksiklik oranı
- r_{20} : 20 °C deki oksijen eksiklik oranı
- R : Ūniversal gaz sabiti (8.3145 J / K. mol)
- s : Konduitin eğimi
- t_t : Napın kalınlılığı (m)
- t : Oksijen transferinin meydana geldiği zaman (s)
- t_u ve t_d : Kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiđi sūreler (s)
- T : Su sıcaklığı (°C)
- T_K : Mutlak sıcaklık (°K)
- V : Havalandırılan suyun hacmi (m³)

- v_0 : Havanın girmesi için ihtiyaç duyulan minimum hız (1.1 m/s)
 v_1 : Venturi girişinde akışkanın hızı (m/s)
 v_2 : Venturi boğaz bölgesinde akışkanın hızı (m/s)
 V_w : Akışkanın hızı (m/sn)
 x_g : Çözülmüş gazın dengedeki mol oranı
 α : venturi ve konduit mansabında boru eğimi
 α_t : Bir katsayı (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$)
 θ_1 : Venturi giriş koni açısı (derece)
 θ_2 : Venturi çıkış koni açısı (derece)
 γ : suyun birim hacim ağırlığı (ton/m³)



ÖZET

Doktora Tezi

BASINÇLI SU BORULARINDA HAVA İLETİMİ VE OKSİJEN TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

Fahri ÖZKAN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa: 64

Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, su kalitesi açısından çok önemli bir parametredir. Suyun yapısı ile çok kısa bir süreyle teması durumunda bile, Hidrolik yapıların küçük su birikintileri içerisindeki çözünmüş oksijen miktarına önemli etkileri vardır. Oksijen transferinin hızlanmasındaki en önemli neden akım içerisinde çok sayıda hava kabarcığının girmesidir. Bu hava kabarcıkları kütle transferi için gerekli olan yüzey alanını büyük miktarda artırır.

Serbest yüzeyli akımlara ait havalandırma özellikleri laboratuvar ve saha şartlarında etraflıca araştırılmıştır. Ancak basınçlı borulara ait havalandırma verimi özellikleri ve oksijen transfer verimleri araştırılmamıştır. Bu çalışmada basınçlı borulara hava girişi ve bunun oksijen transferine etkisi araştırılmıştır. Konduit kapağının kısmen açık olduğu durumda oluşan düşük basınç, havayı kapak mansabındaki delikten içeri doğru sürükler. Su içerisinde giren hava kapak mansabında çabuk bir şekilde küçük hava kabarcıklarına bölünmeye zorlanır. Su içerisinde oksijenin çözünmesi konduitlerde kapak mansabında oluşan bu emmeden kaynaklanmaktadır. Ayrıca yüksek basınçlı borulardaki akım sistemi oksijenin su içerisinde çözünmesini kolaylaştırır. Araştırma sonuçları yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin, suda çözülmüş oksijen değerini neredeyse doygunluk değeri derecesine çıkardığını göstermiştir. Bu nedenle yüksek basınçlı kapaklı konduitler oksijen transferi açısından oldukça yüksek verime sahiptir.

Venturi sistemlerinde daralan kesit içerisinde ilerleyen suyun hızının ani bir şekilde artması sonucu venturi boğaz bölgesinde düşük basınç oluşur. Hız değişiminin neden olduğu bu

düşük basınç havayı sistem içerisine sürükler. Sistem içerisine giren hava miktarı venturi giriş-çıkış kesitleri arasındaki orana bağlı olarak değişir. Bu çalışmada, venturi tüpünün giriş çapı, boğaz bölgesi çapının giriş çapına oranı, mansaptaki boru boyu, mansaptaki borunun eğimi ve giriş hızının değişiminin hava çekme verimi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırıldı. Sonuçlar, venturi tüpleri ile yapılan sistemlerinin hava emme ve oksijen transfer verimlerinin yüksek olduğunu göstermiştir.

Havalandırma, hem tabii hem de mekanik yollarla, hava ve su arasındaki temas yüzeyini artırmayı sağlayan bir metottur. Uygun ve doğru bir havalandırma küçük su birikintileri ekosisteminde dikkate değer iyileşme sağlayabilir. Bu çalışmada venturi tüplerinin ve yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin kullanıldığı iki fazlı akım sistemleri ile küçük su göletlerinin havalandırılması araştırılmıştır. Sonuçlardan iki fazlı akım sistemlerinin derin göletlerde sığ göletlerden daha yüksek verime sahip olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Oksijen transferi, Havalandırma, Havalandırma verimi, Hava girişi, İki fazlı akım, Çözünmüş oksijen, Kapaklı konduit, Venturi

ABSTRACT

PhD Thesis

STUDY OF AIR ENTRAINMENT AND OXYGEN TRANSFER AT PRESSURE CONDUIT

Fahri OZKAN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

2005, Page: 64

The amount of dissolved oxygen (DO) in the waters is very important parameter for water quality. Hydraulic structures have an impact on the amount of dissolved oxygen in a pond system, even though the water is in contact with the structure for only a short time. 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.

The aeration properties of free surface flows have been studied widely in the laboratory and field over a number of years. However, the aeration efficiency properties and oxygen transfer efficiency of pressure conduits have not been studied. This study seeks the air entrainment of pressure conduits and how they affect the oxygen transfer efficiency. When the gate of a high head outlet conduit is partly opened, a negative pressure drew air in through air vent. Air that is entrained into the water is momentarily forced downstream in the form of small air bubbles. The dissolution of oxygen into the water results from the air suction downstream of high head gated conduit. Moreover, high pressure in high head gated conduit flow systems also facilitates the dissolution of oxygen into the water. It was observed from the results that approximately full transfer up to the saturation value occurred at the high head gated conduits. Therefore, high head gated conduit flow systems have an extremely high efficiency for transferring oxygen from air bubbles to water.

The venturi system creates a pressure differential that forms a vacuum. As water flows through the tapered venturi orifice, a rapid change in velocity occurs. This velocity change creates a reduced pressure (vacuum), which draws the air to be injected into the system. The injection rate varies with the pressure differential across the venturi. In present study, experimental studies were conducted to investigate the effect of inlet diameter of venturi tube, the ratio of throat diameter of venturi tube to inlet diameter of venturi tube, pipe length downstream of venturi tube, angle of pipe downstream of venturi tube and flow velocity at inlet portion of venturi tube on air injection of venturi tube. It was observed from the results that venturi tubes were high efficiency in the air injection and oxygen transfer efficiency.

Aeration is the process by which the area of contact between water and air is increased, either by natural methods or by mechanical devices. Proper aeration can make considerable improvements in a pond ecosystem. This study investigates pond aeration by two phase flow systems such as high head gated conduit flow systems and two phase pipe flow systems using venturi tubes. It was observed from the results that two phase flow systems were more efficient in deep ponds than in shallow ponds.

KEY WORDS: Oxygen transfer, Aeration, Aeration efficiency, Air entrainment, Two phase flow, Dissolved oxygen, Gated conduit, Venturi

1. GİRİŞ

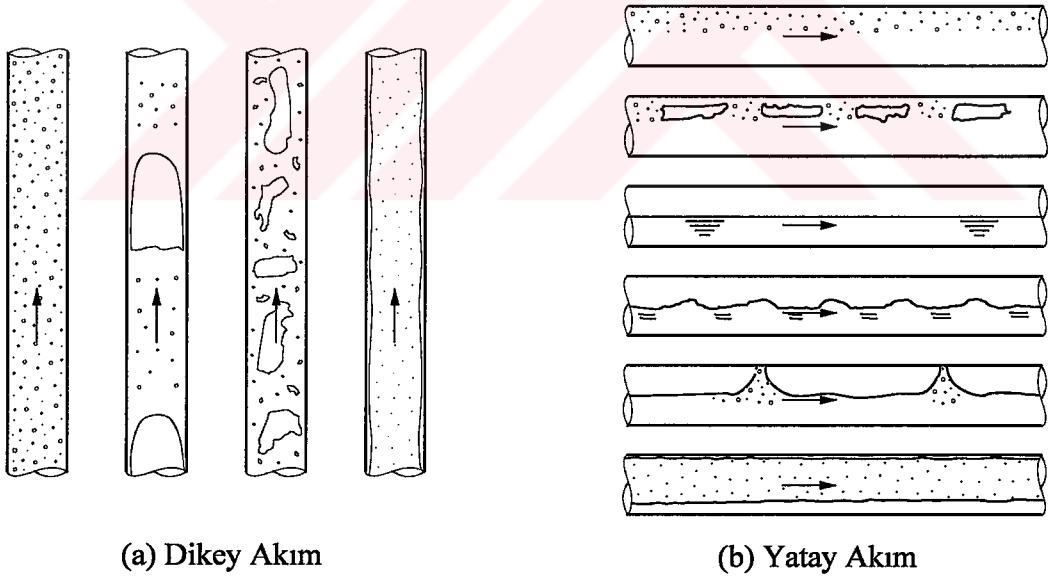
Su kalitesini belirleyen parametreler olarak sıcaklık, pH değeri, elektriksel iletkenlik, askıdaki katı maddeler, bulanıklık ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu verilmektedir [1]. Su içindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonu bu parametreler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle, sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Azalan bu çözülmüş oksijen konsantrasyonunu limit değerlerine yükseltmek amacıyla oksijenin, atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılması gerekir. Fiziksel olarak oksijenin atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılması havalandırma adı verilen bir işlemle mümkün olmaktadır. 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 için, biyolojik tasfiye için, nehir veya göllerde çözülmüş oksijen standartlarının karşılanabilmesi için.
- **Karbondioksit gidermek veya kazandırmak:** Karbondioksitin (CO_2) bazen sudan giderilmesi bazen de suya verilmesi gereklidir. Sudaki bu karbondioksit dengesinin sağlanması için.
- **Hidrojen sülfür gidermek:** Suda istenmeyen koku ve tadın giderilmesi, metallerin korozyonunun azaltılması ve çimentonun ayrışmasının önlenmesi 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.

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

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 absorbe edilen hava, su içerisine aktarılır. Böylece suya hızlı bir şekilde oksijen kazanımı sağlanmış olur. Hidrolik yapılarla yapılan oksijen transferinin verimi (havalandırma verimi); su kalitesi, su sıcaklığı, mansap su derinliği, savak üzerindeki suyun düşme (düşü) yüksekliği, hidrolik savak yükü, çözülmüş oksijen eksikliği ve savak tipi gibi ana parametrelere bağlıdır.

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 iki fazlı akım sistemleri bunun bir örneğidir. 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 basınçta oksijen transferini kolaylaştırır.



Şekil 1.1 Dikey ve yatay borularda iki fazlı akım modelleri

Bu çalışmada, su mühendisliğinde havalandırma işlemi konusunda mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olarak gösterilecek kapaklı konduit ve venturi havalandırıcılar incelenmiştir. Bu sistemlerde iki fazlı yüksek basınçlı akım oluşmaktadır.

Bu akım sistemlerinde değişik parametrelere bağlı olarak çekilen hava, küçük kabarcıklar halinde sisteme karışmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi kabarcıkların küçük olması nedeniyle oksijen transferi için gerekli yüzey alanı ve dolayısıyla oksijen transfer verimi de artırılacaktır.

Yapılan çalışmada, kapaklı konduit ve venturi havalandırıcılarında oksijen transferi için önemli olan işletim parametreleri tanımlanmış, konduitlerde; farklı kapak açıklıkları, farklı debi değerleri ve farklı kanal eğimleri için, ayrıca venturi havalandırıcılarda; farklı boru çapları, farklı daralma oranları, farklı boru eğimi ve boru uzunluğuna bağlı olarak geri devirsiz ve geri devirli sistemlerde oksijen transfer verimleri tespit edilmiştir. Oksijen transferinin teorisi, oksijen transfer verimi, oksijen transfer verimine sıcaklığın etkisi ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ölçülmesinde kullanılan oksijenmetrelerle ölçüm hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

Bu çalışma “Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri” (FÜBAP) tarafından desteklenmiş olup proje numarası 892’dir.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Aşağıda bazı hidrolik yapılarda oksijen transfer verimini tayin etmek için geliştirilen denklemler verilmiştir. Verilen denklemler 20 °C'deki oksijen transfer verimi (E_{20}) cinsinden ifade edilmiştir.

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

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

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 = suyun düşme yüksekliğidir (m).

The U.K. Water Research Laboratory (WRL) [7], Gameson [5] denklemini düzenleyerek aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$E_{20} = 1 - [1 + 0.073 a_w b_w h(1 - 0.011h)]^{-1} \quad (2)$$

Avery ve Novak [8], savak ve kaskatlar için;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0.24 \times 10^{-4} F^{1.78} R^{0.53}} \right)^{1.115} \quad (3)$$

denklemini önermişlerdir. Burada; F = Froude Sayısı ve R = Reynolds Sayısıdır.

Thene [9], Avery ve Novak [8]'in geliştirdikleri denklemde mansap su yüksekliğini de dikkate alarak;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0.32 \times 10^{-5} F^{2.08} R^{0.63} \left(1 - 0.6 \exp\left(-3.7 \frac{H_D}{h}\right) \right)} \right)^{1.115} \quad (4)$$

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

Holler [10], radyal kapaklı savaklar için;

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

denklemini önermektedir.

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

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

denkleminin kullanılmasının uygun olduğunu belirtmektedirler.

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

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

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

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

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

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

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

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

denklemini önermektedirler.

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

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

denklemini önermektedirler.

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

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

denklemini önermiştir. Burada; t_t = 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;

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

denklemini önermektedirler.

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

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

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

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

denklemini önermektedirler.

Butts ve Evans [21], 54 adet küçük baraj üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucu;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.73a b h (1 - 0.11h))^{-1} \quad (14)$$

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).

Wilhelms [22], üzerinde kapak bulunan eşikler için;

$$E_{20} = 1 - \exp(-0.0086(hq/s) - 0.19) \quad (15)$$

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

Wormleaton ve Soufiani [23], Avery ve Novak [8]'in denklemine benzeştirerek üçgen labirent savaklar için;

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.48h^{1.35}Q^{-0.131} \left(\sin \frac{\theta}{2}\right)^{-0.342}\right)^{-1} \quad (16)$$

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

Wormleaton ve Soufiani [23], üçgen labirent savaklarda büyük oksijen transfer verimlerinin hesaplanmasında ($E_{20} > 0.55$);

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.86hQ^{((0.195 \cos \theta + 0.335)h - 0.522)}\right)^{-1} \quad (17)$$

denkleminin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Watson ve diğ. [24], küçük düşü yüksekliğine sahip ve üst yüzeyi taşlarla pürüzlendirilmiş savaklar için;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.00107(H/h)^{0.70} R^{0.32} F^{2.0})^{-1} \quad (18)$$

denklemini önermişlerdir.

Wormleaton ve Tsang [25], dikdörtgen labirent savaklarda oksijen transfer verimlerinin hesaplanmasında;

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.138h^{1.059} q_w^{-0.096}\right)^{-1} \quad (19)$$

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

3. OKSİJEN TRANSFERİ

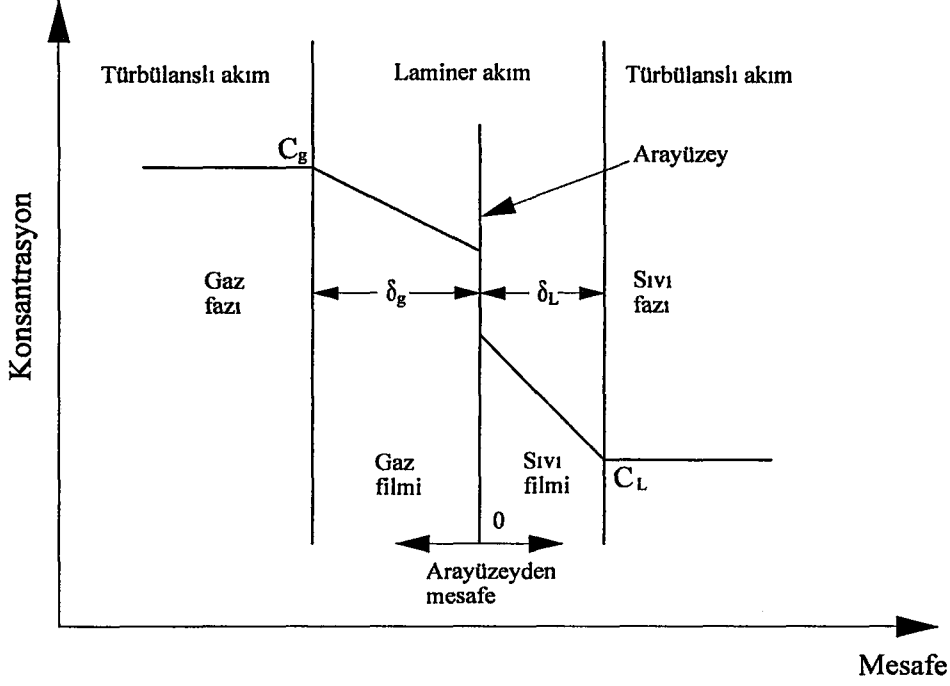
Sularda gaz transferi; suya klor, çözülmüş oksijen vb. gazları vermek veya CO₂, H₂S gibi gazları sulardan uzaklaştırmak amacıyla yapılır. Bir gazın sudaki çözünürlüğü, gazın cinsine, suyun sıcaklığına ve sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Eğer bir sıvı ortam, bir gaz veya gaz karışımlarıyla 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 doygun durumdadır.

Sıvıların havalandırılması gaz ile sıvı arasındaki bir kütle transferi işlemidir. Burada itici kuvvet, gaz fazda genellikle kısmi basınç farkı, sıvı fazda ise konsantrasyon farkı ($C_s - C$) ile ifade edilir. Kütle transfer işlemi gaz ile sıvının temas ettiği arayüzeyin her iki tarafından film içerisinde gerçekleşir.

Gaz transferinin mekanizmasını izah için çift film teorisi, penetrasyon teorisi ve yüzey yenilenme teorisi gibi teoriler geliştirilmiştir. Gaz-sıvı işlemlerinde arayüzeyin her iki tarafındaki direnci hesaba katmak için çift film teorisi kullanılır. Aşağıdaki kısımda bu teori incelenmiştir [3].

3.1. Çift Film Teorisi

Bu teoriye göre gaz-sıvı arayüzeyinde 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 karşılaşılırlar.



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.

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_s - C) \quad (20)$$

Burada; $\frac{dm}{dt}$ = kütle transfer hızı (g/s), t = kütle transferinin meydana gelme süresi (s), K_g = kütle transfer katsayısı, A = kütle transfer alanı (m^2), C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doymuluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

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

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} \quad (21)$$

Burada; V = transfer olunan gaz hacmidir (m^3). Bu ifade (20) nolu denklemde yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dC}{dt} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (22)$$

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_g yerine ise sıvı film katsayısını gösteren " K_L " kütle transfer katsayısı kullanılır. Böylece (22) nolu denklem,

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (23)$$

şeklinde yazılır. Burada; $\frac{dC}{dt}$ = konsantrasyon değişim hızı ($mg/L.s$), $K_L a$ = kütle transfer katsayısı, C_s = sudaki çözülmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. $K_L a$ zamanın fonksiyonu olup (23) nolu denklemin hidrolik yapının membaındaki bir noktadan mansaba doğru integre edilmesinden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a dt \right] \quad (24)$$

Burada; C_u ve C_d = sırasıyla memba ve mansaptaki çözülmüş 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.

3.2. Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun doygunluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneği olarak tanımlanır. (24) nolu denklem oksijen transfer verimi olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir [5].

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} = 1 - \frac{1}{r} \quad (25)$$

Burada; E = oksijen transfer verimidir. E = 0 değeri yapıda oksijen transferinin olmadığını ve E = 1 değeri mansap suyunun doygunluğa ulaştığını gösterir. E > 1 değerleri ise mansap suyunun aşırı doygunluğa 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.

$$E_{20} = 1 - \frac{1}{r_{15}^{1.115}} \quad (26)$$

3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi

Gameson ve diğ. [6], 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;

$$\ln(1 - E_{15}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.018(T - 15)} \quad (27)$$

ve 20 °C sıcaklıkta;

$$\ln(1 - E_{20}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.0165(T - 20)} \quad (28)$$

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 [10], oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini tanımlamak için aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$\ln(1 - E) = \ln(1 - E_{20}) \alpha^{(T-20)} \quad (29)$$

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 Gulliver ve Rindels [26].

Tebbutt ve diğ [27], kaskat dolusavaklar üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$\frac{(r-1)}{(r_{20}-1)} = \frac{E(1-E_{20})}{E_{20}(1-E)} = (1 + 0.0335(T-20)) \quad (30)$$

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

Gulliver ve Rindels [26], oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini (31) nolu denklem ile ifade etmişlerdir.

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/f} \quad (31)$$

veya

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

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

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T-20)^2 \quad (33)$$

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

3.4. Kütle Transfer Katsayısının Tayini

(24) nolu denklemdeki $K_L a$ değeri, sıvı veya gaz faza ait sınır tabakalarının birinin ya da her ikisinin gösterdiği dirençlerin etkisi altında olup akışkanın birim hacmine isabet eden sıvı-gaz ara kesit yüzeyinin de bir fonksiyonudur. Bir sıvı sistemine verilen belirli bir hava miktarı için, gaz transferinin meydana gelebileceği yüzey alanı, kabarcık çapı azaldıkça artar. Bu sebeple kabarcık çapı küçüldükçe $K_L a$ 'nın büyüyeceği söylenebilir. Çünkü A/V oranında

A çapın ikinci kuvvetine, V üçüncü kuvvetine göre küçülür. Fakat bu prensipler ancak belirli sınırlar içinde doğru kalır.

Bundan başka gaz transferi, türbülans ve sıcaklığın da etkisi altında bulunur. Birçok değişkenin rol oynaması sebebiyle, kütle transfer katsayısı genel olarak temiz suya göre tayin edilir ve kullanılmış sular için ayarlanır yani bir düzeltme faktörü kullanılır.

760 mm Hg basıncında ve % 20.90 nispetinde oksijen ihtiva eden kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonlarının sıcaklık ile değişimi Tablo 3.4.'de verilmiştir. Bu değerler, içerisinde çeşitli maddelerin çözülmüş halde bulunduğu kullanılmış sular için geçerli değildir. Atık sularda oksijenin doygun halde çözüneceği konsantrasyon, tasfiye tesisinin çıkış suyunu bir gece boyunca havalandırarak deneysel olarak bulunur. Bu değer, temiz sudaki doygunluk konsantrasyonunun % 90 - % 98'i mertebesindedir.

Havalandırıcıların verimleri, imalatçı firmalar tarafından bazı standart şartlar altında tespit edilmektedir. Sıcaklığın 20 °C, suyun temiz çeşme suyu ve havalandırma havuzunda çözülmüş oksijen konsantrasyonunun sıfır olması standart şartları gösterir. Standart şartlar altındaki verimi bilinen bir havalandırıcının, normal işletme şartları altındaki kapasitesinin hesaplanması gerekir.

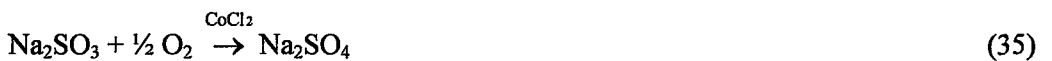
Kullanılmış sular, çözülmüş ve yüzey aktivitesine sahip olan maddeler ihtiva ettiği için bu suların oksijen transfer verimi çeşme suyundan farklı olmaktadır.

Standart şartlara göre ifade edilmiş gaz transfer kapasitelerini işletme şartlarına çevirebilmek için, kütle transfer katsayısının ($K_L a$) sıcaklıkla değişiminin bilinmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

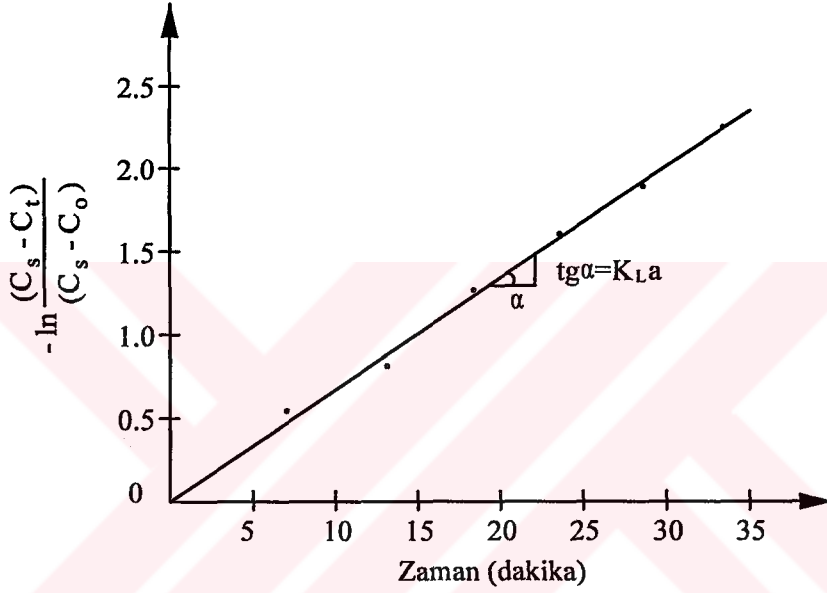
$$(K_L a)_{20} = (K_L a)_T (1.024)^{(20-T)} \quad (34)$$

Burada; T = sıcaklık (°C), $(K_L a)_{20} = 20$ °C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) kütle transfer katsayısı (1/saat) ve $(K_L a)_T = T$ °C deki kütle transfer katsayısını (1/saat) göstermektedir. Benzer şekilde (20) nolu denklemde $K_g A$ değerine K_T' şeklinde bir kütle transfer katsayısı gözü ile bakılırsa, bunun da sıcaklıkla değişimi yukarıdaki denklemle hesaplanabilir.

$K_L a$ 'nın tayini için sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu sodyum sülfid metoduyla sıfıra düşürülür. Bu metot, oksijenin sodyum sülfid ile yükseltgenme ilkesine dayanmaktadır. Bunun için yaklaşık olarak 1 ton suya 100gr sodyum sülfid (Na_2SO_3) ve katalizör olarak 3-5 gr kobalt klorür ($CoCl_2$) ilave edilir.



Daha sonra başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında çözülmüş oksijen konsantrasyonları ölçülür. Yatay eksen zaman eksen (dakika), dikey eksen $-\ln \frac{(C_s - C_t)}{(C_s - C_0)}$ olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasından geçirilen doğrunun eğimi $K_L a$ 'yı verir (Şekil 3.2.). Burada C_t = Mansaptaki suyun t dakika sonundaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) ve C_0 = Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. $K_L a$ grafik yolla bulunabileceği gibi, istatistik metotlar yardımıyla da bulunabilir.



Şekil 3.2 $K_L a$ 'nın grafik yolla tayini

Suya oksijen transferi işleminde en önemli parametrelerden birisi de standart şartlardaki oksijen transfer oranıdır. Bu değer;

$$O_R = (K_L a)_{20} \times C_s^* \times V \times 10^{-3} \quad (36)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada, O_R = oksijen transfer oranı (kg O_2 /saat), $C_s^* = 20$ °C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonudur (mg/L), V = havalandırılan suyun hacmi (m^3) ve 10^{-3} gramdan kilograma çevirme faktörüdür.

3.5. Çözünmüş Oksijen Doygunluk Konsantrasyonu

Gazların sudaki çözünürlüğü (reaksiyona girmeden) 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 0.21 atm 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 doygun 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 doygunluk halindeki konsantrasyonu, sıvı ile temasta olan gazın kısmi basıncının bir fonksiyonudur. Bu ilişki Henry Kanunu ile ifade edilmektedir.

$$P_g = H x_g \quad (37)$$

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

$$x_g = \frac{\text{mol gaz } (n_g)}{\text{mol gaz } (n_g) + \text{mol su } (n_{su})} \quad (38)$$

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

Tablo 3.1 Suda çok az çözünen gazlara ait Henry sabitleri [28]

10 ⁻⁴ (H), 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

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

$$C_s = k_D \cdot C_g \quad (39)$$

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

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

$$C_s = k_D \frac{f \cdot (P - P_v)}{R \cdot T_K} M_a \quad (40)$$

denklemleriyle ifade edilmektedir. Burada; f = kuru havada gazın hacim yüzdesi, P = gaz basıncı (Pa), P_v = buhar basıncı (Pa), M_a = gazın molekül ağırlığı (g/mol), R = üniversal gaz sabiti (8.3145 J / K. mol) ve T_K = mutlak sıcaklıktır (°K).

P_v 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 yayınma katsayıları [1]

Parametre	Mol. Ağ.	Yoğunluk (0°C ve 101.3 k Pa) kg/m ³	Yayınma Katsayısı, k _D				Kaynama Noktası °C
	g/mol		0°C	10°C	20°C	30°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
Karbondioksit (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 °C	Buhar Basıncı mm Hg	Sıcaklık °C	Buhar Basıncı mm Hg	Sıcaklık °C	Buhar Basıncı 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 [29].

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 [30] tarafından geliştirilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$C_s = \frac{475 - 2.65 C_{ds}}{33.5 + T} \quad (41)$$

Bu denklem ilk zamanlarda çok yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Burada; C_{ds} = klorür konsantrasyonu (g/L) ve T = sıcaklıktır ($^{\circ}C$). Denklem $0^{\circ}C - 50^{\circ}C$ sıcaklıklar arasındaki deniz suyu ve temiz sular için kullanılabilir. Ancak, bu denklemin hesaplama hatası oldukça yüksektir. Denklem ortalama rölatif 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.

$$C_s = 14.652 - 0.41022 T + 0.0079910 T^2 - 0.000077774 T^3 \quad (42)$$

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

Yukarıdaki denklemde belirtilen dezavantajlar dikkate alındığında, Benson ve Krause [31] tarafından geliştirilen (43) nolu denklemin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Standard Methods, [32],[33]).

$$\ln(C_s) = -139.34411 + \left(\frac{1.575701 \times 10^5}{T_K} \right) - \left(\frac{6.642308 \times 10^7}{T_K^2} \right) + \left(\frac{1.243800 \times 10^{10}}{T_K^3} \right) - \left(\frac{8.621949 \times 10^{11}}{T_K^4} \right) - (C_{hl}) \left[0.031929 - \left(\frac{19.428}{T_K} \right) + \left(\frac{3.8673 \times 10^3}{T_K^2} \right) \right] \quad (43)$$

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

Hua [34], Standard Methods [35] değerlerine göre çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunu aşağıdaki denklem ile ifade etmektedir.

$$\ln C_s = 237.30587 - \left(\frac{12349.519}{T} \right) - (1.45715916T) + (3.762842 \times 10^{-3} T^2) - (3.5396541 \times 10^{-6} T^3) - C_{ds} \left[0.015775 - \left(\frac{5.723}{T} \right) + \left(\frac{3.631637 \times 10^5}{T^3} \right) \right] \quad (44)$$

Hua [34] hesaplamaları kolaylaştırmak için T^2 ve T^3 terimlerini denklemden çıkarmış ve sıcaklığı $T = T (^{\circ}\text{C}) + 273$ alarak aşağıdaki yeni denklemi geliştirmiştir.

$$C_s = \exp[-17.015355 + 0.0226297T_K + (3689.38/T_K) + (0.01166 - (6.544/T_K))C_{ds}] \quad (45)$$

Burada; T_K = su sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$) olup bu denklem $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ 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.

$$C_{s1} = C_s \frac{P_A - P_S}{760} \quad (46a)$$

$$C_{u1} = C_u \frac{P_A - P_S}{760} \quad (46b)$$

$$C_{d1} = C_d \frac{P_A - P_S}{760} \quad (46c)$$

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

Eğer çözülmüş oksijen konsantrasyonu ölçümü yapılan bölgede atmosferik basınç bilinmiyorsa, bölgenin deniz seviyesinden yüksekliğine (rakım) bağlı olarak aşağıdaki denklemler kullanılabilir [36].

$$C_{s1} = C_s \left[1 - \frac{(0.0065 EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (47a)$$

$$C_{u1} = C_u \left[1 - \frac{(0.0065 EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (47b)$$

$$C_{d1} = C_d \left[1 - \frac{(0.0065 EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (47c)$$

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

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

$$C_s = \frac{(510.2 - 0.45T)(P_o - P_{dv})}{T + 35} \quad (48)$$

Burada; T = su sıcaklığı (°C), P_o = atmosferik basınç (bar) ve P_{dv} = su buharı kısmi basıncıdır (bar).

Yukarıda verilen denklemlerden başka çözülmüş 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) [37]

Sıcaklık (°C)	Klorür Konsantrasyonu (mg/L)				
	0	5.000	10.000	15.000	20.000
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 çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu azalmaktadır. Aşağıdaki tabloda deniz seviyesinden (760 mm Hg) yükseklerdeki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları verilmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5 Deniz seviyesinden yükseklerde çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun değişimi [3]

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

Tablo 3.6 Deniz seviyesinde tuzluluğun çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi [3]

°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

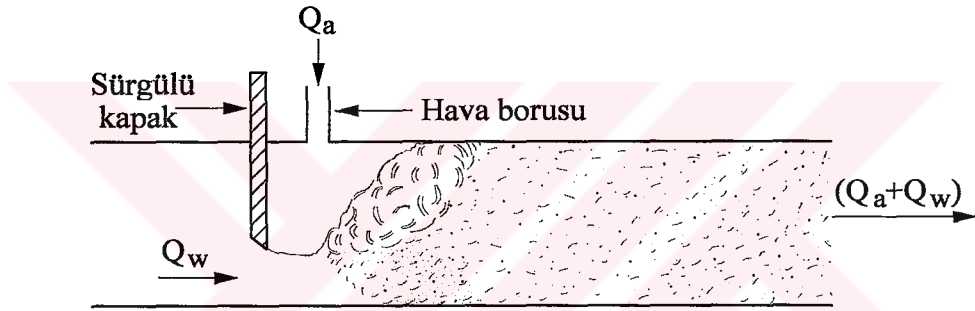
4. YÜKSEK BASINÇLI KAPAKLI KONDUİT VE VENTURİ AYGITI

4.1 Yüksek Basıncılı Kapaklı Konduit

Kapaklı konduitlerde serbest yüzeyli akım şartlarında hidrolük sıçrama ve türbülans neticesinde havanın suya karışması mümkün olmaktadır (Şekil 4.1). Su akımına hava girişini sağlamak için pompa vasıtasıyla suyun basınç değeri yükseltilir. Kapak mansabında, su, hızla savaklanırken oluşan düşük basınç nedeniyle bu noktada bir vakumlama etkisi meydana gelir ve bu düşük basınç etkisiyle dış ortamdan alınan hava baloncuklar halinde suya karışmış olur.

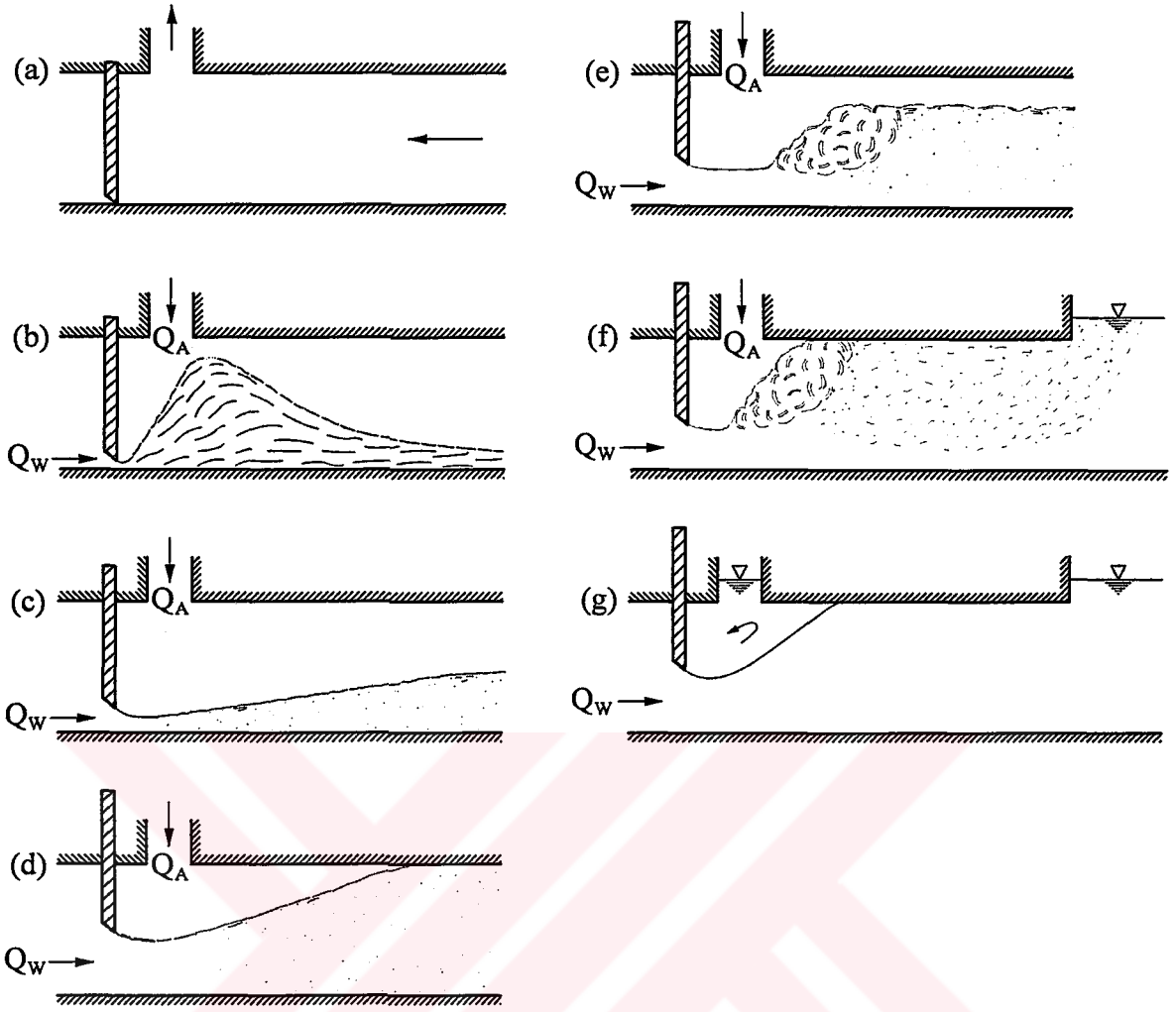
Kontrol kapağında sonra mansapta su akımı içerisine hava alınması:

- 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

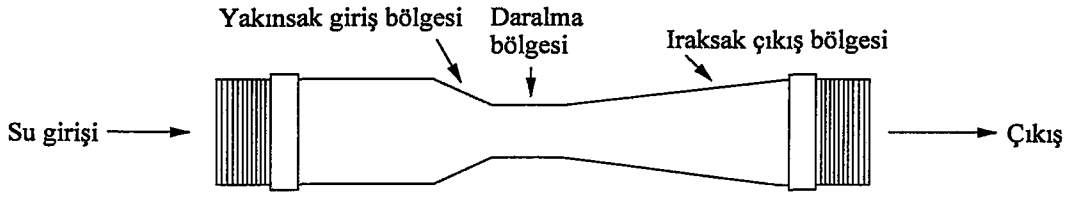
Yapılan son çalışmalarda kapaklı konduitlerde savaklama kapağı mansabında oluşabilecek iki fazlı akım rejimleri Şekil 4.2. a-g' de gösterilmiştir [4].



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

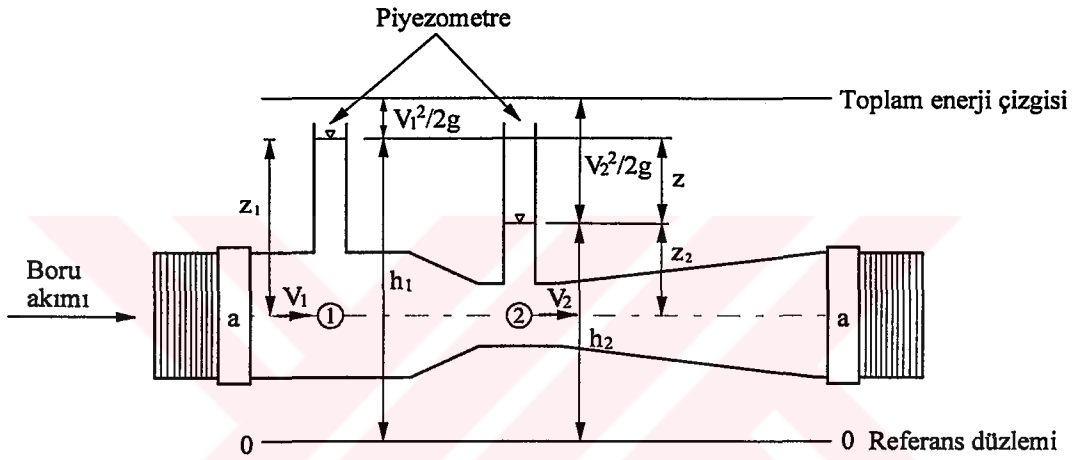
4.2 Venturi Aygıtı

Venturi aygıtı, bir boru boyunca deşarj edilen akışkan akımının debisini ölçmek için uzun yıllardan beri kullanılan bir aygıttır. Boru içindeki akışkan akımının hızını arttırmak için girişteki boru kesitinden daha küçük kesit alanına sahip bir boğaz bölgesinde daralma yapılmıştır (Şekil 4.3). Bu bölgede akışkan hızının artmasına paralel olarak basınç düşüğü olmaktadır. İki kesit arasındaki basınç farkından yararlanılarak akışkan akımının debisi hidrolik olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4.3 Bir venturi aygıtının görünümü

Venturi aygıtının hidrolik olarak teorik değişkenleri ve matematiksel ifadeleri aşağıda belirtilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Bir venturi aygıtının teorik değişkenleri

a – a nivo seviyesine göre; 1 ve 2 no'lu noktalardaki basınçlar,

$$P_1 + \gamma \cdot z_1 = P_2 + \gamma \cdot z_2 \quad (49)$$

$$(P_1 - P_2) = \gamma (z_2 - z_1) \quad (50)$$

Piyezometrelerde $z_2 < z_1$ olduğundan $(z_2 - z_1) = -z$ yazılırsa,

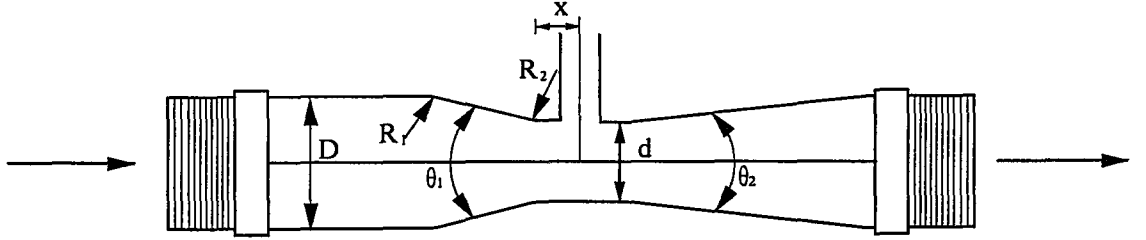
$$(P_1 - P_2) / \gamma = -z \quad (51)$$

denklemleri elde edilir. Bu sonuca göre 2 no'lu noktada negatif bir basınç oluşmaktadır.

Burada, $P_1=1$ no'lu kesitteki basınç (kg/m^2), $P_2=2$ no'lu kesitteki basınç (kg/m^2), $h_1=1$ no'lu kesitin basınç yüksekliği (m), $h_2=2$ no'lu kesitin basınç yüksekliği (m) ve γ = Suyun birim hacim ağırlığıdır (kg/m^3).

4.3. Klasik Venturi Aygıtında Boyutlandırma

Venturi aygıtının genel boyutlandırma verileri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



$$x \geq d/6$$

$$R_1 = 1.375 D \pm \%20$$

$$R_2 = 3.625 d \pm 0.125 d$$

$$\theta_1 = 21^\circ \pm 1^\circ, 7^\circ \leq \theta_2 \leq 15^\circ$$

$$50 \text{ mm} \leq D \leq 250 \text{ mm}, c = 0.995$$

$$100 \text{ mm} \leq D \leq 800 \text{ mm}, c = 0.984$$

$$200 \text{ mm} \leq D \leq 1200 \text{ mm}, c = 0.985$$

Şekil 4.5 Klasik venturide boyutsal değerler [3]

4.4. Venturi Aygıtının Uygulama Alanları

Venturi aygıtı, negatif basınç oluşturma özelliğinden yararlanılarak endüstriyel amaçlı olarak kullanılmaktadır. Venturi aygıtının uygulamaları ve getirdiği avantajlar şunlardır:

a) Uygulamalar

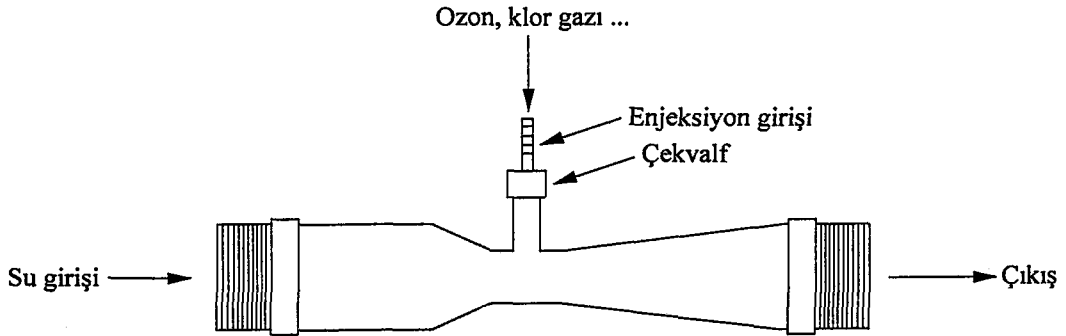
- Gaz (ozon, klor) enjeksiyonu (içme suyu arıtımında...)
- Kimyasal madde enjeksiyonu (özellikle tarımsal sulamada sıvı gübre enjeksiyonu...)
- Havalandırma ve oksijen transferi (atıksu-içme suyu arıtımında, su ürünleri yetiştirme havuzlarında...)

b) Avantajlar

- Ozon, klor ve birçok kimyasallara dirençlidir.
- Hareketli parçaları yoktur.
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır.
- Bakımı ve işletilmesi kolaydır.
- Uygun tasarımıyla tam bir karışım temin eder.
- Yatırım maliyeti çok düşüktür.
- Yerleştirilmesi basittir.
- Su akımı ile çalıştığından çok az enerji gerektirir.
- İstenen akım ve enjeksiyon kapasitesi ile boyut tasarımına imkan verir.

4.5. Venturi Aygıtının Gaz Enjeksiyonunda Kullanılması

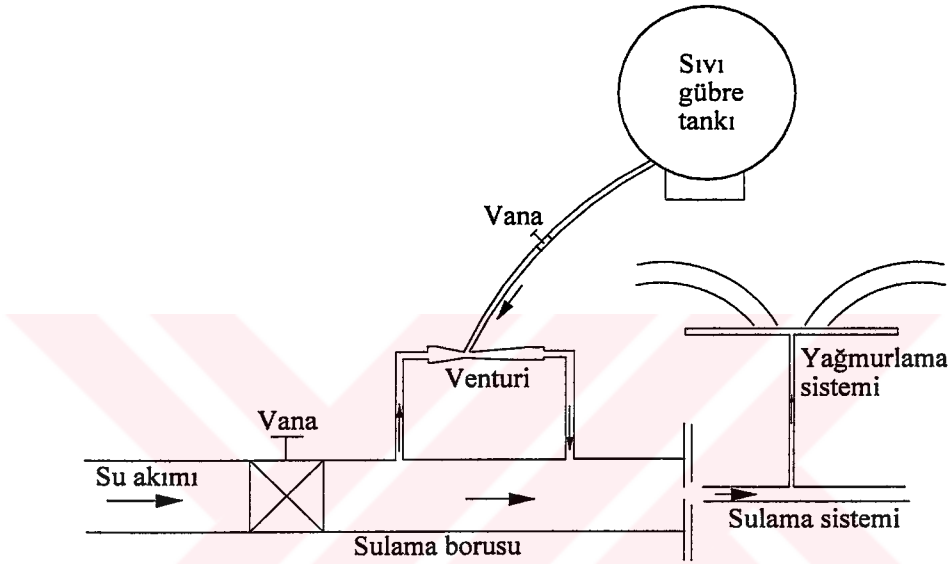
Venturi aygıtı, suların ozon ve klor... gazları ile dezenfekte edilmesinde uygulama alanına sahiptir. Ozon gazı su ortamında çok az çözüldüğünden ozon ile su temasının iyi bir şekilde sağlanması gerekir. Bu yönden venturi aygıtının kullanımı iyi bir çözümdür. Ayrıca sıkıştırılarak sıvı hale getirilen ve basınçlı tüplerde saklanan klor gazının venturi aygıtı ile enjekte edilmesi suların dezenfekte işlemlerini hızlı ve ekonomik hale getirmektedir. Ozon ve klor gazlarının venturi aygıtı ile enjeksiyonu sistem olarak Şekil 4,6'da tanımlandığı gibidir.



Şekil 4.6 Venturi aygıtında gaz enjeksiyonu

4.6. Venturi Aygıtının Sulama-Gübre Enjeksiyon Amaçlı Kullanımı

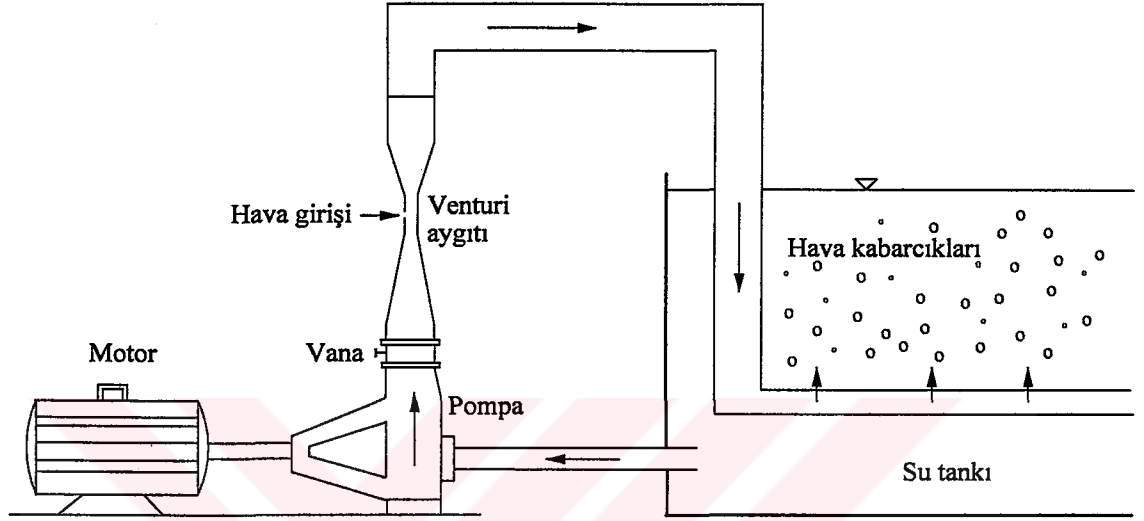
Venturi aygıtı, tarımsal alanların sulama sistemlerine (özellikle yağmurlama tipi sulama sistemi) ilave edilerek sıvı gübre enjeksiyonu için kullanılabilir. Böyle bir tasarımla, venturi aygıtının daralan bölgesinde oluşan negatif basınç düşüşü nedeniyle sulama borularına sıvı gübre vakumlanabilir. Homojen bir karışım ve dağılım ile daha ekonomik gübreleme yapılabilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Venturi aygıtının yağmurlama tipi sulama sisteminde sıvı gübre enjeksiyonunda kullanımı

4.7. Venturi Aygıtının Havalandırma Amaçlı Kullanımı

İçme suyu ve atık su tesislerinin havalandırma ünitelerinde kullanılan klasik havalandırıcılara göre venturi aygıtı ile havalandırma daha verimli, daha ekonomik ve işletimi daha kolay olmaktadır. Venturi aygıtının havalandırma ve oksijen transferi amaçlı olarak kullanımı Şekil 4.8’de görülmektedir.

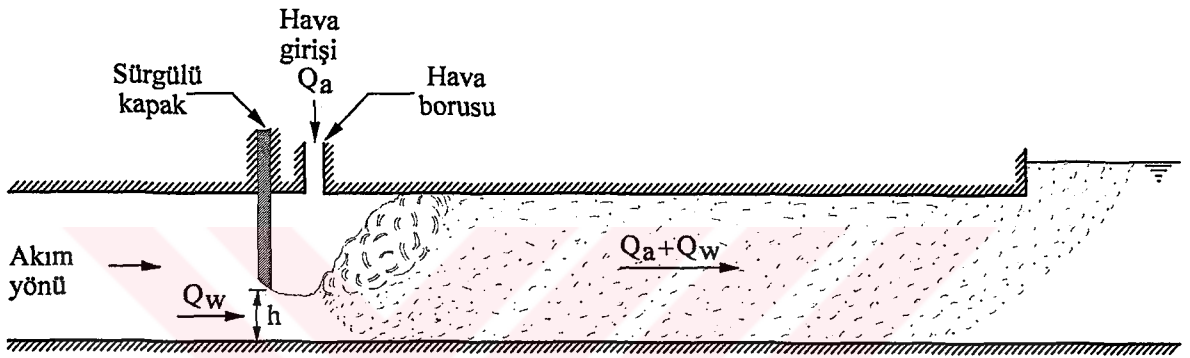


Şekil 4.8 Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı

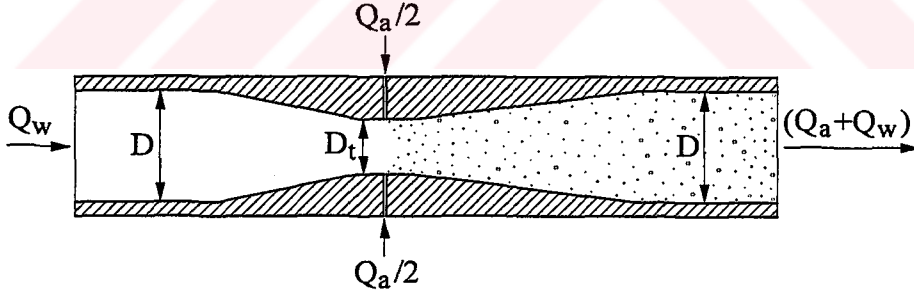
5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

Bu çalışmada, kapaklı konduitler ve venturi havalandırıcıların oksijen transfer verimleri incelenmiştir (Şekil 5.1 ve 5.2). Kapaklı konduitlerde farklı kapak açıklıkları, farklı debi değerleri, farklı kanal eğimleri ve konduit uzunluğu, venturi havalandırıcılarda ise farklı boru çapları, farklı daralma oranları ve boru eğimine bağlı olarak geri devirsiz ve geri devirli sistemlerde oksijen transfer verimleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.1 Yüksek basınçlı kapaklı konduit



Şekil 5.2 Venturi aygıtı en kesiti

Çalışmada 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, yapılacak

bir kaç deney sonunda su içerisindeki oranının artması ve havalandırmayı etkileyebilecek olması nedeniyle deneyde kullanılan su sürekli olarak değiştirilmiştir.

Deneyde kapaklı konduit olarak dikdörtgen kesitli (genişliği 4.5 cm, yüksekliği 9.5 cm, boyu 500 cm) metal bir boru kullanılmıştır. Kanalın savaklama kapağından hemen sonraki bölümünde 1,0 m mika kullanılmak suretiyle kapaktan sonra oluşan sıçrama ve hava vakumlaması görülmüştür. Savaklama kapağının mansabında 14.00 mm çapında bir delik açılmış dış ortamdaki havanın buradan kanal içerisine girmesi sağlanmıştır (şekil 5.1).

Deneylerde kullanılan venturi aygıtları özel kalıplar kullanılmak suretiyle polyeester malzemededen giriş ve çıkış çapları 36 mm, 42 mm, ve 54 mm olarak imal edilmiştir. Venturi aygıtının boğaz bölgesi çapı (D_1) giriş ve çıkış çaplarının (D) 0.5 katı ve 0.75 katı olarak değişken değerlerde alınmıştır ($D_1/D = 0.5$, $D_1/D = 0.75$). Venturi boğaz bölgesi uzunluğu her bir venturi için boğaz çapı değer kadar (D_1) alınmıştır. Akım yönüne göre venturilere ait giriş koni açıları $\theta_1 = 21^\circ$, çıkış koni açıları $\theta_2 = 7^\circ$ alınmıştır. Venturilerin boğaz bölgesinin ortasında ve karşlıklı olmak üzere çeperlerde 5mm çapında delikler açılmıştır.

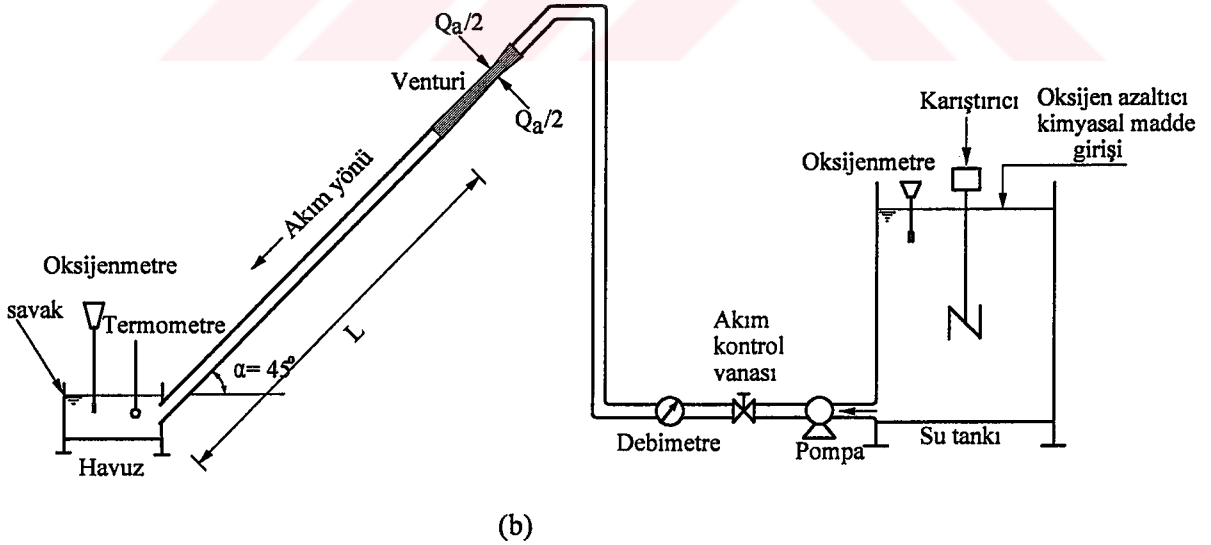
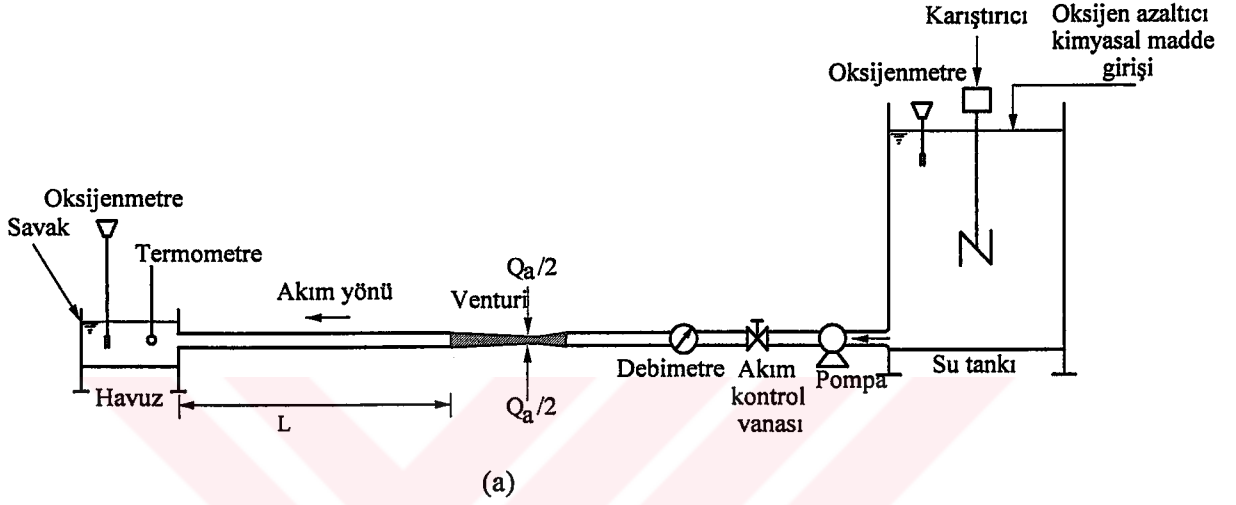
5.2. Deney Düzenegi

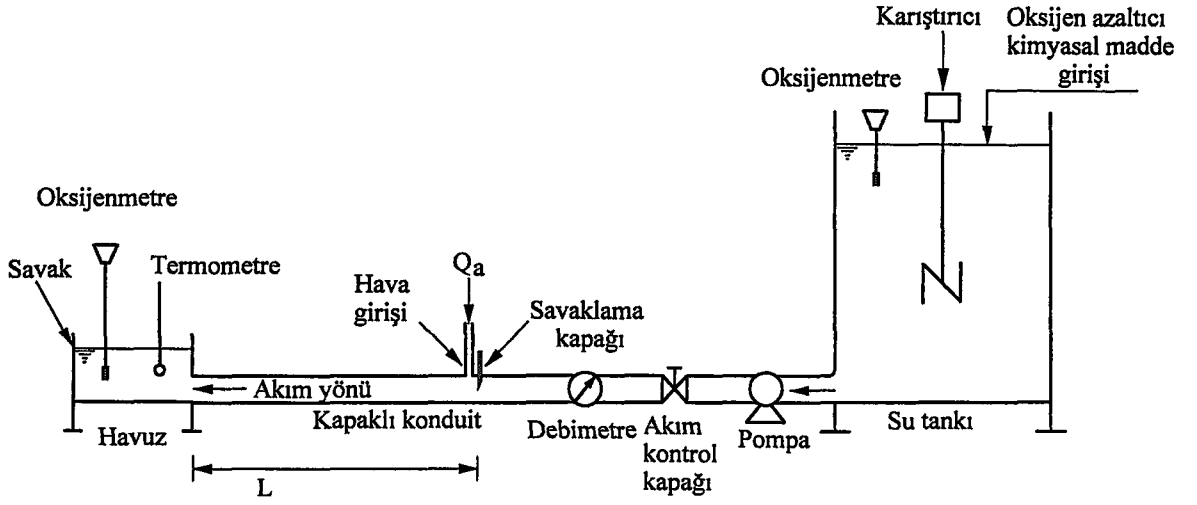
Kapaklı konduit ve venturi havalandırıcılarda oksijen transfer verimini tayin etmek amacıyla şekil 5.3.'de ve şekil 5.4.'de görüldüğu gibi geri devirsiz ve geri devirli olmak üzere iki deney düzenegi kullanılmıştır.

Venturi havalandırıcılarda geri devirsiz deney düzeneginde; deneylerde kullanılacak suyu temin etmek için üç tonluk bir su deposu, suyu depodan alıp venturi havalandırıcısına 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 lt /sn ölçüm hassasiyetli 100 mm çaplı türbinli debimetre, enerji kayıplarını azaltmak için 100 mm lik çaptan, kullanılacak 36, 42, 54 mm lik çap değerlerine bağlantı yapabilmek için flanşlı metal konikler, değişik çap ve daralma oranlarına sahip venturiler ve bu çap değerleri ile uyumlu galvanizli su boruları, çözünmüş oksijen miktarını ölçen oksijenmetre, su sıcaklığını ölçmek için termometre, venturiden geçerek havalandırılmış suyun çözünmüş oksijen miktarını sağlıklı ölçebilmek için bir su kanalı (0.4 m genişliğinde, 0.4m yüksekliğinde ve 0.5 m uzunluğunda) oluşturulmuş ve kanaldaki suyun kabarmasını temin için ön kısmında savak kullanılmıştır.

Yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin geri devirsiz deney düzeneginde ventüri havalandırıcılarda kullanılan deney elemanları kullanılmış, sadece ventüri havalandırıcı yerine

kapaklı konduit (genişliği 4.5 cm, yüksekliği 9.5 cm, boyu 500 cm) kullanılmıştır. Konduit ile debimetre arasındaki bağlantıyı sağlamak ve enerji kaybını azaltmak için dairesel kesitten dikdörtgen kesite geçiş için flanşlı metal koni kullanılmıştır. Dairesel kesitten dikdörtgen kesite geçişten dolayı akımda oluşabilecek değişkenliği önlemek için konik eleman ile savak arasında aynı boyutlarda dikdörtgen kanal kullanılmıştır.

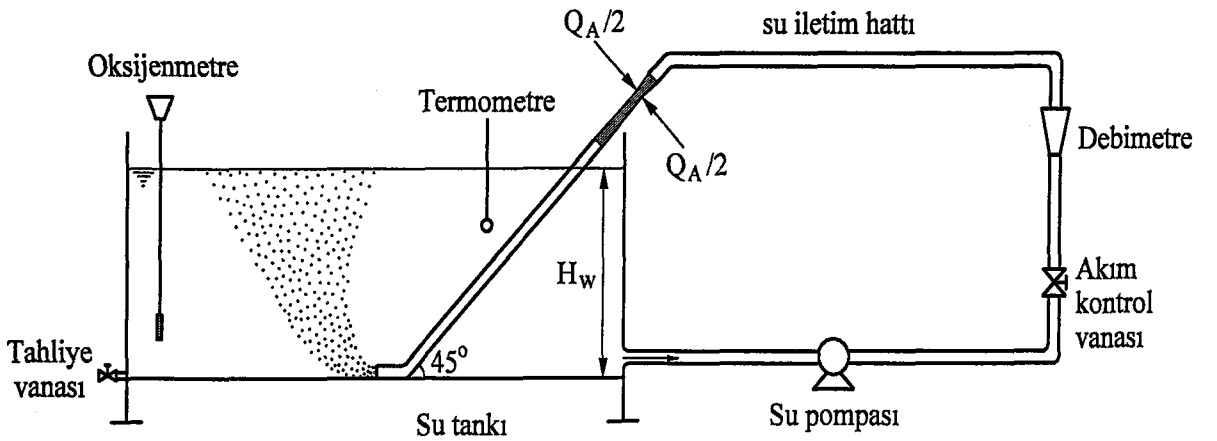




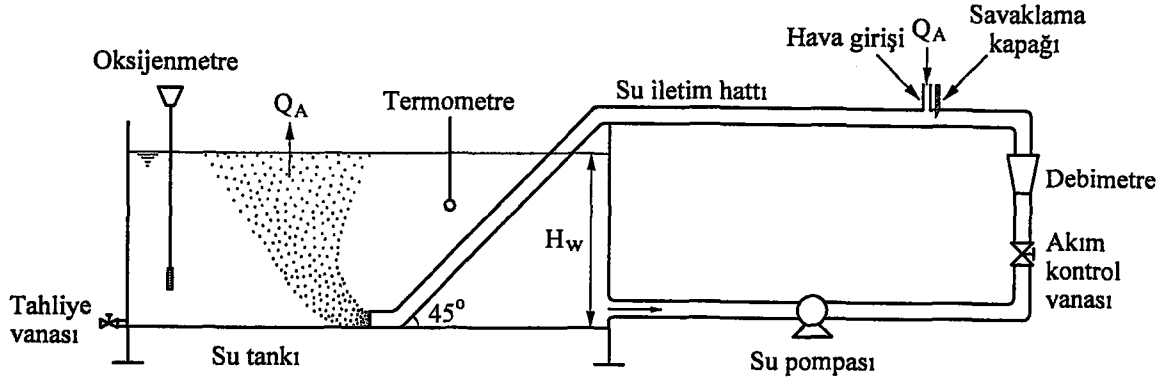
(c)

Şekil 5.3. (a-c) Venturi havalandırıcı ve kapaklı konduitlerde geri devirsiz sistem için deney düzeneği

Geri devirli deneyleri yapmak için geri devirsiz deney düzeneğinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu deneylerde sistemdeki su sürekli olarak devir ettirildiğinden su deposu deney düzeneğinden çıkarılmıştır. Su deposu yerine, 0.75 m genişliğinde, 1.2 m yüksekliğinde ve 2.0 m boyunda bir yüzeyi cam olan su tankı kullanılmıştır. Bu sistemde deneylerde kullanılacak suyu temin etmek için, su tankına dışarıdan sürekli su girişi sağlanmış ve istenilen hacim değerine ulaştıktan sonra akım kesilmiştir. Daha sonra hacmi belli olan su sürekli devir ettirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.4 Geri devirli sistem için deney düzeneği

5.3. Oksijenmetrelerin Kullanılması

Memba ve mansaptaki çözülmüş oksijen konsantrasyonlarını ölçmek için HANNA HI 9142 marka oksijenmetre kullanılmıştır. Bu oksijenmetre kullanımdan önce günlük olarak kalibre edilmiştir. Oksijenmetrenin probu su yüzeyinden 1 cm yukarıda tutularak nemli bir ortamda kalibre edilmiştir. Çünkü prob kuru havada tutularak kalibre edilmesi yaklaşık % 2 hata oluşacaktır. 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

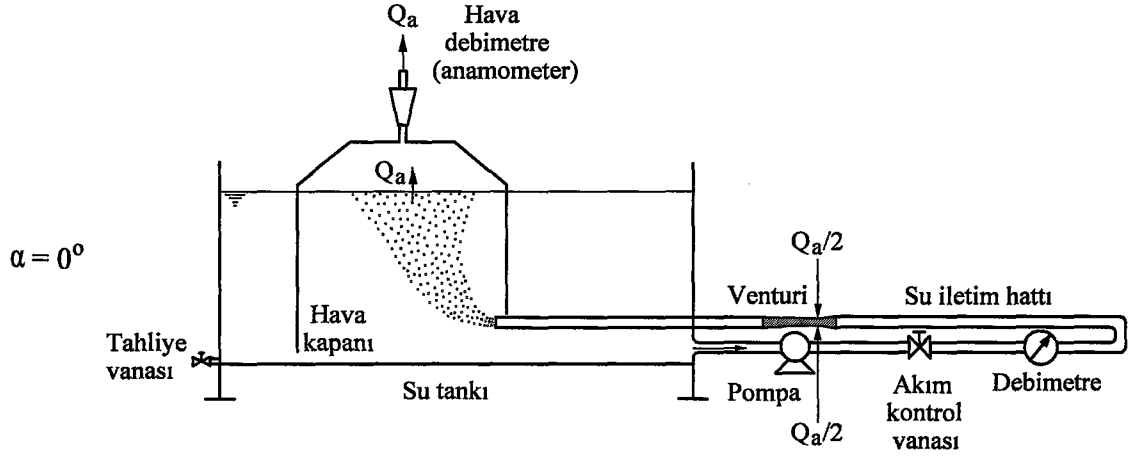
Ölçüm yapılırken oksijenmetrenin dijital ekranındaki değer in sabit kalması için yaklaşık 2 dakika beklenilmiş ve bu süre sonunda okumalar yapılmıştır.

5.4. Deneyin Yapılışı

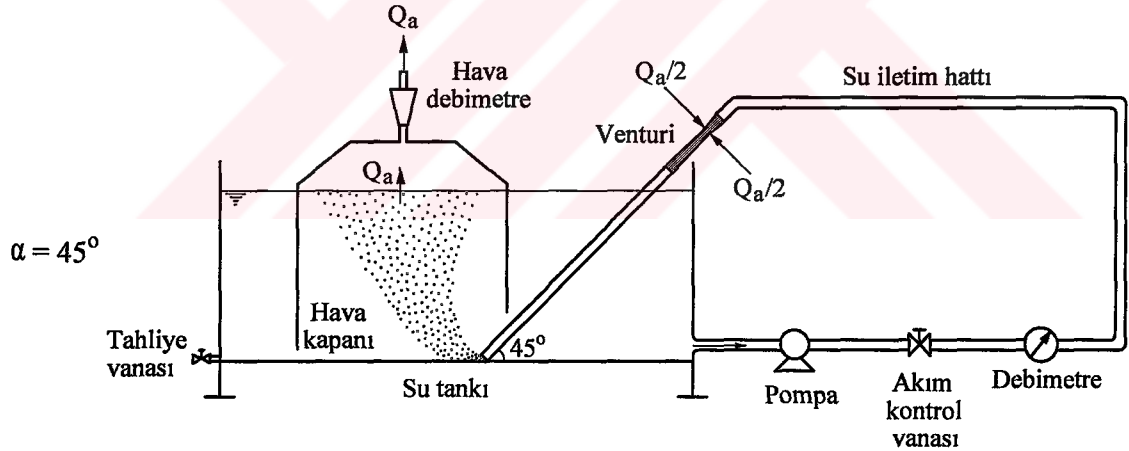
Geri devirsiz ve geri devirli deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı ortamda atmosfer basıncı yaklaşık 677 mm Hg ve ortalama nisbi nem ise yaklaşık % 73 olarak tespit edilmiştir.

Deneylere farklı çaplarda (36 mm, 42 mm, 54 mm) ve farklı daralma oranlarına sahip ($D_t / D = 0,5$ ve $0,75$) venturilere ait hava emme performanslarının ölçülmesiyle başlandı. Ölçümlerde Şekil 5.5.'de görülen deney düzeneği kullanılmıştır. Su tankı (0.75 m genişliğinde, 1.2 m yüksekliğinde ve 2.0 m boyunda) dışarıdan temiz su ile belirli bir seviyeye kadar doldurulduktan sonra pompa ile sürekli devir yaptırılmıştır. Su devri sırasında kontrol vanası yardımıyla ayarlanan debi değerleri debimetre yardımıyla okunmuştur. Venturi havalandırıcılar üzerinde hava girişini sağlayan 2 adet 5 mm çaplı hava deliklerinden negatif basınç nedeniyle emilen hava debisi su ile beraber tank içerisine sürüklenmiştir. Tank içerisinde batık konumda olan (0.75 m genişliğinde 0.85 m uzunluğunda ve 1,10m yüksekliğinde) hava tutucu kapan yardımıyla, sürüklenen hava kabarcıkları tutulmuştur (Şekil 5.5). Kapan içerisinde yüzeye doğru hareket eden hava, dairesel kapan deliğinin çapına bağlı olarak değişik hızlarda kapan dışına çıkar. Hava kabarcıklarının yüzeye çıkışı ve suyun hızı nedeniyle su yüzeyinde dalgalanmalar meydana gelir. Bu dalgalanmaların olumsuz etkisini gidermek için anlık ölçüm yapan hava debimetreler yerine ortalama hız değerini verebilen Anomometre yardımıyla 2 dakika süreyle hava çıkış hızı ortalaması değerleri ölçülmüştür. Havanın dışarı çıktığı delik çapına bağlı olarak da hava debisi hesaplanmıştır.

Bu deneyler yapılırken venturi çıkış ucuna venturi ile aynı çapta 25 cm uzunluğunda galvanizli boru kullanılmıştır. Venturi çıkış ucuna 2.5 m, 5.0 m, 7.5 m uzunluğunda borular ilave edilerek, yatayla olan açıları değiştirilerek venturilerin hava emme performansında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.5 Yatay konumda venturilere ait hava emme performanslarının ölçülmesi için deney düzeneği



Şekil 5.6 45° eğimli venturilere ait hava emme performanslarının ölçülmesi için deney düzeneği

Yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde savaklama kapağından hemen sonra açılan hava giriş deliğinden (14 mm) emilen havanın hızı anemometre ile ölçülmüştür. Bu ölçümler farklı kapak açıklıkları (5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm) ve farklı su hızı değerleri için tekrarlanarak konduitdeki hava emme performansı tesbit edilmiştir. Havalandırıcılara ait hava emme performansı araştırmalarına bağlı olarak sistemlerin oksijen transfer verimleri araştırılmıştır.

Geri devirsiz sistemlerde (venturi havalandırıcılar ve yüksek basınçlı kapaklı konduit) yapılan deneylerde su deposuna doldurulan suyun çözülmüş oksijen konsantrasyonu, sodyum sülfür (Na_2SO_3) ve kobalt klorür (CoCl_2) kullanılarak yaklaşık olarak 0 mg/L'ye yakın değerlere düşürülmüştür. Bunun nedeni suyun deneye başlama anında çözülmüş oksijen konsantrasyonu değeri ile suyun doygunluk konsantrasyonu değeri arasındaki farkı artırmak ve olası deney hatalarını önlemektir. Depodan pompalanan suyun debisi kontrol vanası ile ayarlanmak suretiyle venturi havalandırıcılardan geçirilmiştir. Su venturi içerisinden geçerken venturi boğazındaki düşük basınç nedeniyle açılmış olan deliklerden giren havayı da beraberinde sürükler. İki fazlı akım olarak adlandırılan akış sırasında basınçlı ortamda hava kabarcıkları içerisindeki oksijen suda çözülmeye başlar. Venturi sonuna yerleştirilen memba 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. Farklı akım hızları, daralma oranları, boru boyları, için aynı işlemler tekrarlanmak suretiyle parametrelerin oksijen transfer verimine etkisi belirlenmiştir. Geri devirsiz kapaklı konduit sisteminde de aynı deney düzeneği kullanılmış ancak konduit savaklama kapağının değişen her bir açıklık değeri için farklı debi değerleri kontrol vanası ile sağlanmıştır. Aynı işlemler farklı eğimler için tekrarlanmış ve memba kanalında çözülmüş oksijen değerleri ölçülmüştür.

Geri devirli sistemde ise venturi havalandırıcıların hava emme performansının ölçümünde kullanılan (0.75 m genişliğinde, 1.2 m yüksekliğinde ve 2.0 m boyunda) bir yüzeyi cam olan su tankı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan su, "Deney Düzeneği" bölümünde anlatıldığı gibi sisteme dışarıdan alınmıştır. Dışarıdan su alınırken devir pompası sürekli çalıştırılmak suretiyle sistemde mevcut borular içerisindeki suyun tank içerisindeki seviyeyi etkilemesi önlenmiş ve aynı zamanda kontrol vanası ile istenilen debi değeri ayarlanmıştır. Gerek venturi havalandırıcılar ve gerekse kapaklı konduitlerde geri devirli sistemlerde tank içerisindeki su seviyesi için iki farklı su yüksekliği değeri (0.5 m ve 1.0 m) ve dolayısıyla iki farklı hacim değeri (0.75 m^3 ve 1.50 m^3) kullanılmıştır. Her deneyin başlangıcında sistemdeki suyun çözülmüş oksijen konsantrasyonu su tankı içerisine sodyum sülfür (Na_2SO_3) ve kobalt klorür (CoCl_2) ilave edilerek sıfırlanmıştır. Pompanın çalıştırılması ile beraber suya sistem içerisinde sürekli bir devir yaptırılmıştır. Sistemdeki suyun çözülmüş oksijen konsantrasyonu başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında oksijenmetre yardımıyla tespit edilmiştir.

Gerek geri devirsiz gerekse geri devirli sistemlerde yapılan deneylerde sistemdeki suyun oksijene doyup doymadığı, her deney aşamasında Tablo 3.4.'deki değerlerle kontrol

edilmiştir. Deneyde kullanılan suyun sıcaklığı da termometre yardımıyla ölçülmüştür. 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 geri devirsiz sistemlerde Gulliver ve Rindels [26] tarafından önerilen (32) nolu denklem kullanılarak oksijen transfer verimleri (E) 20 °C’de normalize edilmiştir. Geri devirli sistemlerde ise (34) nolu denklem ile $(K_{La})_{20}$ değerleri bulunarak oksijen transfer verimleri (O_R) 20 °C’de normalize edilmiştir.

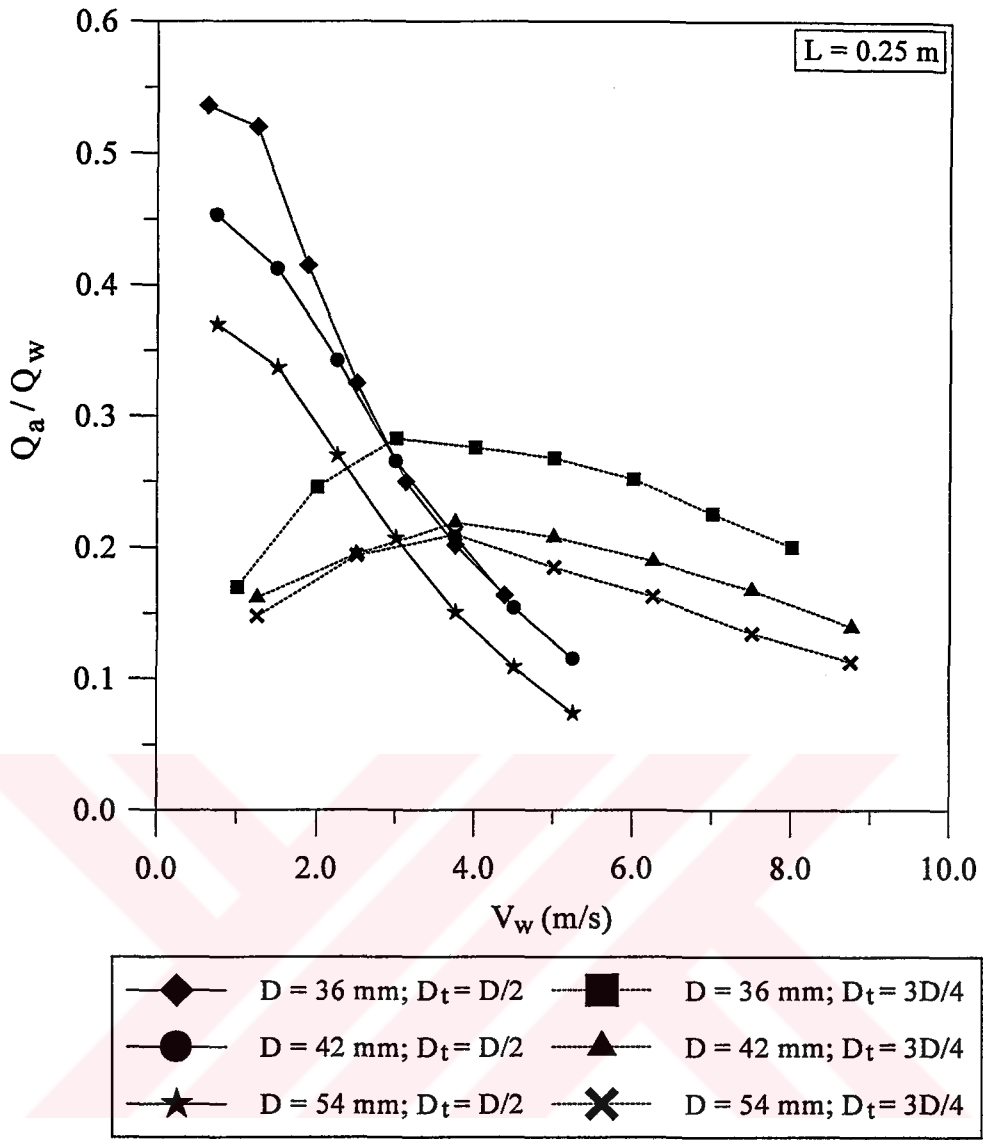
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Venturi Havalandırıcılar

6.1.1 Venturi havalandırıcılarda hava emme performansları

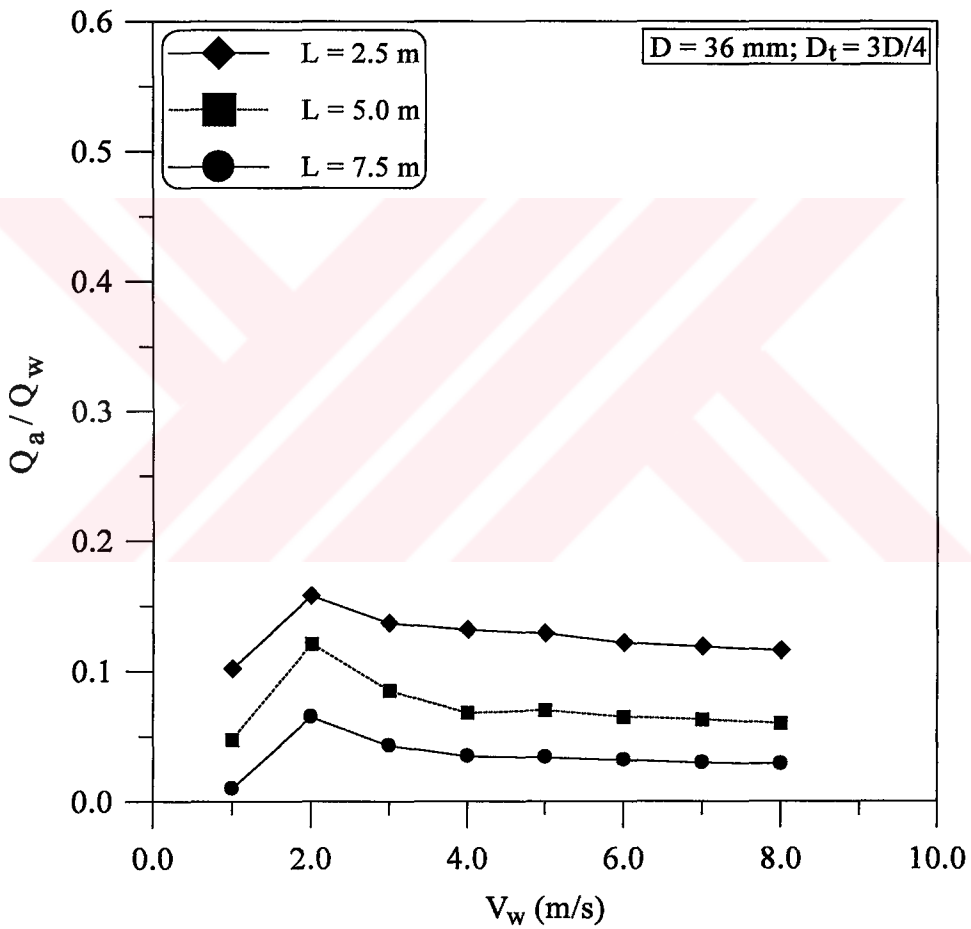
Oksijen transfer verimlerinin bulunmasından önce “deneyin yapılışı” bölümünde anlatıldığı üzere kullanılan farklı çap ve daralma oranlarına sahip venturilere ait hava emme performansları tespit edilmiştir (Şekil 6.1). Her iki daralma oranı için de venturi boru çapının küçülmesiyle hava emme performansının arttığı görülmektedir. Dolayısıyla deneyde kullanılan $D = 36$ mm çaplı venturi hem “ $D_t = D/2$ ” oranı için hem de “ $D_t = 3D/4$ ” oranı için en iyi hava emme performansı gösteren venturi havalandırıcı olarak tespit edilmiştir. Venturi çapının sabit kalıp daralma oranının değişmesi halinde küçük hız değerlerinde “ $D_t = D/2$ ” olan ventürilerin performansının, büyük hız değerlerinde ise “ $D_t = 3D/4$ ” olan ventürilerin performanslarının yüksek olduğu görülmüştür. Her üç boru çapı için de aynı sonuç alınmakla beraber hava emme performans değişiminin olduğu hız değerinin 3 – 4 m/s aralığında olduğu görülmektedir.

Bu hız değerlerinden daha büyük değerlerde bütün venturilerde hava emme performansının düştüğü yani akışkan debisindeki artışa karşın emilen hava debisinin aynı oranda artmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, venturi boğaz bölgesindeki, akışkan hızının artarak deliklerden emilecek havanın içeri girişini engellenmesi olarak görülmektedir.



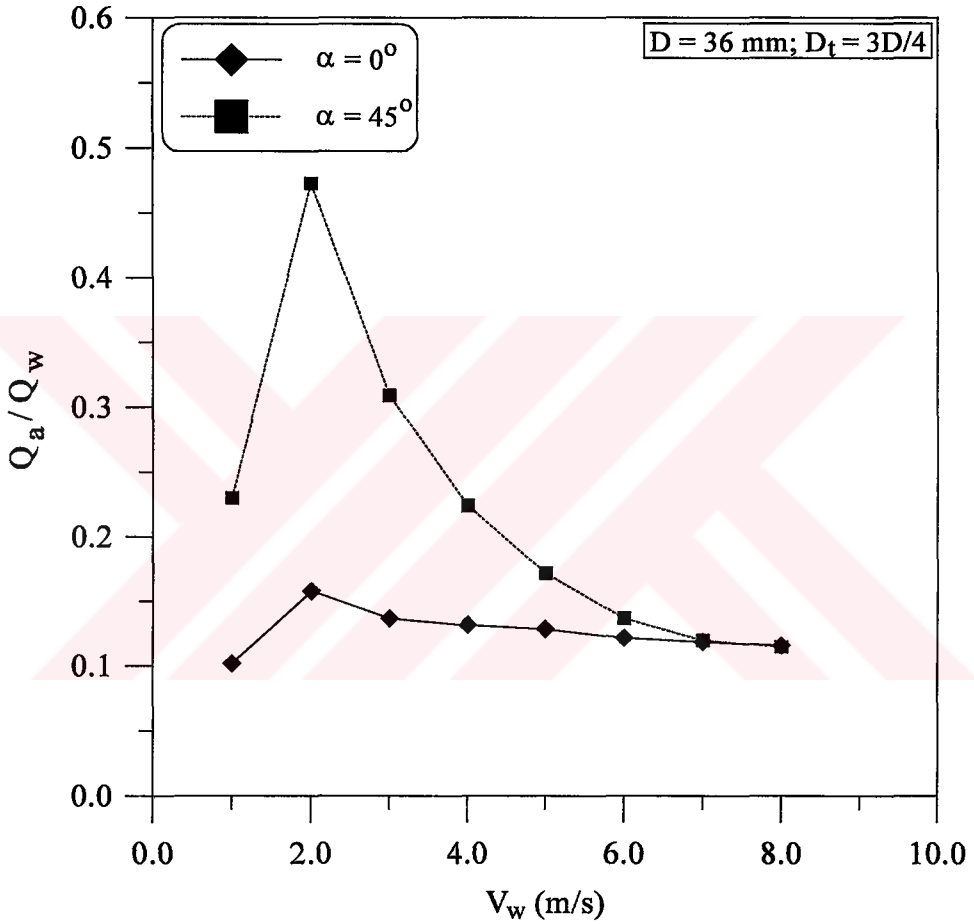
Şekil 6.1 Farklı boru çapları ve daralma oranlarına sahip venturilerde akım hızına bağlı olarak hava emme miktarının değişimi.

Büyük hız değerleri için en iyi performansı gösteren venturinin ($D = 36 \text{ mm}$; $D_t = 3D/4$) mansabındaki iletim borularının boyunun artırılmasına karşın, hava emme performansının düştüğü görülmüştür (Şekil 6.2). Bunun nedeni, iletim borularının boylarının artırılmasıyla, aynı akım değerlerinin elde edilebilmesi için venturi mansabında fazladan oluşan yük kayıpları, bu kayıplar kadar potansiyel enerjinin artması ve dolayısıyla daralma bölgesindeki basınç farkının (hava emmeyi oluşturan negatif basınç) azalması olarak görülmektedir. Ayrıca venturilerin hepsinde de akım debisinin artışına karşın hava emme performanslarının düşme eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Farklı akış hızları için hava emme performansının Venturi mansabındaki boru boyu ile değişimi.

En uygun boru boyu için (2.5m) yatayla 45° eğim oluşturacak şekilde yapılan ölçümlerde eğimli venturinin hava emme performansının düşük hızlarda yataya oranla daha iyi olduğu görülmektedir (Şekil 6.3). Eğimli venturide yer çekiminin akışkan akımıyla aynı yönde olması akışkana doğal bir sifon (emme) yeteneği sağladığından hava emme performansının arttığı düşünülmektedir. Yüksek akım hızlarında ise performansların biri birlerine çok yaklaştığı görülmüştür.

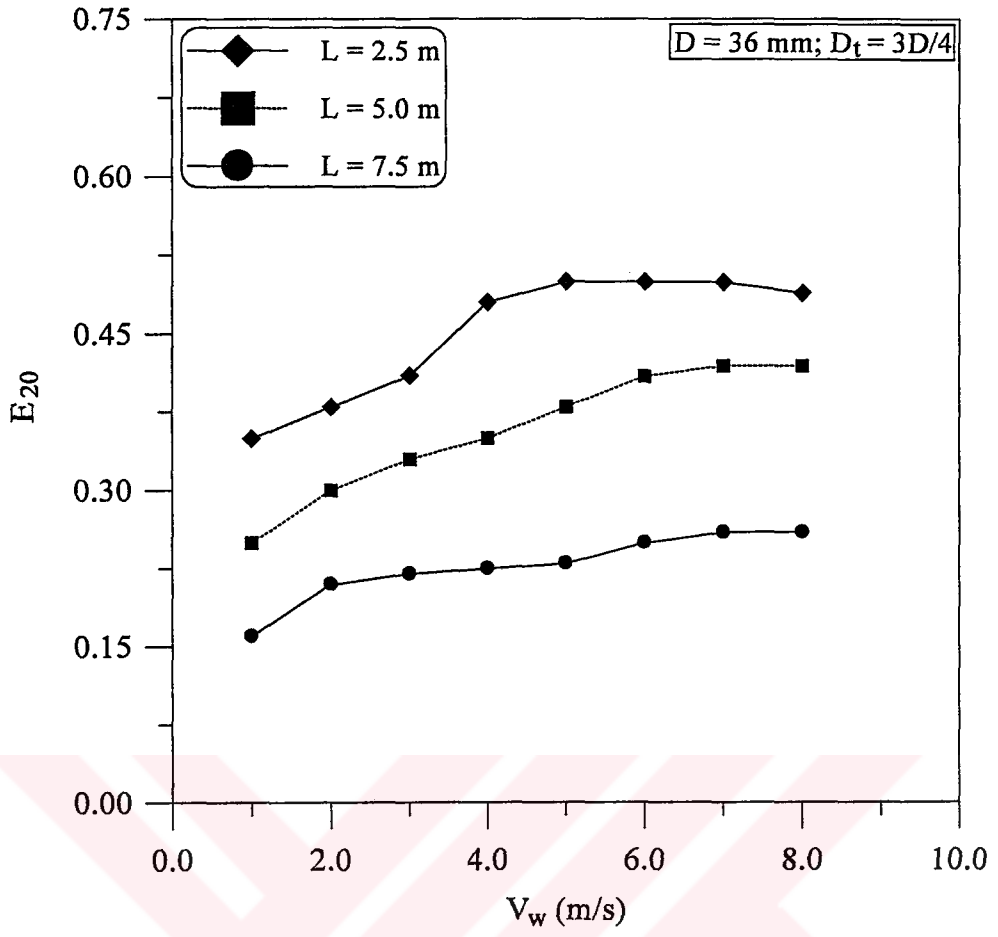


Şekil 6.3 Farklı hız değerleri için venturilerde hava emme performansının eğimle değişimi.

6.1.2. Venturilerde geri devirsiz sistemlere ait oksijen transfer veriminin sonuçları

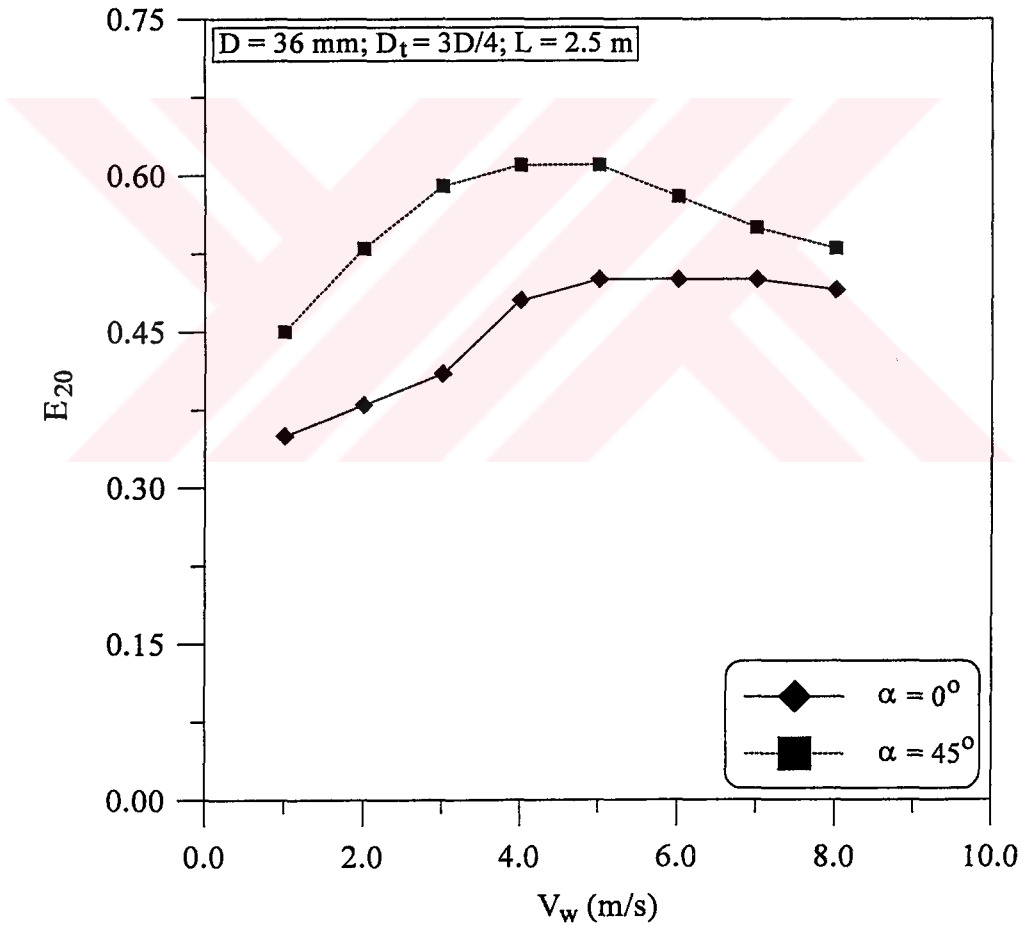
Membra ve mansapta ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonları (C_u ve C_d) kullanılarak (24) nolu denklemden oksijen eksiklik oranları (r) hesaplanmış ve bu oksijen eksiklik oranları yardımıyla da (25) nolu denklemden oksijen transfer verimleri (E) elde edilmiştir. Çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları (C_s) su sıcaklığına bağlı olarak Tablo3.4'ten alınmış ve (47a) denklemini kullanılarak deney şartlarına göre çevrilmiştir. Daha sonra hesaplanan oksijen transfer verimleri (30) nolu denklem kullanılarak 20 °C'de normalize edilmiştir. Venturilere ait oksijen transfer verimlerini (E_{20}) etkileyen faktörler araştırılırken "Venturi havalandırıcılarda hava emme performansları" bölümünde anlatılan sonuçlar dikkate alınarak performansı en iyi olan venturiler kullanılmıştır. Değişik tipteki venturilerde elde edilen oksijen transfer verimleri (E_{20}) aşağıda karşılaştırılmıştır:

36 mm çap ve $D_t = 3D/4$ daralma oranına sahip venturinin mansabındaki boru boyunun uzamasıyla oksijen transfer veriminin azaldığı görülmüştür. Boru boyunun artırılmasıyla hava kabarcıkları ile suyun temas süresinin ve dolayısıyla oksijen transfer veriminin artması beklenebilir. Ancak venturi havalandırıcıların akım şartları incelendiğinde; deliklerden hava girmesiyle ikifazlı akımın başladığı, ilk anda hızın da etkisiyle havanın su içerisinde genişleyerek küçük kabarcıklar halinde dağıldığı, bir süre sonra üniform dağılmış hava kabarcıklarının boru üst cidarında yoğunlaşarak sürüklendiği görülmüştür. Bu şartlar altında boru boylarındaki artış hava kabarcıklarının akışkan ile temas yüzeyini artırmada önemli bir katkı sağlamamıştır. Buna mukabil boru boyundaki artış bir önceki bölümde de anlatıldığı üzere venturi hava emme performansını düşürdüğü için oksijen transferi veriminin de düşmesine neden olmuştur (Şekil 6.4).



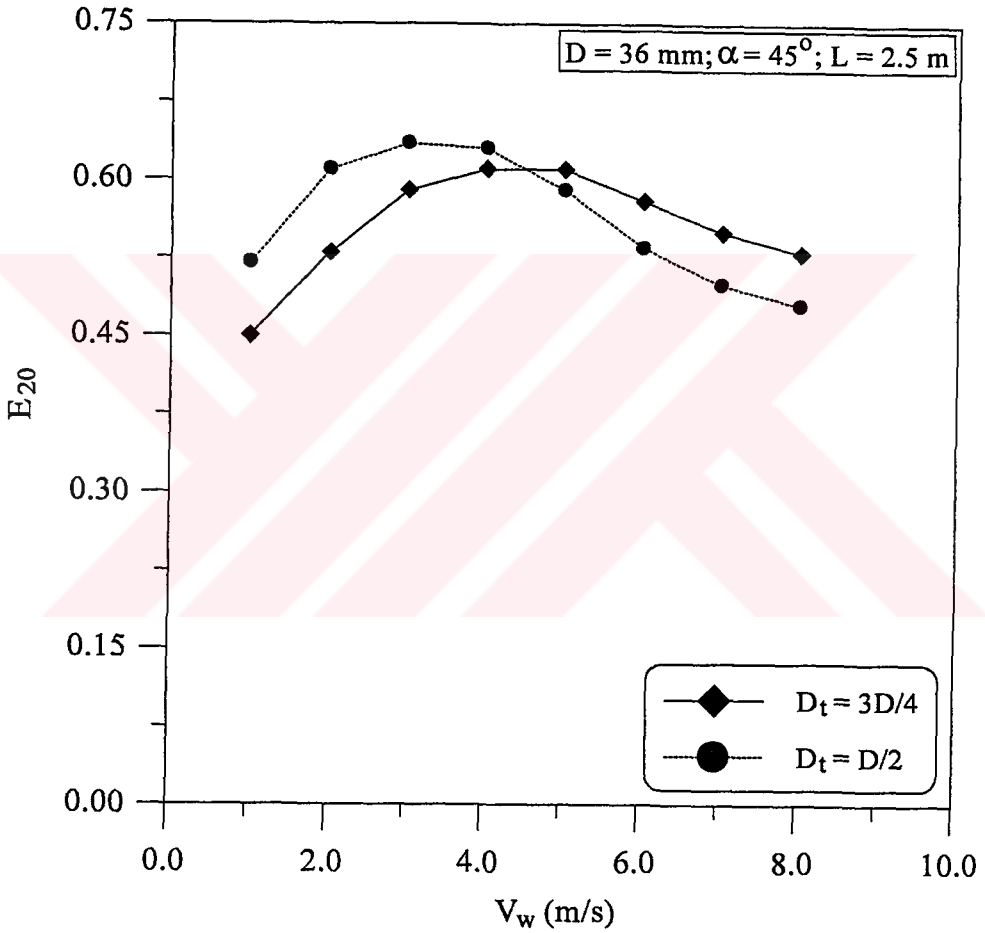
Şekil 6.4 Farklı hız değerleri için boru boylarına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi

Venturi sisteminin yatayla yaptığı açının artmasıyla oksijen transfer verimi değerinin de arttığı görülmektedir (Şekil 6.5). Bu durum boru boy etkisinin incelenmesinde olduğu gibi hava emme performansı ile ilişkilendirilebilir. Şöyle ki, “Şekil 6.3” ve “Şekil 6.5” karşılaştırıldığında hava emme performansı ile oksijen transfer verimi değişiminin büyük ölçüde benzeştiği görülmektedir. Ancak yüksek hız değerlerinde her iki eğimde de hava emme performansları çok yakın olmakla beraber oksijen transfer verimi açısından 45° açılı sistemin yatay konumdakinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Eğimli boru içerisindeki hava kabarcıkları akım yönünde sürüklenmeye zorlanırken, kabarcıkların akım yönüne zıt yönde su içerisinde yükselmesi, sürekli olarak kabarcıklar ve su arasında temasın oluşmasına neden olur. Bu durumun eğimli venturilerde oksijen transferini artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 6.5 Farklı hız değerleri için venturi yatay açısına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi

Şekil 6.1'in incelenmesinde de, düşük hızlarda $D_t = D/2$ olan venturilerin, yüksek hızlarda ise $D_t = 3D/4$ olan ventürilerin hava emme performanslarının daha iyi olduğu anlatılmıştı. Oksijen transfer verimi bakımından en uygun boru boyu (2.5 m) ve en uygun açı (45°) değerleri sabit kalmak üzere farklı daralma oranları için oksijen transfer verimleri incelendiğinde hava emme performansı ile paralel olarak, düşük hızlarda $D_t = D/2$ olan venturilerin, yüksek hızlarda ise $D_t = 3D/4$ olan ventürilerin oksijen transfer verimlerinin yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 6.6 Farklı hız değerleri için venturi daralma oranlarına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi

6.1.3. Venturilerde geri devirli sistemlere ait sonuçlar

Geri devirli sistemdeki suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında oksijenmetre yardımıyla tespit edilmiştir. Yatay eksen zaman eksenini (dakika), dikey eksen $-\ln \frac{(C_s - C_t)}{(C_s - C_o)}$ olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasından geçirilen doğrunun eğimi $K_L a$ değerini vermiştir. Bulunan $K_L a$ değeri (33) nolu denklem yardımıyla $(K_L a)_{20}$ 'ye çevrilmiş, yani 20°C'de normalize edilmiştir. Standart şartlardaki (20 °C ve 1 atmosfer) çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (C_s^*) Tablo 3.4.'den alınmıştır. Daha sonra (36) nolu denklem kullanılarak oksijen transfer oranı (O_R) elde edilmiştir. Değişik tipteki venturilerde elde edilen oksijen transfer verimleri (E_{20}) aşağıda karşılaştırılmıştır.

Bütün boru çaplarında venturi içerisindeki hızın artışına bağlı olarak emdiği hava miktarı (Q_a) belirli bir maksimum değere kadar artış göstermiş bu değerden sonra azalma eğilimine girmiştir. Aynı daralma oranlarına ve hız değerlerine sahip venturilerde boru çapı arttıkça hava emme miktarında da belirgin bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kütle transfer katsayısı $(K_L a)_{20}$ değeri tüm borularda çap ve hızın artışına paralel olarak artma eğilimi göstermiştir. Yine benzer şekilde tüm boru çapları ve hız değerleri dikkate alındığında boru çapları ve hız değerlerinin artmasıyla oksijen transfer oranlarının da arttığı belirlenmiştir (Tablo 6.1). Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 arasında sadece tank içerisindeki su yüksekliğine bağlı su hacminde oluşan bir fark bulunmaktadır (0.5 m su yüksekliği için $V= 0.75 \text{ m}^3$, 1.0 m su yüksekliği için $V= 1.5 \text{ m}^3$). Tablo 6.1 için yapılan yorumlar Tablo 6.2 için de geçerlidir. Ancak oksijen transfer oranları incelendiği zaman 1 m su yüksekliğinin olduğu geri devirli sistemin daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Buradan hava kabarcıklarının suyun yüzeyine çıkarken kat ettikleri yolun oksijen transferi açısından önemli olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 6.1 Venturi Havalandırıcı ($V = 0.75 \text{ m}^3$)

No	D (mm)	V_w (m/s)	D_t / D (-)	Q_a (m^3/s) $\times 10^{-4}$	$(K_L a)_{20}$ (1/h)	C_s^* (g/m^3)	V (m^3)	O_R ($\text{kg O}_2/\text{h}$)
1.	36	1.5	0.50	7.86	5.46	9.17	0.75	0.038
2.	36	3.0	0.50	8.86	8.76	9.17	0.75	0.060
3.	36	4.5	0.50	8.03	9.24	9.17	0.75	0.064
4.	42	1.5	0.50	10.68	7.38	9.17	0.75	0.051
5.	42	3.0	0.50	11.07	10.32	9.17	0.75	0.071
6.	42	4.5	0.50	9.64	12.72	9.17	0.75	0.087
7.	54	1.5	0.50	12.36	8.70	9.17	0.75	0.060
8.	54	3.0	0.50	15.28	12.48	9.17	0.75	0.086
9.	54	4.5	0.50	12.42	12.96	9.17	0.75	0.089
10.	36	2.5	0.75	9.52	7.26	9.17	0.75	0.050
11.	36	5.0	0.75	8.73	14.40	9.17	0.75	0.099
12.	36	7.5	0.75	7.72	29.76	9.17	0.75	0.205
13.	42	2.5	0.75	11.10	8.46	9.17	0.75	0.058
14.	42	5.0	0.75	8.73	24.12	9.17	0.75	0.166
15.	42	7.5	0.75	8.09	32.10	9.17	0.75	0.221
16.	54	2.5	0.75	17.94	16.56	9.17	0.75	0.114
17.	54	5.0	0.75	17.03	54.54	9.17	0.75	0.375
18.	54	7.5	0.75	16.72	64.74	9.17	0.75	0.445

Tablo 6.2 Venturi Havalandırıcı ($V = 1.5 \text{ m}^3$)

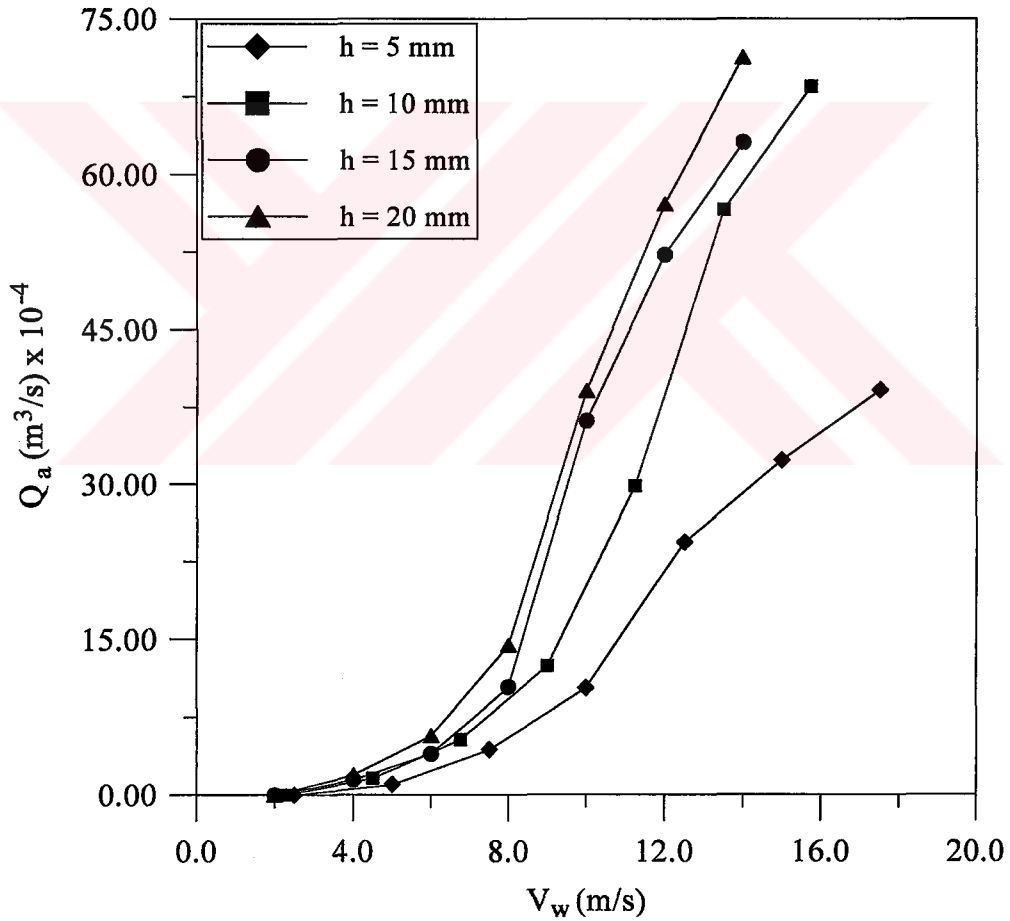
No	D (mm)	V_w (m/s)	D_t / D (-)	Q_a (m^3/s) $\times 10^{-4}$	$(K_L a)_{20}$ (1/h)	C_s^* (g/m^3)	V (m^3)	O_R ($\text{kg O}_2/\text{h}$)
1.	36	1.5	0.50	7.86	3.30	9.17	1.50	0.045
2.	36	3.0	0.50	8.86	6.24	9.17	1.50	0.086
3.	36	4.5	0.50	8.03	6.48	9.17	1.50	0.089
4.	42	1.5	0.50	10.68	3.54	9.17	1.50	0.049
5.	42	3.0	0.50	11.07	6.90	9.17	1.50	0.095
6.	42	4.5	0.50	9.64	9.12	9.17	1.50	0.125
7.	54	1.5	0.50	12.36	5.10	9.17	1.50	0.070
8.	54	3.0	0.50	15.28	8.64	9.17	1.50	0.119
9.	54	4.5	0.50	12.42	11.22	9.17	1.50	0.154
10.	36	2.5	0.75	9.52	3.96	9.17	1.50	0.054
11.	36	5.0	0.75	8.73	7.68	9.17	1.50	0.106
12.	36	7.5	0.75	7.72	11.64	9.17	1.50	0.160
13.	42	2.5	0.75	11.10	4.68	9.17	1.50	0.064
14.	42	5.0	0.75	8.73	9.90	9.17	1.50	0.136
15.	42	7.5	0.75	8.09	16.74	9.17	1.50	0.230
16.	54	2.5	0.75	17.94	8.10	9.17	1.50	0.111
17.	54	5.0	0.75	17.03	25.74	9.17	1.50	0.354
18.	54	7.5	0.75	16.72	36.48	9.17	1.50	0.502

6.2. Kapaklı Konduitler

6.2.1 Kapaklı Konduitlerde hava emme performansları

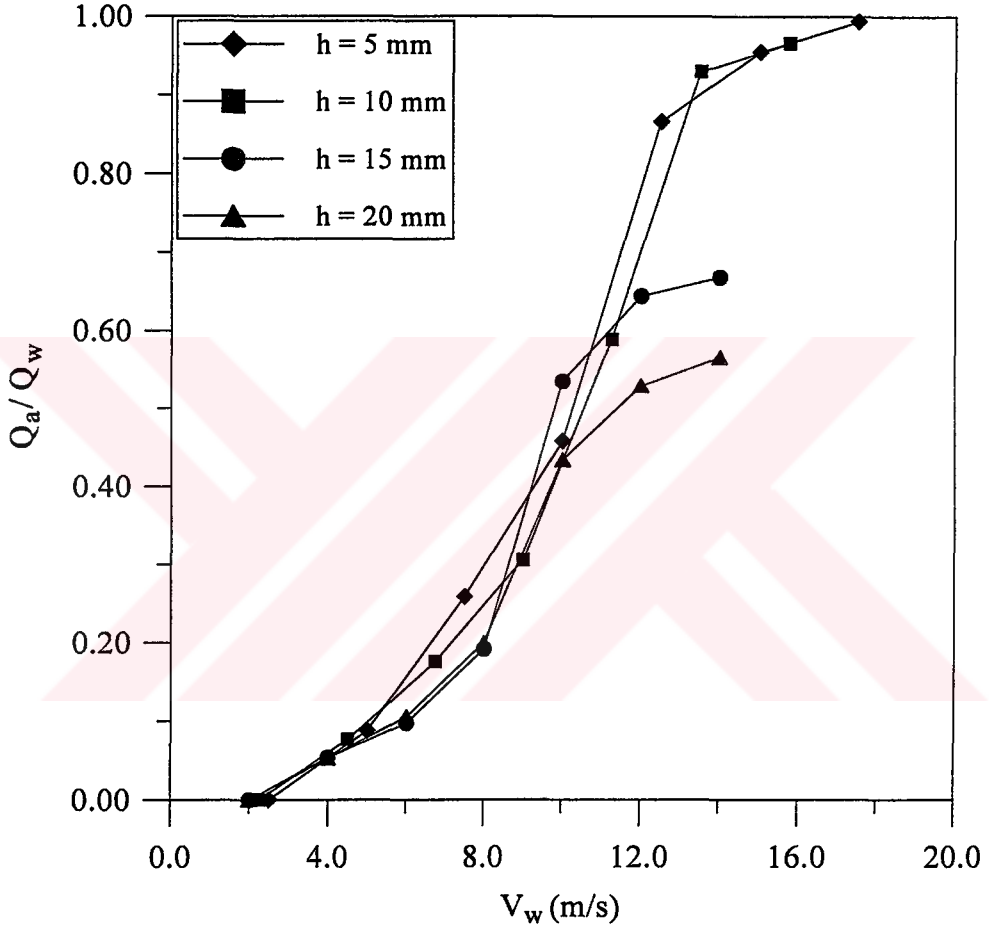
Daha önceden de bahsedildiği gibi yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde savaklama kapağının farklı yükseklik değerleri için akışkan debisi değiştirilmek suretiyle hava emme performansları ve oksijen transfer verimleri incelenmiştir.

Farklı kapak açıklıkları için hız değerlerinin artmasıyla hava emme miktarında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. $h=5$ mm kapak açıklığı değerinde en küçük hava emme miktarı oluşurken $h=20$ mm kapak açıklığı değerinde en büyük hava emme miktarı meydana gelmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Farklı kapak açıklıkları için akışkan hızına bağlı olarak emilen hava miktarı değişimi

Hava emme miktarından bağımsız olarak performanslar açısından incelendiğinde hızın artışına bağlı olarak hava emme performansında çok büyük artışlar olduğu görülmüştür. $h=5$ mm kapak açıklığı değeri için en büyük hava emme performansı elde edilirken bu durumun aksine $h=20$ mm kapak açıklığı değeri için de en küçük hava emme performansı elde edilmiştir (Şekil 6.8). Şekil 6.7 de görülen durumun tam aksine Şekil 6.8’de kapak açıklığının artmasıyla hava emme performansında büyük bir düşüş meydana gelmiştir.

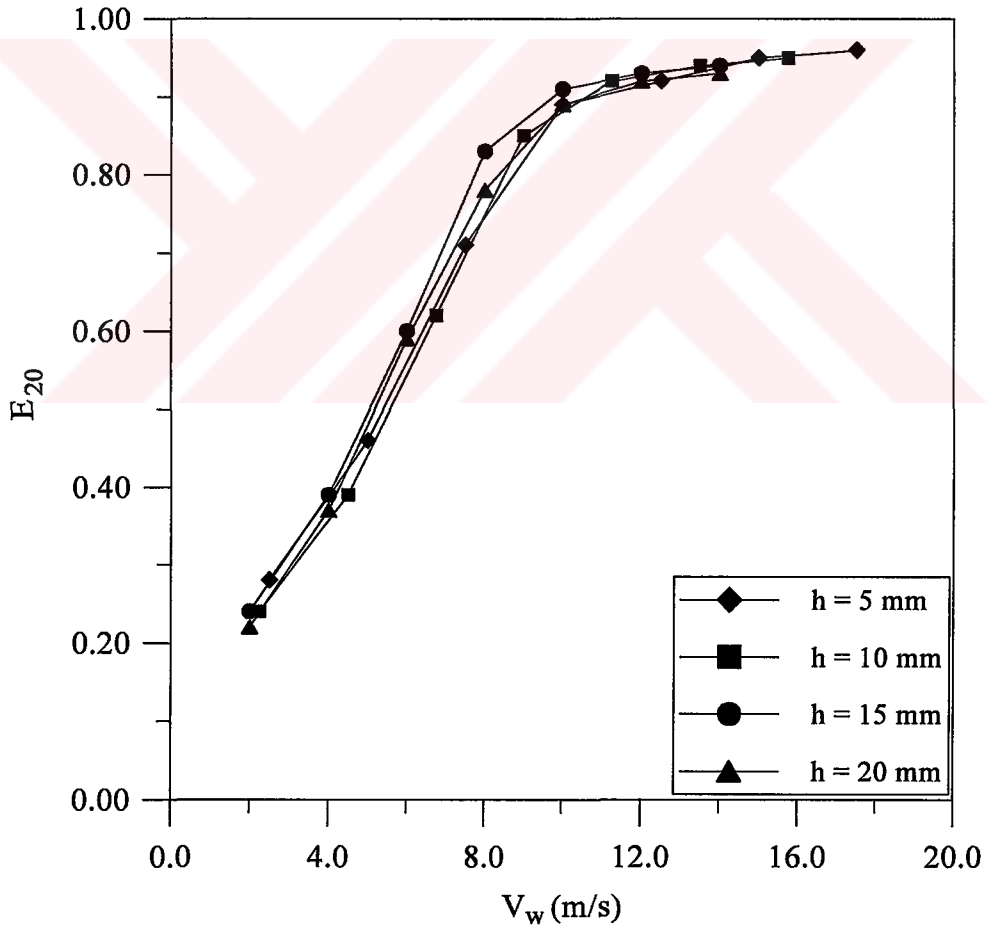


Şekil 6.8 Farklı kapak açıklıkları için akışkan hızına bağlı olarak emilen hava emme performansı değişimi

6.2.2. Kapaklı konduitlerde geri devirsiz sistemlere ait sonuçlar

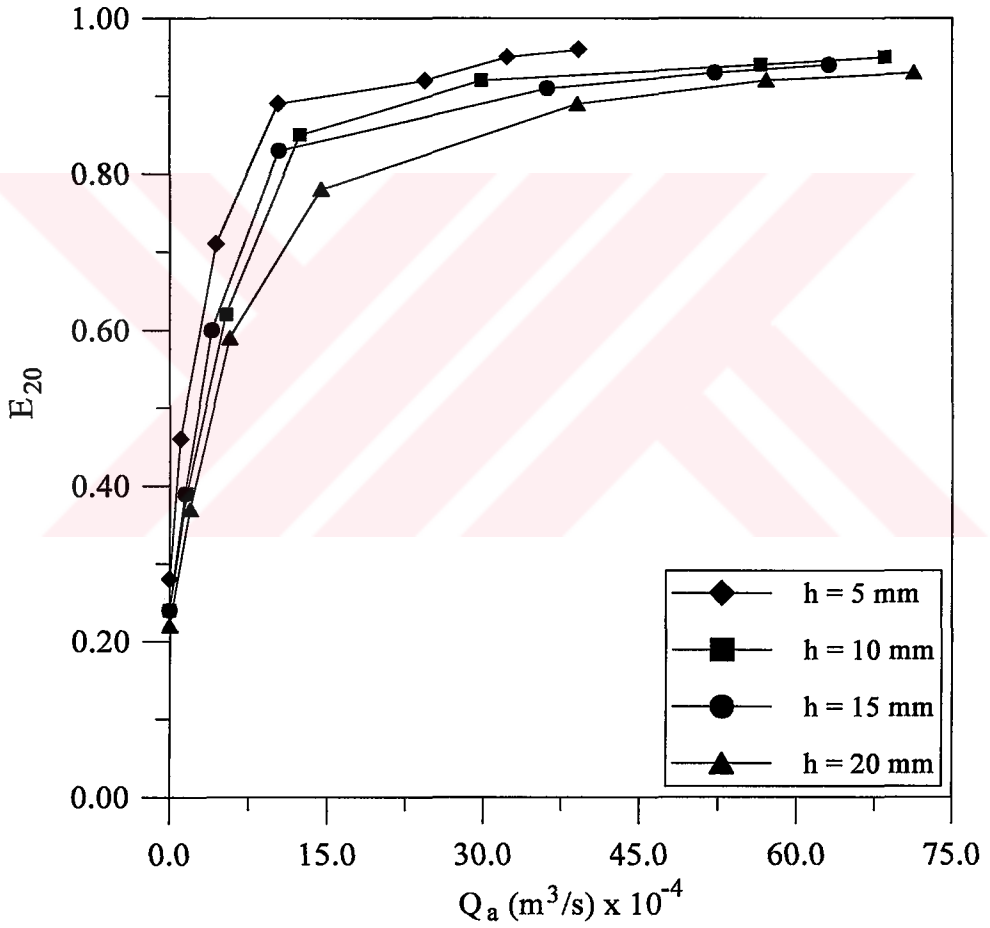
Kapaklı konduitlerde oksijen transfer verimleri (E) hesaplanırken venturı sistemlerinde kullanılan formüller kullanılmak suretiyle 20C^o normalize edilmiştir. Değişen parametrelere bağlı olarak hesaplanan oksijen transfer verimleri (E₂₀) aşağıda karşılaştırılmıştır:

Oksijen transfer verimi incelendiğinde akışkan hız değerinin artmasına paralel olarak bütün kapak açıklığı değerlerinde oksijen transfer veriminin de arttığı görülmüştür. Ancak bu artışın yüksek hızlarda (>10 m/s den sonra) azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Kapak açıklıklarının değişiminin oksijen transfer verimine önemli bir etkisinin olmadığı, verim değerlerinin birbirleri ile çakışık veya çok yakın olduğu tespit edilmekle beraber en iyi transfer veriminin h=15 mm kapak açıklığı değerinde gerçekleştiği görülmüştür(Şekil 6.9).



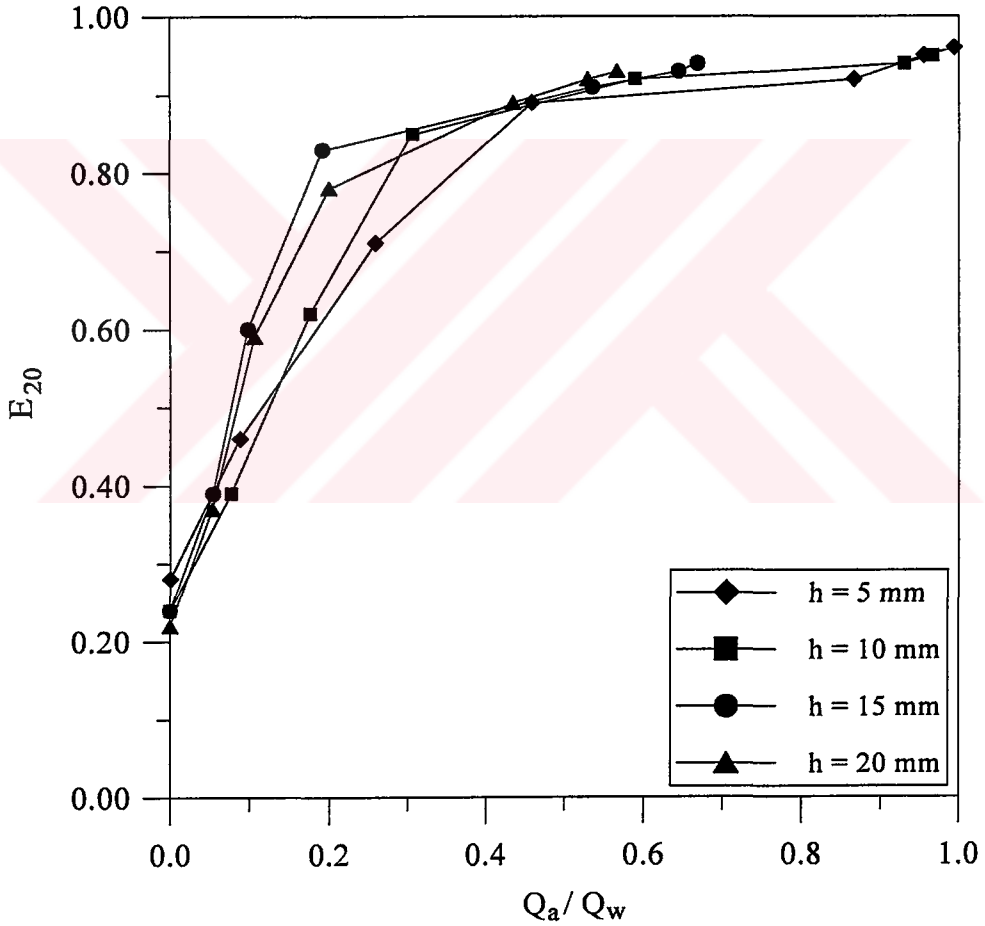
Şekil 6.9 Farklı kapak açıklıkları için akışkan hızına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi

Bütün kapak açıklığı değerlerinde emilen hava miktarının artırılmasıyla başlangıçta oksijen transfer verimi artma eğiliminde olduğu ancak daha sonra azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum konduit içerisinde oluşan iki fazlı akım şartlarıyla açıklanabilir şöyle ki; savaklama kapağından hızla çıkan su oluşan negatif basınç nedeniyle havayı sürüklemeye başlar. İlk sıçrama anında hava kabarcıkları ve su arasında yoğun bir temas oluşur. Daha sonra genişleyen kesit içerisinde hava kabarcıklarının kanal yüzeyine doğru hareket ederek birleşmeleri sebebiyle su ile olan temasları azalır. Bu durumda da oksijen transfer verimi azalır. Hava miktarındaki artışa karşın hava ile su arasındaki temasın artmaması oran olarak transfer veriminin azalmasına sebep olduğu görülmektedir(Şekil 6.10).



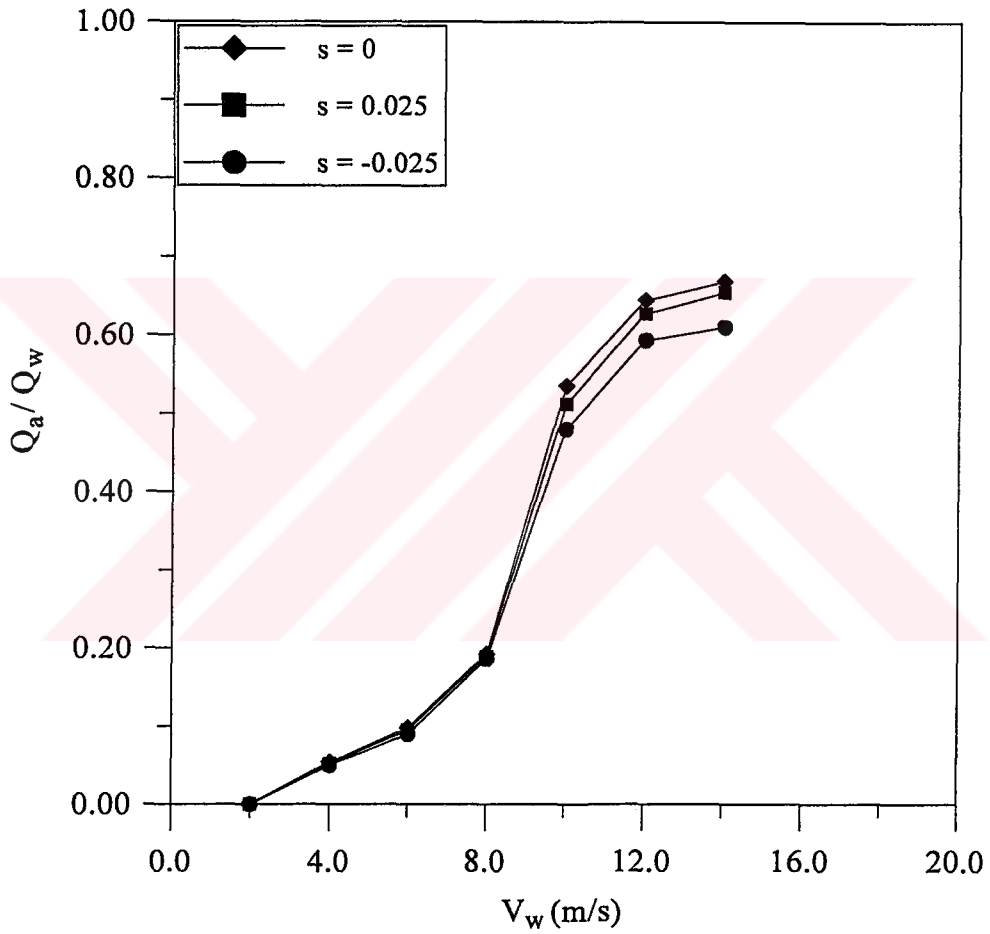
Şekil 6.10 Farklı kapak açıklıkları için hava emme miktarına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi

Hava emme performansına bağı olarak oksijen transfer katsayısı değerlerindeki değişimin kapak açıklığı değerleri ile önemli değişiklikler göstermediği görülmüştür(Şekil 6.11). Bununla beraber en yüksek transferin $h=15$ mm kapak açıklığında gerçekleştiği görülmektedir. Hava emme performansının artmasıyla oksijen transfer katsayısı değerinin değişimi eğrisinde iki aşama mevcuttur. Bunlar oksijen transfer veriminin artma eğiliminde ve azalma eğiliminde olduğu aşamalarıdır. Başlangıçta performanstaki artışın aynı şekilde oksijen transfer verimini de artırdığı ancak daha sonra artışın azaldığı görülmektedir. Bu durum daha öncede bahsedildiği üzere oksijen transfer veriminin, emilen havanın miktarından ziyade, su ile hava kabarcıkları arasında oluşan temas yüzeyinin artmasıyla yükseldiğini göstermektedir.

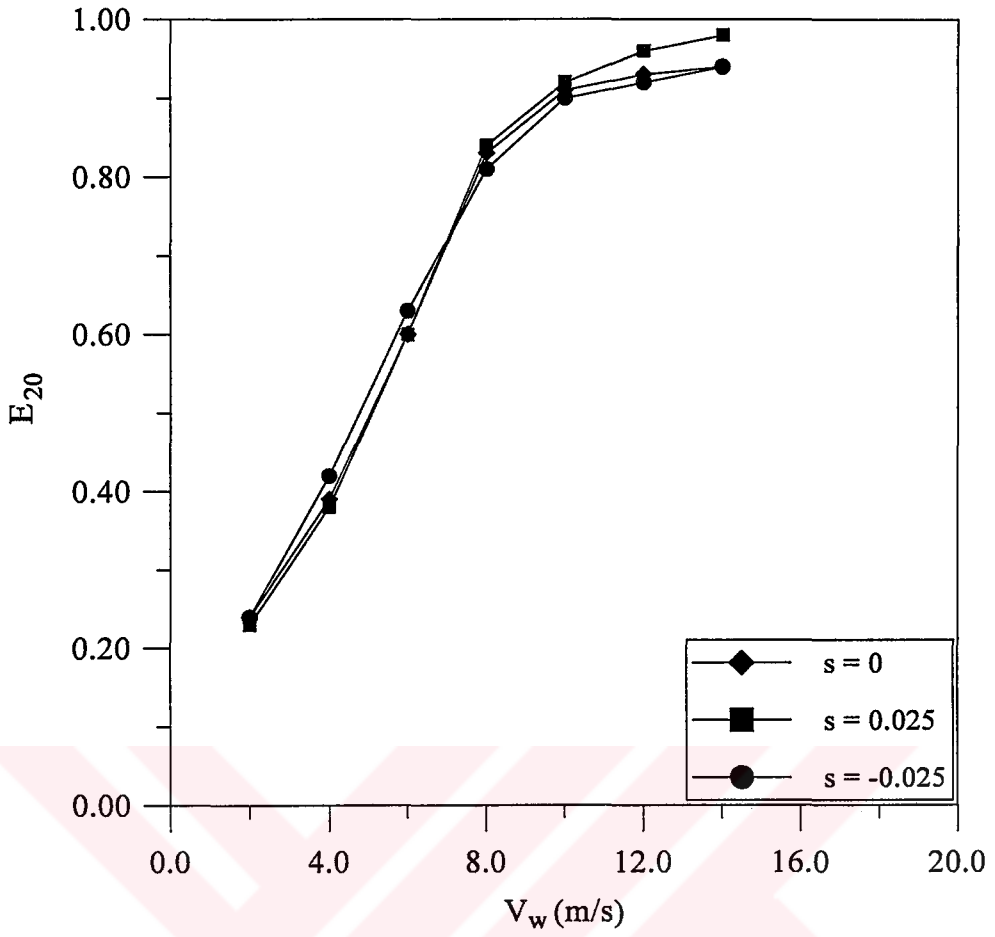


Şekil 6.11 Farklı kapak açıklıkları için hava emme performansına bağı olarak oksijen transfer katsayısı değerlerinin değişimi

Daha önce belirtildiği üzere en yüksek oksijen transfer verimi $h=15$ mm kapak açıklığı değerinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.9). Bu nedenle bu kapak açıklığı değeri sabit tutularak konduit yatay eğimleri değiştirilmiş ve eğim değişiminin hava emme performansına ve dolayısıyla da oksijen transfer verimine etkisi incelenmiştir (Şekil 6.12-13). Hava emme performansı bakımından, alınan eğim değerleri için önemli farklar görülmemekle beraber, en uygun eğim $S=0$ olarak bulunmuştur (Şekil 6.12). Buna karşın oksijen transfer veriminin $S=0.025$ eğim değerinde daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.13).



Şekil 6.12 Farklı eğimler için konduitlerde akım hızına bağlı olarak hava emme performansının değişimi



Şekil 6.13 Farklı eğimler için konduitlerde akım hızına bağlı olarak oksijen transfer veriminin değişimi

6.2.3 Kapaklı konduitlerde geri devirli sistemlere ait sonuçlar

Kapaklı konduitlerde farklı kapak açıklıkları için geri devirli sistemlere ait kütle transfer katsayıları ($K_L a$)₂₀ ve oksijen transfer oranlarındaki değişimler (O_R) Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'de verilmiştir.

Bütün kapak açıklığı değerlerinde suyun hızının artırılmasıyla hava emme miktarının , kütle transfer katsayısının ve oksijen transfer oranlarının da arttığı görülmektedir. Eşit hız değerleri için kapak açıklığının artırılması ve dolayısıyla debinin de artması durumunda da aynı artışlar oluşmuştur.

Kapak açıklığının ve hız değerlerinin sabit kalmasına karşın tank içerisindeki su yüksekliğinin ve dolayısıyla hacminin artmasıyla kütle transfer katsayısı değerinin azalıp oksijen transfer oranının arttığı belirlenmiştir. Kütle transfer katsayısındaki azalma oranının özellikle düşük hız değerlerinde suyun hacmindeki artış kadar olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek hız değerlerinde ise su hacmindeki artışa karşın kütle transferinin arttığı görülmektedir. Aynı kapak açıklıkları için hızın ve debinin artması oksijen transfer oranlarını da arttırmıştır. Düşük hızlarda konduit içerisine emilen havanın sürüklenme sırasında boru içerisinde toplanarak büyük baloncuklar oluşturması ve bu şekilde tank yüzeyine çıkmasının kütle transfer katsayısının ve oksijen transfer oranlarının azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Yüksek hız değerlerinde havanın küçük kabarcıklar halinde tank içerisinde yükselmesinin, su ile havanın temas yüzeyini ve dolayısıyla transfer verimini artırdığı, hava kabarcıklarının suyun yüzeyine olan mesafesinin de oksijen transferini artırdığı görülmektedir.

Tablo 6.3 Konduit ($V = 0.75 \text{ m}^3$)

No	h (mm)	V_w (m/s)	Q_a (m^3/s) $\times 10^{-4}$	$(K_L a)_{20}$ (1/h)	C_s^* (g/m^3)	V (m^3)	O_R ($\text{kg O}_2/\text{h}$)
1.	5	6	1.77	0.96	9.17	0.75	0.007
2.	5	9	8.77	1.86	9.17	0.75	0.013
3.	5	12	19.26	7.20	9.17	0.75	0.050
4.	10	6	3.66	4.38	9.17	0.75	0.030
5.	10	9	12.41	15.12	9.17	0.75	0.104
6.	10	12	37.39	28.68	9.17	0.75	0.197
7.	15	6	3.97	16.86	9.17	0.75	0.116
8.	15	9	29.40	30.42	9.17	0.75	0.209
9.	15	12	52.08	37.38	9.17	0.75	0.257
10.	20	6	5.70	19.50	9.17	0.75	0.134
11.	20	9	32.30	35.22	9.17	0.75	0.242
12.	20	12	57.10	44.34	9.17	0.75	0.305
13.	25	6	18.30	24.72	9.17	0.75	0.170
14.	25	9	34.56	34.74	9.17	0.75	0.239
15.	25	12	59.50	53.64	9.17	0.75	0.369
16.	30	6	21.40	26.10	9.17	0.75	0.180
17.	30	9	35.67	51.96	9.17	0.75	0.357
18.	30	12	64.67	67.32	9.17	0.75	0.463

Tablo 6.4 Konduit ($V = 1.5 \text{ m}^3$)

No	h (mm)	V_w (m/s)	Q_a (m^3/s) $\times 10^{-4}$	$(K_L a)_{20}$ (1/h)	C_s^* (g/m^3)	V (m^3)	O_R ($\text{kg O}_2/\text{h}$)
1.	5	6	1.77	0.54	9.17	1.50	0.007
2.	5	9	8.77	0.97	9.17	1.50	0.013
3.	5	12	19.26	3.72	9.17	1.50	0.051
4.	10	6	3.66	2.40	9.17	1.50	0.033
5.	10	9	12.41	6.84	9.17	1.50	0.094
6.	10	12	37.39	18.66	9.17	1.50	0.257
7.	15	6	3.97	5.76	9.17	1.50	0.079
8.	15	9	29.40	18.00	9.17	1.50	0.248
9.	15	12	52.08	30.36	9.17	1.50	0.418
10.	20	6	5.70	9.90	9.17	1.50	0.136
11.	20	9	32.30	23.34	9.17	1.50	0.321
12.	20	12	57.10	36.54	9.17	1.50	0.503
13.	25	6	18.30	14.04	9.17	1.50	0.193
14.	25	9	34.56	26.40	9.17	1.50	0.363
15.	25	12	59.50	44.46	9.17	1.50	0.612
16.	30	6	21.40	15.90	9.17	1.50	0.219
17.	30	9	35.67	29.94	9.17	1.50	0.412
18.	30	12	64.67	56.52	9.17	1.50	0.777

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, geri devirsiz ve geri devirli sistemlerde, venturi havalandırıcılar ve kapaklı konduitlerde, oksijen transfer veriminin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucu venturi havalandırıcılarda boru çapının, boğaz bölgesindeki daralma oranının, mansap boru uzunluğunun ve boru eğimi değişiminin oksijen transfer verimini etkilediği görülmüştür. Kapaklı konduitlerde yapılan incelemelerde ise, kapak açıklıkları ve boru eğiminin değişiminin oksijen transfer verimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1-Venturi Havalandırıcılar

- Boru çapının azalmasıyla emilen hava miktarıda oransal olarak artmıştır. Yani hava emme performansında artış gözlemlenmiştir.

- $D_t/D=0,5$ daralma oranında hız değerinin artmasına karşın hava emme performansında düşüş meydana geldiği görülmüştür.

- $D_t/D=0,75$ daralma oranında düşük hızlarda yüksek hava emme performansı oluşurken, yüksek hızlarda düşük hava emme performansı meydana geldiği görülmüştür.

- Boru boyunun artmasıyla hava emme performansı azalma eğilimine girmiştir. Bunun nedeni olarak, iletim borularının boylarının artırılmasıyla, aynı akım değerlerinin elde edilebilmesi için venturi mansabında fazladan oluşan yük kayıpları, bu kayıplar kadar potansiyel enerjinin artması ve dolayısıyla daralma bölgesindeki basınç farkının (hava emmeyi oluşturan negatif basınç) azalmasıyla açıklanabilir.

- Venturi açısının artışıyla düşük hızlarda hava emme performansı da artmıştır. Ancak hızın artışıyla beraber açının performans üzerindeki etkisinin azaldığı ve ortadan kalktığı görülmüştür.

- Venturilerde boru boyundaki artış hava emme performansını düşürdüğü için oksijen transferi veriminin de düşmesine neden olmuştur.

- Venturi sisteminin yatayla yaptığı açının artmasına bağlı olarak oksijen transfer verimi değerinin de arttığı görülmektedir.

- Farklı daralma oranları için oksijen transfer verimleri incelendiğinde hava emme performansı paralel olarak, düşük hızlarda $D_t = D/2$ olan ventürilerin, yüksek hızlarda ise $D_t = 3D/4$ olan ventürilerin oksijen transfer verimlerinin yüksek olduğu görülmektedir.

- Bütün boru çaplarında venturi içerisindeki hızın artışına bağlı olarak emdiği hava miktarı (Q_a) belirli bir maksimum değere kadar artış göstermiş bu değerden sonra azalma eğilimine girmiştir. Aynı daralma oranlarına ve hız değerlerine sahip ventürilerde boru çapı arttıkça hava emme miktarında da belirgin bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kütle transfer katsayısı $(K_{La})_{20}$ değeri tüm borularda çap ve hızın artışına paralel olarak artma eğilimi göstermiştir. Yine benzer şekilde tüm boru çapları ve hız değerleri dikkate alındığında boru çapları ve hız değerlerinin artmasıyla oksijen transfer oranlarının da arttığı belirlenmiştir

2-Kapaklı konduitler

- Farklı kapak açıklıkları için hız değerlerinin artmasıyla hava emme miktarında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı hız değeri için $h=5$ mm kapak açıklığı değerinde en küçük hava emme miktarı oluşurken $h= 20$ mm kapak açıklığı değerinde en büyük hava emme miktarı meydana gelmiştir. Ancak hava emme verimi olarak incelendiğinde (Q_a/Q_w) $h=5$ mm kapak açıklığı değerinde en yüksek hava emme verimi ölçülmüştür.

- Hava emme miktarından bağımsız olarak performanslar açısından incelendiğinde kapaklı konduitlerde hızın artışına bağlı olarak hava emme performansında çok büyük artışlar olduğu görülmüştür.

- Oksijen transfer verimi incelendiğinde akışkan hız değerinin artmasına paralel olarak bütün kapak açıklığı değerlerinde oksijen transfer veriminin de arttığı görülmüştür.

- Kapak açıklıklarının değişiminin oksijen transfer verimine önemli bir etkisinin olmadığı, verim değerlerinin birbirleri ile çakışık veya çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

- Bütün kapak açıklığı değerlerinde emilen hava miktarının artırılmasıyla başlangıçta oksijen transfer verimi artma eğiliminde olduğu ancak daha sonra artış oranının azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

- Hava emme performansı bakımından, alınan eğim değerleri için önemli farklar görülmemekle beraber, en uygun eğim $S=0$ olarak bulunmuştur. Buna karşın oksijen transfer veriminin $S=0.025$ eğim değerinde daha yüksek olduğu görülmüştür.

•Bütün kapak açıklığı değerlerinde suyun hızının artırılmasıyla hava emme miktarının , kütle transfer katsayısının ve oksijen transfer oranlarının da arttığı görülmektedir. Kapak açıklığının ve hız değerlerinin sabit kalmasına karşın tank içerisindeki su yüksekliğinin ve dolayısıyla hacminin artmasıyla kütle transfer katsayısı değerinin azalıp oksijen transfer oranının arttığı belirlenmiştir.

•Düşük hızlarda konduit içerisine emilen havanın sürüklenme sırasında boru içerisinde toplanarak büyük baloncuklar oluşturması ve bu şekilde tank yüzeyine çıkmasının kütle transfer katsayısının ve oksijen transfer oranlarının azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek hız değerlerinde havanın küçük kabarcıklar halinde tank içerisinde yükselmesinin, su ile havanın temas yüzeyini ve dolayısıyla transfer verimini artırdığı, hava kabarcıklarının suyun yüzeyine olan mesafesinin de oksijen transferini artırdığı görülmüştür.



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 incelenmesi, 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. Water Research Laboratory (WRL), "Notes on Water Pollution-Aeration of Weirs", Report. No.61, Department of the Environment, Stevenage, U.K., 1973.
8. 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.
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. Tzivoglou, 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. Butts, T. A., and Evans, R. L., "Small Channel Dam Aeration Characteristics", J. Envir. Engrg., ASCE, 109(3), 1983, pp. 555-573.
22. 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.
23. 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.
24. 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
25. Wormleaton, P. R., Tsang, C. C., "Aeration Performance of Rectangular Planform Labyrinth Weirs", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 5, May 2000, pp. 456-465.
26. Gulliver, J. S., 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.
27. 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.
28. Muslu, Y., "Su Temini ve Çevre Sağlığı Cilt II", T.C. İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1302, İstanbul, 1985.
29. Isaacs, W. P., and Gaudy, A. F., Jr., "Atmospheric oxidation in a simulated stream", J. Sanit. Engrg. Div., ASCE 94 (2), 319, 1968.
30. Gameson, A. L. H., and Robertson, H. B., J. Appl. Chem., 5, 503, 1955.
31. 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.
32. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1985.
33. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1989.
34. Hua, H., "Accurate Method For Calculation of Saturation DO", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 5, September/October, 1990, pp. 988-990.
35. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1980.
36. White, E. M., "Fluid Mechanics", McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y., 1979, pp. 63-65.
37. McGhee, T. J., "Water Supply and Sewerage", McGRAW - HILL International Editions, 6th Edition, 1991.

ÖZGEÇMİŞ

1971 Elazığ'ın Ağın ilçesinde doğdu, ilk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1993 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğinin Bölümünden mezun oldu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra öğretim görevlisi olarak atandı. Halen F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

