

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOĞAZ BÖLGESİNDE FARKLI DELİK SAYILARINA SAHİP VENTURİ
AYGITININ HAVALANDIRMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ



SİNAN TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EKİM 2019

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOĞAZ BÖLGESİNDE FARKLI DELİK SAYILARINA SAHİP VENTURİ
AYGITININ HAVALANDIRMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ



SİNAN TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EKİM 2019

Onay sayfası

Tezin Başlığı: Boğaz Bölgesinde Farklı Delik Sayılarına Sahip Venturi Aygıtının Havalandırma Performansının İncelenmesi

Tezi Hazırlayan: Sinan Turgut

Sınav Tarihi: 18.10.2019

Yukarda adı geçilen tez jürimizce değerlendirilerek Fen Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut FIRAT

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Kazım TÜRK

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Boğaz Bölgesinde Farklı Delik Sayılarına Sahip Venturi Aygıtının Havalandırma Performansının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.”

Sinan Turgut



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOĞAZ BÖLGESİNDE FARKLI DELİK SAYILARINA SAHİP VENTURİ AYGITININ HAVALANDIRMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Sinan TURGUT

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sayfa: 54+XI

2019

Danışman: Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN

Akarsularda bulunan çözünmüş oksijen miktarı, hem suyun kalitesini gösteren bir parametre, hem de suda yaşayan canlıların yaşamlarını devam ettirmelerini sağlayan önemli bir etkidir. Hidrolik yapıların akarsular ile kısa süre temas etmelerinin çözünmüş oksijen miktarına önemli etkileri vardır. Kaskatlar ve venturiler suların havalandırılmasında kullanılan önemli hidrolik yapılardır. Venturi sistemlerinde daralan kesit içerisinde ilerleyen suyun hızının ani bir şekilde artması ile birlikte boğaz bölgesinde negatif basınç oluşur. Hız değişiminin neden olduğu bu düşük basınç havayı sistem içerisine sürükler. Sistem içerisine giren hava miktarı venturi giriş-boğaz kesitleri arasındaki orana bağlı olarak değişir.

Bu tez çalışmasında 36, 42 ve 54 mm çaplarında dairesel venturiler kullanılmıştır. Boğaz bölgelerinin çapı, venturi çaplarının 0.5 ve 0.75 katı, boğaz bölgesi uzunluğu ise boğaz bölgesi çapına eşit ve 2 katı olarak belirlenmiştir. Venturilerin üzerinde, boğaz bölgesinin orta noktasından başlayarak aralarındaki mesafe boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 katı olacak şekilde 6 mm çapında ve karşılıklı 3 çift delik açılmıştır. Venturilerin sistemle montajı sağlanıp sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (ÇOK) üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu çalışma sonucunda en yüksek ÇOK değerlerinin sırasıyla 36, 42 ve 54 mm çaplı venturilerde olduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Venturimetre, oksijen transferi, çözünmüş oksijen, kütle transferi, suların havalandırılması

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF AERATION PERFORMANCE OF VENTURI DEVICE HAVE DIFFERENT HOLE NUMBERS ON THROAT SECTION

Sinan TURGUT

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Page: 54+XI

2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ö. Faruk DURSUN

The amount of dissolved oxygen (DO) in the river is a parameter that indicates the quality of the water and is an important factor in the survival of aquatic organisms. Short contact of hydraulic structures with rivers has significant effects on dissolved oxygen content. The cascades and venturies are important hydraulic structures used in the aeration of water. In venturi systems, negative pressure occurs in the throat section by means of the sudden increase of the velocity of the water in the narrowing section. The air enters into the system because of this low pressure caused by the speed change. The amount of air entering in the system varies depending on the ratio between the venturi inlet and throat sections.

In this thesis, circular venturi diameters of 36, 42 and 54 mm were used. The diameter of throat regions was determine to be 0.5 and 0.75 times the diameter of the venturi and the length of the throat region was equal to and 2 times the diameter of the throat region. On the venturi, 3 pairs of holes were drilled 6 mm in diameter with a distance of 0.75 times the length of the throat region starting from the midpoint of the throat region. The installation of the venturi with the system carried out and the effects on the dissolved oxygen concentration (DOC) in the water were investigated.

The results obtained from the experiments were compared and interpreted with graphs. Results of this study has showed that the highest (DOC) values were observed in the venturi with a diameter of 36, 42 and 54 mm respectively.

KEYWORDS: Venturimeter, oxygen transfer, dissolved oxygen, mass transfer, aeration of water

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez ve bilimsel çalışmalar esnasında bilgi, beceri ve tecrübesiyle yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN'a, deneyleri gerçekleştirirken benden maddi manevi yardımlarını esirgemeyen kıymetli dostlarım Mehmet BERKGİL'e, Ramazan Burak KAYA'ya ve değerli mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu projeyi FYL-2018-1213 kod numaralı proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Sinan TURGUT

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜRLER	V
İÇİNDEKİLER	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. GAZ TRANSFERİ MEKANİZMASI	8
3.1. Çift Film Teorisi	8
3.2. Oksijen Transfer Verimi	10
3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi	11
3.4. Kütle Transfer Katsayısının Tayini.....	13
3.5. Çözünmüş Oksijen	13
3.6. Çözünmüş Oksijen Transferi	14
3.7. Oksijen Transferini Etkileyen Faktörler	15
4. HİDROLİK YAPILAR YARDIMIYLA SULARIN HAVALANDIRILMASI	16
4.1. Savaklar	16
4.2. Basamaklı kaskatlar	17
4.3. Konduitler	18
4.4. Su Jetleri	19
4.5. Venturiler	19
4.5.1. Klasik Venturi Borusunda Boyutlandırma.....	21
4.5.2. Venturinin Avantajları	21
4.5.3. Venturi Borusunun Uygulama Alanları	21
4.5.4. Venturinin Kullanım Alanları	21
4.5.5. Venturi Borusunun Gaz Enjeksiyonunda Kullanılması	22
4.5.6. Venturi Borusunun Sulama-Gübre ve Kimyasal Madde Enjeksiyon Amaçlı Kullanılması.....	22
4.1.7. Venturinin Havalandırma Amaçlı Kullanılması	22
5. MATERYAL ve METOT	23
5.1. Materyal	23
5.2. Venturilerin Hazırlanması.....	25
5.3. Deney Düzenegi.....	27
5.4. Deneyin Yapılışı	29
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	32
7. SONUÇLAR	48
8. KAYNAKÇA	50
Ek-1	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

α	:Bir katsayı (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$)
γ	:Suyun birim hacim ağırlığı (t/m^3)
θ	:Üçgen labirent savaklarda tepe açısı (derece)
A	:Kütle transferi için kesit alanı (m^2)
a	:Su kalite parametresi (kaba olarak kirletilmiş sularda 0.65 ve temiz sularda 1.8)
A/V	:Özgül ara kesit yüzeyi
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_0	:Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C_{gaz}	:Su içerisindeki çözünmüş kimyasal madde
C_s	:Sudaki çözünmüş oksijenin doyumluk konsantrasyonu (mg/L)
C_s^*	:Standart şartlardaki çözünmüş oksijen doyumluk konsantrasyonu (mg/L)
D	:Venturi giriş çapı (mm)
D_s	:Savağın kretinden suyun düşme yüksekliği
dc/dt	:Konsantrasyon değişim hızı (mg/L.s)
D_{gaz}	:Su içerisindeki gazın moleküler difuzivitesi (m^2/s)
dm/dt	:Kütle transfer hızı (mg/s)
D_t	:Venturi boğaz bölgesi çapı (mm)
E	:Oksijen transfer verimi (deney şartlarındaki T °C de)
E_{15}	:15 °C deki oksijen transfer verimi
E_{20}	:20 °C'deki oksijen transfer verimi
Fr	:Froude Sayısı
g	:Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	:Su düşme yüksekliği
H_c	:Savak üzerindeki kritik su yüksekliği
H_D	:Mansap su derinliği
H_{gaz}	:Henry sabiti
K_g	:Kütle transfer katsayısı
$K_L a$:Kütle transfer katsayısı
$K_L a_{20}$:20 °C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) madde transfer katsayısı (1/saat)
$K_L a_T$:T °C deki madde transfer katsayısı (1/saat)
K_m	:Gaz transfer katsayısı(m/s)

l_1	:Venturi boğaz bölgesi uzunluğu (mm)
M_{gaz}	:Çözünmüş gaz toplam kütle konsantrasyonu (m^3/s)
O_R	:Standart şartlardaki oksijen transfer oranı ($\text{kg O}_2/\text{saat}$)
P	:Gazın toplam basıncı (P_a)
P_A	:Atmosferik basınç (mm Hg)
P_g	:Gazın kısmi basıncı (atm)
P_{gaz}	:Havadaki kimyasalların kısmi basıncı
P_w	:Buhar basıncı (P_a)
Q	:Birim genişlikten geçen debi ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
Q_s	:Su debisi (m^3/s)
Re	:Reynolds Sayısı
t	:Kütle transferinin meydana gelme süresi (s)
T	:Su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
t_f	:Napın kalınlığı
V	:Havalandırılan suyun hacmi
V_0	:Havanın girmesi için ihtiyaç duyulan minimum hız (1.1 m/s)
V_g	:Transfer olunan gaz hacmi (m^3)
V_s	:Su hızı (m/sn)
θ_1	:Venturi giriş koni açısı
θ_2	:Venturi çıkış koni açısı

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1	Su kirliliği.....	1
Şekil 1.2	Çevresel kirlenme.....	2
Şekil 3.1	Arayüz teoremi.....	8
Şekil 3.2	Çift film teorisi.....	9
Şekil 3.3	Basamaklı savaklardaki havalandırmanın araştırılması.....	14
Şekil 4.1.a	Dikdörtgen, üçgen savaklar.....	16
Şekil 4.1.b	Trapez, daire savaklar.....	17
Şekil 4.2	Nap, geçişli-sıçramalı akım kaskatları.....	17
Şekil 4.3	Su arıtma tesisi.....	18
Şekil 4.4	Kaskat durumuna göre akım türü.....	18
Şekil 4.5	Venturi borusunun görünümü.....	19
Şekil 4.6	Venturi borusunun teorik değişkenleri.....	20
Şekil 4.7	Klasik venturi boyutlandırma.....	21
Şekil 5.1	Venturi aygıtı enkesiti.....	23
Şekil 5.2	Venturi iç kalıpları.....	24
Şekil 5.3	Venturi iç ve dış kalıpları	24
Şekil 5.4	Polyester malzeme ile venturi üretimi.....	25
Şekil 5.5	İç kalıbın sökülmesi.....	26
Şekil 5.6	İç ve dış kalıplardan ayrılmış venturiler	26
Şekil 5.7	Deney setinin şematik gösterimi.....	28
Şekil 5.8	Deney düzeneğinin görüntüsü.....	28
Şekil 5.9	Venturinin sistem içerisindeki bağlantısı.....	30
Şekil 5.10	Tek delik açıkken yapılan çalışma.....	30
Şekil 5.11	Çift delik açıkken yapılan çalışma.....	31
Şekil 5.12	Negatif basıncın oluşmadığı çalışma.....	31
Şekil 6.1	36 mm çaplı venturilere Q=3 L/s debi için ÇOK değerleri.....	32
Şekil 6.2	36 mm çaplı venturilere Q=4 L/s debi için ÇOK değerleri.....	33
Şekil 6.3	36 mm çaplı venturilere Q=5 L/s debi için ÇOK değerleri.....	33
Şekil 6.4	42 mm çaplı venturilere Q=3 L/s debi için ÇOK değerleri.....	34
Şekil 6.5	42 mm çaplı venturilere Q=4 L/s debi için ÇOK değerleri.....	35
Şekil 6.6	42 mm çaplı venturilere Q=5 L/s debi için ÇOK değerleri.....	35
Şekil 6.7	54 mm çaplı venturilere Q=3 L/s debi için ÇOK değerleri.....	36
Şekil 6.8	54 mm çaplı venturilere Q=4 L/s debi için ÇOK değerleri.....	37
Şekil 6.9	54 mm çaplı venturilere Q=5 L/s debi için ÇOK değerleri.....	37
Şekil 6.10	Q=3 L/s için 36-18-36-2, 42-21-21-2, 54-27-27-1 delikleri için ÇOK değerleri.....	38
Şekil 6.11	Q=4 L/s için 36-18-36-2, 42-21-21-2, 54-27-27-1 delikleri için ÇOK değerleri.....	39
Şekil 6.12	Q=5 L/s için 36-18-36-2, 42-21-21-2, 54-27-27-1 delikleri için ÇOK değerleri.....	39

Şekil 6.13	36 mm çaplı venturilere 1.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	40
Şekil 6.14	36 mm çaplı venturilere 2.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	40
Şekil 6.15	36 mm çaplı venturilere 3.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	41
Şekil 6.16	42 mm çaplı venturilere 1.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	41
Şekil 6.17	42 mm çaplı venturilere 2.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	42
Şekil 6.18	42 mm çaplı venturilere 3.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	43
Şekil 6.19	54 mm çaplı venturilere 1.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	43
Şekil 6.20	54 mm çaplı venturilere 2.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	44
Şekil 6.21	54 mm çaplı venturilere 3.delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	45
Şekil 6.22	36 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	45
Şekil 6.23	42 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	46
Şekil 6.24	36 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi.....	46

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1	Çeşitli gazlara ait Henry sabitleri.....	11
Çizelge 3.2	Deniz seviyesiden yükseklerde çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu.....	12
Çizelge 5.1	Deneyde kullanılan venturilere ait ölçüler.....	27



1. GİRİŞ

Oksijen tüm canlıların hayati fonksiyonları için ihtiyaç duydukları en önemli elementtir. Atmosferde % 21 oranında bulunan oksijenin canlıların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için gerekli olan suyun içinde de çözülmüş halde bulunması gerekmektedir. Çözülmüş oksijen yoğunluğu; akarsu, göl, nehir ve diğer tüm su kaynakları için önemli bir parametredir. Çarpık kentleşmenin ve sanayileşmenin hızlı artışı gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal nedenlerle suda bulunan oksijen miktarının kritik seviyelere düşmesi su kalitesi ve ekolojik denge açısından oldukça tehlikelidir.

Su kirliliğine neden olan başlıca etmenler şunlardır:

- Organik kirleticiler
- İnorganik kirleticiler
- Petrol kökenli kirleticiler
- Sediment kökenli kirleticiler

Bu kirleticiler arasında yer alan organik kirleticiler suyun oksijen bakımından fakirleşmesinde ilk sırada yer alır. Böyle maddeler insanların faaliyetleri sonucu sulara karışırlar. Karışıkları sular durgunsa bunlar suyun dibinde toplanırlar. Buna sedimentasyon adı verilir. Organik ve inorganik maddelerin bir karışımı olan sedimentler bakteriler ve diğer organizmalar için iyi bir ortamdır. Böyle ortamlarda bulunan mikroorganizmalar sudaki mevcut oksijeni kullanarak organik maddeleri parçalarlar. Aerobik parçalanma denilen bu olay neticesinde suda bulunan çözülmüş oksijen konsantrasyonunda azalma olur. Bu durumda sistem havadan oksijen emerek durumu telafi etmeye çalışır. Dışardan emilen bu oksijen sedimentte bulunan organik madde miktarına bağlı artış gösteren bakterilerin ihtiyacını karşılamalıdır.



Şekil 1.1 Su kirliliği [1]



Şekil 1.2 Çevresel kirlenme [2]

Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de görüldüğü üzere suda canlı yaşamını etkileyecek ölçüde kirletici bulunması canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda canlıların sağlıklı bir hayat sürmeleri için atmosferdeki oksijen alınarak suya kazandırılmalı ve sudaki çözünmüş oksijen miktarı ideal seviyelere (5 mg/l) getirilmelidir [3]. Doğal yollarla uzun mesafelerde sağlanacak bu havalandırma akarsular ve nehirler üzerine çeşitli hidrolik yapılar inşa edilerek daha kısa sürede sağlanabilmektedir. Suyun bu hidrolik yapılar ile kısa süreli temasında bile sudaki çözünmüş oksijen yoğunluğu artmış ve hızlandırılmış bu oksijen transferinin sebebi olarak da çok sayıda hava kabarcığının su içine girerek su-hava temas yüzeyini arttırması gösterilmiştir. Bu yüzden hidrolik yapılar tasarlanırken; yapının tipi, yüksekliği ve yeri oksijen transfer verimi açısından çok önemlidir [3].

Suların havalandırılması ile ilgili olarak birçok araştırmacı tarafından farklı çalışmalar yapılmış ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu, kütle transfer katsayısı gibi parametreler için çeşitli denklemler türetilmiştir. Genel olarak basamaklı kaskatlar, konduitler, su jetleri ve venturiler gibi hidrolik yapılara uygulanabilecek tasarımlar üzerinde yoğunlaşmıştır.

Yapılan bu çalışmada klasik venturi aygıtının bazı uzunluk ve çap değerleri değiştirilmiş, oluşan yeni venturi aygıtı tasarımlarının sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonuna etkileri incelenmiştir. 36, 42 ve 54 mm çaplara sahip venturiler için yapılan yeni tasarımlarda boğaz bölgelerinin çapı, venturi çapının 0.5 ve 0.75 katı, boğaz bölgesi uzunluğu ise venturi boğaz bölgesi çapına eşit ve 2 katı olarak belirlenmiştir. Venturilerin üzerinde, boğaz bölgesinin orta noktasından başlayarak aralarındaki mesafe boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 olacak şekilde 6 mm çapında ve karşılıklı 3 çift delik açılmıştır. 3 farklı debi değeri için yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Suların havalandırılması ile ilgili yapılan çalışmalara ait literatür taramaları aşağıda gösterilmiştir.

Gameson [4] ve Gameson ve diğ. [5], akarsular üzerine savaklar inşa ederek oksijen transfer verimi için aşağıdaki denklemi önermişlerdir;

$$E_{20} = 1 - [1 + 0.693a_w b_w h]^{-1} \quad (2.1)$$

Burada; E_{20} = 20 °C'deki oksijen transfer verimi, a_w = su kalitesi faktörü b_w = havalandırma katsayısı (0.79-1.3), h = suyun düşme yüksekliğidir.

Holler [6], radyal kapaklı savaklar için,

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1+0.213h} \right) \quad (2.2)$$

denklemini önermiştir.

Thene [7], Ernine ve Elsayy [8] ile Elsayy ve McKeogh'nin [9] savaklar için buldukları hava giriş denkleminden yararlanarak,

$$E_{20} = 1 - \exp \left(-0.16F^{2.69} \frac{t^2}{9} \left(1 - \frac{v_0}{\sqrt{2gh}} \right)^{-1} \right) \quad (2.3)$$

denklemini önermişlerdir. Burada; t_t = napın kalınlığı (m), V_0 = havanın suya aktarılması için ihtiyaç duyulan minimum hız (1.1 m/s), g = yer çekimi ivmesi (m/s^2)

Chanson ve Toombes [10], basamaklı bir dolusavakda sıçramalı ve geçiş akım şartlarında hava girişinin deneysel araştırmaları hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada nap, geçiş ve sıçramalı akımlar için büyük bir deney setinde hız, akım derinliği, hava kabarcık oranları, sürtünme katsayısı gibi parametrelerin değişim miktarlarını incelemişlerdir.

Nakasone [11], farklı akım rejimlerini savaklara uygulayıp aşağıdaki denklemleri önermişlerdir.

$$(D + 1.5H_C) \leq 1.2\text{m ve } q \leq 0.65 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m için } E_{20} = 1 - \exp(-2.61(D + H_C)^{1.31} q^{0.428} H^{0.310}) \quad (2.4)$$

$$(D + 1.5H_C) > 1.2\text{m ve } q \leq 0.65 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m için } E_{20} = 1 - \exp(-2.86(D + H_C)^{0.816} q^{0.428} H^{0.310}) \quad (2.5)$$

$$(D + 1.5H_C) < 1.2\text{m ve } q > 0.65 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m için } E_{20} = 1 - \exp(-0.28(D + H_C)^{0.31} q^{-0.363} H^{0.310}) \quad (2.6)$$

$$(D + 1.5H_C) > 1.2\text{m ve } q > 0.65 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m için } E_{20} = 1 - \exp(-0.30(D + H_C)^{0.816} q^{-0.363} H^{0.310}) \quad (2.7)$$

Burada; D= savağın kretinden suyun düşme yüksekliği (m), H_c= savak üzerindeki kritik su derinliği (m), Q= birim genişlikten geçen debi (m³/s.m), H=mansap su derinliği (m)

Baylar, Bagatur ve Emiroğlu [12], basamaklı düşülerde nap, geçiş ve sıçramalı akım rejimlerinin içerdiği oksijen miktarının önceden belirlenmesi adı altında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı eğimler ve basamak yükseklikleri altında nap, geçiş ve sıçramalı akım koşullarında basamaklı düşülerde oksijen transferi ve havalanma karakteristikleri araştırılmıştır.

Baylar ve Emiroğlu [13], farklı şekilli ince kenarlı savakların hava sürüklenme hız değerlerini belirlemek için bir dizi deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada üçgen şekilli özellikle, 30° ince kenarlı savağın en iyi hava sürüklenme hızına sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar, savak şeklinin, hava sürüklenme hızı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Baylar vd. [14], basamaklı dolusavak ve kaskat yapılarının havalandırma verimleri üzerinde bir seri deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Basamaklı kaskat havalandırıcıların en yüksek verimleri 20° ile 25° arasındaki kaskat açılarında gözlemlenmekte olduğunu ve bu değerlerin optimal olarak 22° açı için uygunluk gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Baylar [15], farklı enkesit geometrilerine sahip savaklar ve bunların oksijen transfer verimini nasıl etkilediklerini incelemiştir. Geri devirsiz sistemlerde üçgen enkesite sahip savakların diğer enkesitli savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu ve bunun kullanılabilceğini belirtmiştir.

Emiroğlu ve Baylar [16], dairesel ağızlık üzerine hava delikleri yerleştirerek farklı ağızlık tipleri geliştirmiş ve bu yeni ağızlık tiplerinin mansap havuzundaki hava giriş verimine etkisini araştırmışlardır. Bu yeni ağızlıklar ile klasik olarak kullanılan dairesel ağızlıktan daha yüksek hava giriş verimi elde edildiğini ifade etmişlerdir. Farklı tipli savakların hava sürüklenme hızı üzerinde yaptıkları çalışmalarında, bu savakların birbirinden oldukça farklı hava sürüklenme hızı değerlerine sahip olduklarını göstermişlerdir.

Avery ve Novak [17], savak ve kaskatlar için

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1+0.24x^{10^{-4}} F^{1.78} R^{0.53}} \right)^{1.115} \quad (2.8)$$

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

Thene [7], Avery ve Novak'ın [17] geliştirdikleri denkleme mansap su yüksekliğini dikkate alarak,

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1+0.32x^{-5} F^{2.08} R^{0.63} \left(1 - 0.6 \exp\left(-3.7 \frac{H_D}{h}\right)\right)} \right) \quad (2.9)$$

denklemini önermektedir. H_D mansap su derinliğidir.

Preul ve Holler [18], üzerinde kapak bulunan eşikler için;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1+666F^{-3.33}} \right) \quad (2.10)$$

denklemini önermektedirler.

Butts ve Evans [19], 54 adet baraj üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucu

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.73abh(1 - 0.11h))^{-1} \quad (2.11)$$

denklemini bulmuşlardır. Burada; a= su kalite parametresi (0.65-1.8), b= savak tipine bağlı katsayı (kalın kenarlı savaklarda 0.6 ince kenarlı savaklarda 1.05)

Wormleaton ve Soufiani [20], Avery ve Novak 'ın [17] denklemine benzeřtirerek üçgen labirent savaklar için;

$$E_{20} = 1 - \left(1 + 1.48h^{1.35}Q^{-0.131} \left(\sin \frac{\beta}{2}\right)^{-0.322}\right)^{-1} \quad (2.12)$$

denklemini önermektedirler. Burada; Q= savak debisi (m³/s), β= üçgen labirent savaklarda tepe açısıdır.

Ünsal ve vd. [21], dikdörtgen kesitli kapaklı konduitlerde havalandırma performansını incelemiş olup küçük kapak açıklığı değerlerinde boru boyu arttıkça hava emme performansının da arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak kısa borularda ise kapak açıklığının artırılmasıyla en yüksek hava emme performansı meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Sharma [22], yüksek basınçlı kapaklı konduitlerde hava girişi üzerine bir dizi çalışma yapmıştır. Yaptığı bu çalışmada hava girişi için deliğin altındaki su yüksekliğini baz alarak buradaki Froude sayısına bağlı olduğunu belirtmiştir.

Küçükali [23], yaptığı tez çalışmasında hidrolik sıçramanın havalandırma verimliliğini deneysel olarak incelemiştir. Yapılan bu incelemede hidrolik sıçramanın, çözünmüş oksijen miktarının yetersiz olduğu durumlarda, hidrodinamik bir havalandırıcı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Cummings ve Chanson [24], suya dalan jetin oluşturduğu akım alanındaki hava sürüklenmesi ile ilgili teorik bir çalışma yürütmüşlerdir. Suya dalan jetin sürüklediği havayı, yaptıkları yeni deneysel çalışmalar ışığında incelemişler ve daha sonra suya

dalan iki boyutlu ve dairesel jetlerin oluşturduğu akım alanlarında hava kabarcıklarının yayılmasını analitik olarak analiz etmişlerdir. Teorik çalışmalar ile suya dalan iki-boyutlu ve dairesel jetlerle yapılan deneylerin verilerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, bu çalışmalarını ile jetin çarpma hızına bağlı olarak dalma noktasındaki hava sürüklenmesine ışık tutmuşlardır.

Kırmacı [25], farklı daralma oranlarına ve farklı uzunluklara sahip venturi havalandırıcıların ozon gazının sudaki çözünürlük performansı incelemiş 0.50 ve 0.75 daralma oranlarına sahip venturi havalandırıcıları sisteme ekleyerek bu venturilerin hava giriş oranı performansları ve suya ozon enjeksiyonu amaçlı kullanımı sırasındaki verimlilikleri araştırmıştır.

Tuncay [26], yaptığı tez çalışmasında venturiden belirli hızlarla geçen suya farklı viskozitede sıvılar enjekte etmiştir. Farklı çaplarda ve farklı daralma oranlarına sahip venturiler, iki farklı çapta emme borusu, venturinin mansabında farklı uzunlukta borular ve üç farklı viskoziteye sahip sıvılar kullanmış, bunların enjeksiyon verimine etkilerini araştırmıştır. Emme verimini, küçük çaplı venturilerin ve büyük çaplı emme borusunun arttırdığını gözlemlemiş, yüksek hızlarda ise daralma oranı büyük venturilerin daha iyi sonuç verdiğini ve düşük viskoziteye sahip sıvıların daha iyi enjekte edilebildiğini tesbit etmiştir.

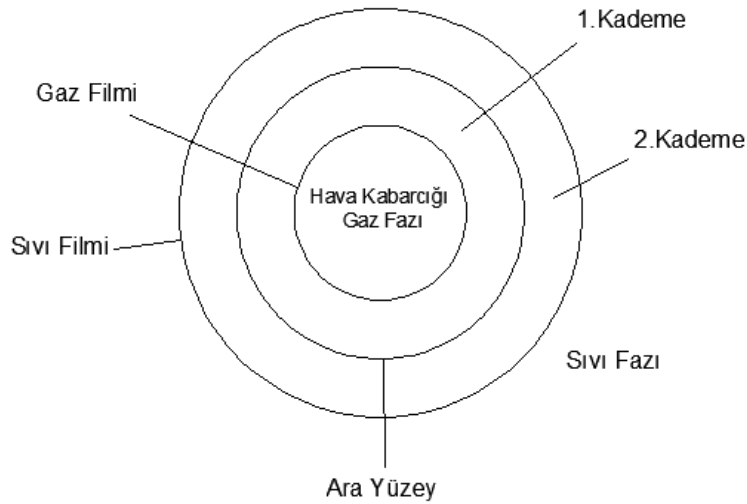
Özkan [27], doktora tez çalışması kapsamında, venturinin giriş çapı, boğaz bölgesi çapının giriş çapına oranı, mansaptaki boru boyu, mansaptaki boru eğimi ve giriş hızı değişiminin hava çekme verimi üzerine etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Sonuç olarak; venturi havalandırıcıların hava emme ve oksijen transfer verimlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

3. GAZ TRANSFERİ MEKANİZMASI

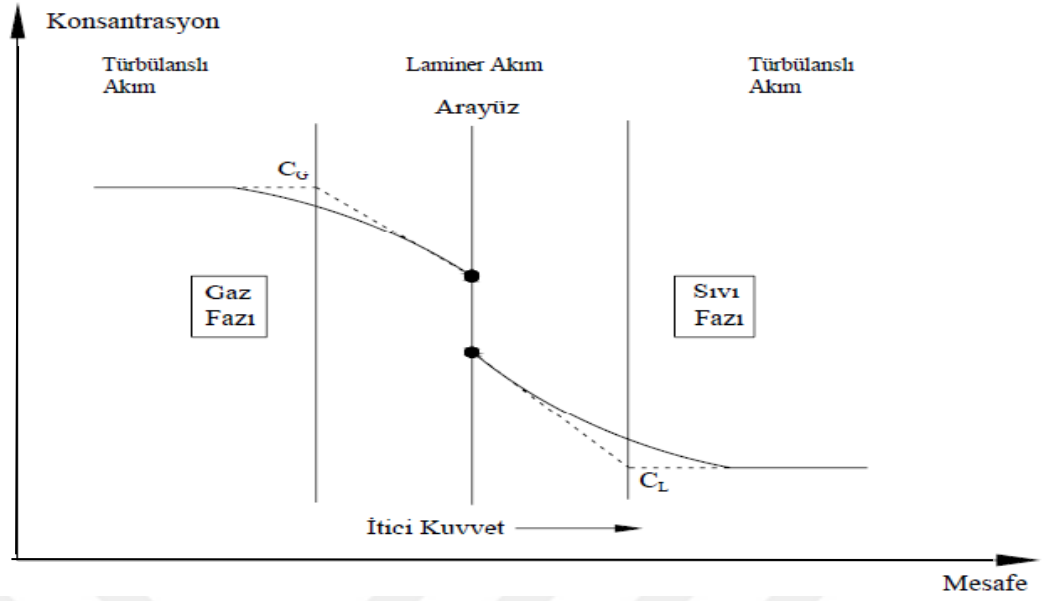
Sularda gaz transferi; suya klor, çözülmüş oksijen v.b. gazları vermek veya CO_2 , H_2S gibi gazları sulardan uzaklaştırmak anlamına gelir. Gaz transferi gaz-sıvı ara yüzeyinde meydana gelir. Transfer işlemi sıvı içindeki gaz konsantrasyonu denge durumu oluşuncaya kadar devam eder. Sıvı-gaz kütle transfer işleminde kullanılan birçok teori vardır. Bu teorilerin başında 1925 yılında Lewis ve Whitman tarafından ortaya atılan çift film teorisi yer alır [28].

3.1. Çift Film Teorisi

Bu teoriye göre, gaz ve sıvı fazların temas ettiği ara yüzlerin iki tarafında sıvı ve gaz olmak üzere iki film mevcuttur. Bu tabakaların dışında sıvı ve gaz fazları yer alır. Bu tabakalar, gaz moleküllerinin gaz ve sıvı fazları arasındaki hareketlerine karşı direnç gösterirler. Sıvı içerisinde çözünürlüğü az olan gazlar, gaz fazdan sıvı faza geçerken esas direnci sıvı tabakasından görürken, çözünürlüğü çok olan gazlar ise direnci gaz filminden görürler. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de arayüz teoremi ve çift film teorisi gösterilmiştir [28].



Şekil 3.1 Arayüz teoremi [28]



Şekil 3.2 Çift film teorisi [28]

Suların havalandırılmasında karşılaşılan sistemlerde genel olarak suda az çözünen gazlar söz konusu olup gaz transfer hızı, gazın denge halindeki konsantrasyonu ve mevcut konsantrasyon arasındaki farkla orantılıdır. Bu tür sistemler için gaz transfer hızı aşağıdaki gibi ifade edilir [28].

$$\frac{dm}{dt} = K_g \cdot A \cdot (C_s - C) \quad (3.1)$$

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

Kütle transfer hızı, konsantrasyon hızı cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = V \cdot \frac{dc}{dt} \quad (3.2)$$

Burada; V = transfer olunan gaz hacmidir.

Bu ifade yukardaki denklemde yerine yazılırsa aşağıdaki denklem bulunur.

$$\frac{dc}{dt} = K_g \cdot A / V \cdot (C_s - C) \quad (3.3)$$

Suların havalandırılması işleminde gaz tranferine esas direnç sıvı film içerisinde. Bu nedenle A/V yerine özgül ara kesit yüzeyini gösteren “ a ” ve “ K_s ” yerine ise sıvı film katsayısını gösteren “ K_L ” kütle transfer katsayısı kullanılır. Böylece yeni denklem

$$\frac{dc}{dt} = K_L a \cdot (C_s - C) \quad (3.4)$$

şeklinde olur. Burada; $\frac{dc}{dt}$ = konsantrasyon değişim hızı (mg/L), $K_L a$ = kütle transfer katsayısı, C_s = sudaki çözülmüş oksijenin doyunluk konsantrasyonu (mg/L), C = sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)

3.2. Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun oksijen doyunluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneğidir. Yani havalandırma aygıtının performansını ifade eder. Oksijen transfer verimi ne kadar büyükse, havalandırma verimliliği de o kadar yüksektir [4].

Fick yasalarına göre sakin bir su içerisinde bir ara yüzden diğerine toplam gaz transferinin, moleküler difüzyon katsayısı ve negatif eğim gaz konsantrasyonu ile bağlantısı şu şekildedir.

$$\frac{d}{dt} \cdot M_{\text{gaz}} - D_{\text{gaz}} \cdot \left(\frac{d}{dx} \cdot C_{\text{gaz}} \right) \quad (3.5)$$

Burada; M_{gaz} = çözülmüş gaz toplam kütlesi, D_{gaz} = su içerisindeki gazın moleküler difusivitesi (m^2/s), C_{gaz} = su içerisindeki çözülmüş kimyasal madde konsantrasyonu (kg/m^3)

Diğer bir ifadeyle

$$\frac{d}{dt} M_{\text{gaz}} = K_m \cdot A (P_{\text{gaz}}/H_{\text{gaz}} - C_{\text{gaz}}) \quad (3.6)$$

Burada; K_m = Gaz transferi katsayısı (m/s), A = Gaz-sıvı arayüz alanı (m^2), P_{gaz} = Havadaki kimyasalların kısmi basıncı, H_{gaz} = Henry yasası sabiti

Eğer kimyasallar, oksijen veya klor gibi kolay uçabilen gazlardan ise bu transfer likit gaz tarafından kontrol edilir ve transfer katsayısı, likit katsayısına (K_L) denktir.

Henry sabiti (H_{gaz}); tuzluluk oranı, sıcaklık ve yüzeye bağlı olarak değişir. Bu değerlerin tam bir sabit olmadığı ve basınç değişiklikleri gibi değiştiği bilinmelidir. Çeşitli gazlara ait Henry sabitleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çeşitli gazlara ait Henry sabitleri [29]

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	0.1040	4.42	6.36	0.0367	2.97	6.68	3.27
20	6.64	0.1420	5.36	6.83	0.0483	3.76	8.04	4.01
30	7.71	0.1860	6.20	7.29	0.0609	4.49	9.24	4.75
40	8.70	0.2330	6.96	7.51	0.0745	5.20	10.40	5.35
50	9.46	0.2830	7.61	7.65	0.0884	5.77	11.30	5.88
60	10.10	0.3410	8.21	7.65	0.1030	6.26	12.00	6.29

3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi

Gameson ve diğ. [5], su sıcaklığının oksijen transferine etkilerini incelemek için küçük savaklar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki ampirik denklemleri bulmuşlardır.

15 C° referans sıcaklıkta;

$$\ln(1-E_{15}) = \frac{\ln(1-E)}{1+0,018(T-15)} \quad (3.7)$$

20 C° referans sıcaklıkta;

$$\ln(1-E_{20}) = \frac{\ln(1-E)}{1+0,0165(T-20)} \quad (3.8)$$

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

Holler [6], oksijen transferinde sıcaklık etkisini tanımlamak için

$$\ln(1-E)=\ln(1-E_{20})\alpha^{(T-20)} \quad (3.9)$$

denklemini önermiştir. Ancak bu denklemin hidrolik yapılar için uygun olmadığı ve Gameson ve diğ. [5], tarafından geliştirilen denklem kadar iyi sonuç vermediği anlaşılmıştır.

Gulliver ve Rindels [30], oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini şu denklemle ifade etmişlerdir.

$$1-E_{20}=(1-E)^{1/f} \quad \text{veya} \quad E_{20}=1-(1-E)^{1/f} \quad (3.10)$$

Burada “ f” değeri aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur.

$$f= 1.0 + 0.02103(T-20) + 8.261(T-20)^2 \cdot 10^{-5} \quad (3.11)$$

Çizelge 3.2 Deniz seviyesinden yükseklerde çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu [3]

°C	Deniz Seviyesinin Üzerindeki Yükseklikler							°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

Çizelge 3.2’de sıcaklık değerlerine ve rakımlara göre çözülmüş oksijen doygunluk değerlerinin değişimi gösterilmiştir.

3.4. Kütle Transfer Katsayısının Tayini

Standart şartlar altında gaz transfer kapasitelerinin bulunabilmesi için kütle transfer katsayısının (K_{La}) sıcaklıkla değişiminin bilinmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki denklem kullanılır [28].

$$(K_{La})_{20} = (K_{La})_T (1,024)^{(20-T)} \quad (3.12)$$

Burada; T = sıcaklık (C°), $(K_{La})_{20}$ = 20 C° ve 1 atmosferdeki kütle transfer katsayısı (l/saat), $(K_{La})_T$ = T $^\circ C$ deki kütle transfer katsayısını (l/saat) göstermektedir.

K_{La} 'nın tayini için sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu suya sodyum sülfid katılarak sifıra düşürülür. Bu metot oksijenin sodyum sülfid ile yükseltgenme ilkesine dayanmaktadır. Bunun için 1 ton suya 100 gr sodyum sülfid (Na_2SO_3) ve reaksiyon hızlandırıcı olarak 3-5 gr kobalt klorür ($CoCl_2$) ilave edilir.



Daha sonra başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında çözülmüş oksijen konsantrasyonu ölçülür. Yatay eksen zaman eksenini (dakika) dikey eksen ise $\ln \frac{(C_s - Ct)}{(C_s - C_0)}$ olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasından geçirilen doğrunun eğimi K_{La} 'yı verir.

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

$$O_R = (K_{La})_{20} \times C_s^* \times V \times 10^{-3} \quad (3.14)$$

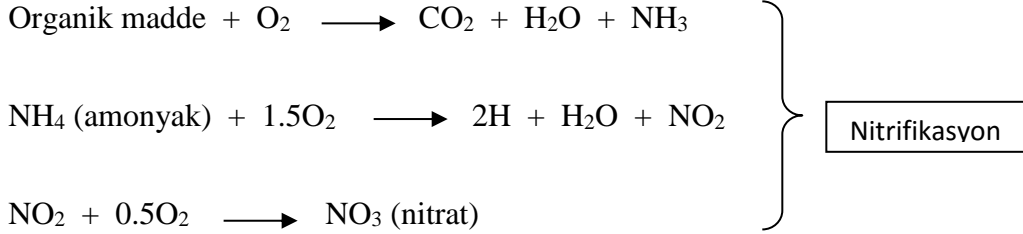
denklemleri ile ifade edilir. Burada; O_R = oksijen transfer oranı ($kg O_2 / saat$), C_s^* = 20 C° ve 1 atm basınç altındaki çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L), V = havalandırılan suyun hacmi ve 10^{-3} gramdan kilograma çevirme faktörüdür.

3.5. Çözülmüş Oksijen

Doğadaki su kaynaklarının yapısında bulunan oksijen miktarı, sudaki canlı yaşamı için oldukça önemlidir. Fiziksel ve kimyasal nedenlerden dolayı azalan

oksijenin tekrar suya kazandırılması gerekmektedir. Atmosferde bulunan oksijenin doğal veya yapay yollarla suya kazandırılması işlemine havalandırma denir.

Bakteriler nedeniyle çözülmüş oksijen miktarının azalmasına neden olan biyokimyasal reaksiyonlar şöyledir.



Aerobik bakterilerin çeşitli formlarının azot, amonyum ve nitriti kullanarak kademe kademe nitrate dönüştürmesine nitrifikasyon denir.

3.6. Çözülmüş Oksijen Transferi

Zaman içerisinde birçok araştırmacı hidrolik yapıların oksijen transferine etkilerini araştırmıştır. Bu konudaki ilk çalışmaları ise Gameson [4] ve Gameson vd. [5] yapmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde oksijen transferinin serbest düşen jet ile oksijen transferi, serbest yüzey havalanması ile gerçekleşen oksijen transferi ve iki fazlı akışlarda suya dalış ile gerçekleşen oksijen transferi olmak üzere 3 şekilde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Gameson [4] tarafından yapılan çalışma Şekil 3.3'de verilmiştir. Bu çalışmada kaskatlı bir yapı mansabında ve membasında ÇOK değerleri ölçümü ile bir dizi araştırma yapılmıştır.



Şekil 3.3 Basamaklı savaklardaki havalandırmanın araştırılması [4]

3.7. Oksijen Transferini Etkileyen Faktörler

Akarsulardaki havalandırmayı etkileyen en önemli parametre üzerlerine inşa edilen hidrolik yapılardır. İnşa edilen yapının yeri ve tipi, memba ve mansap arası kot farkı, numunenin alındığı tarih, mansap su derinliği, yapıdan geçen birim debi oksijen transferi için oldukça önemlidir. Bunların yanı sıra hidrolik yapıdan bağımsız olarak suyun sıcaklığı, suyun kalitesi, düşü yüksekliği, çıkış suyu derinliği de önemlidir.

Ayrıca su yüzeyinde bulunan organik maddelerin, yüzey gerilimini düşürüp hava ve su yüzey alanını engellediği ve buna bağlı olarak oksijen transfer veriminin azaldığı gözlemlenmiştir. Havalanma sırasında oksijen transfer verimliliği suyun sıcaklığına göre değişebilir.

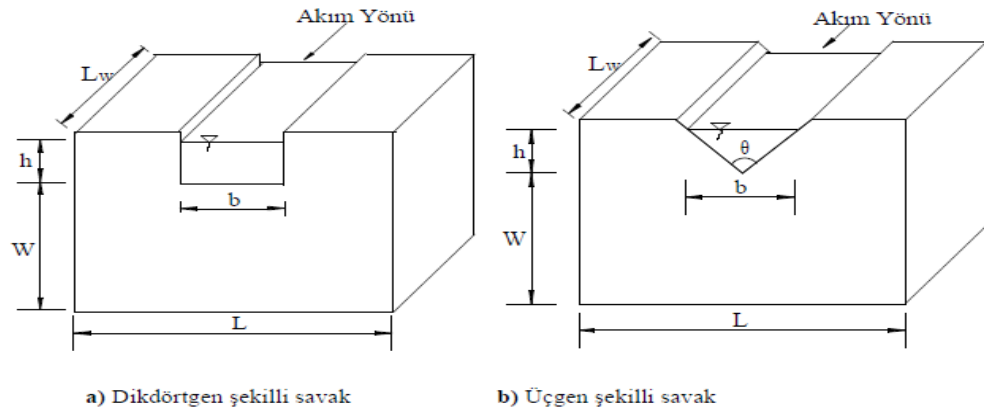


4. HİDROLİK YAPILAR YARDIMIYLA SULARIN HAVALANDIRILMASI

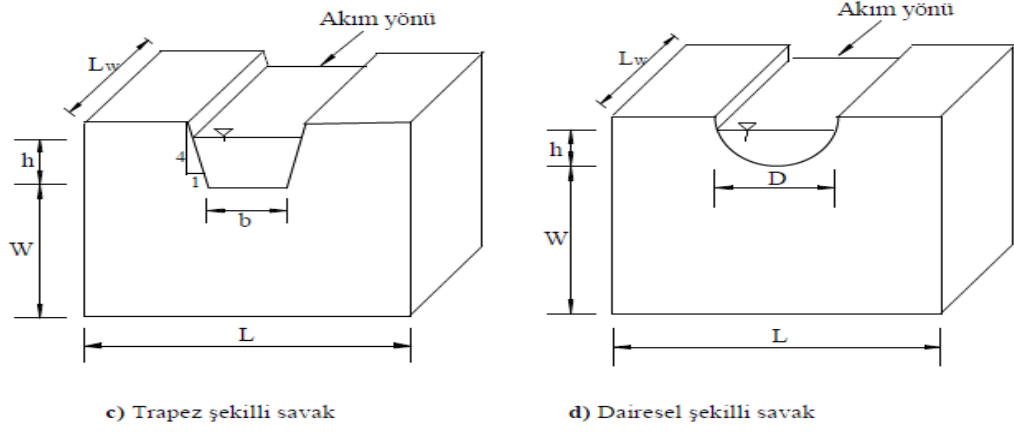
Doğada bulunan tüm suların canlılar tarafından kullanılabilmesi için belirli bir oksijen miktarı, pH, elektriksel iletkenlik, sıcaklık, bulanıklık değerlerine sahip olması gerekmektedir. İnsanoğlunun bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde çevreye verdiği zararlar suları kirletmiş ve sudaki yaşamı olumsuz etkilemiştir. Kalitesi düşmüş suların yeniden uygun koşullara getirilmesi için suya oksijen kazandırmak (O_2) veya suda bulunan karbondioksiti (CO_2), hidrojen sülfürü (H_2S) ve metan gazını (CH_4) sudan uzaklaştırmak gerekmektedir. Normal şartlarda bir akarsuda birkaç km mesafede gerçekleştirilecek bu işlemler akarsular üzerine yapılacak hidrolik yapılar ile daha kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla akarsuların havalandırılmasında kullanılan hidrolik yapılar aşağıda verilmiştir.

4.1. Savaklar

Bir hidrolik yapıda, yapı üstünden aşan su mansap tarafında bir akım meydana getirebiliyorsa bu yapıya savak adı verilir. Başka bir deyişle savaklar su akımını ölçmek ve kontrol etmek için yapılan su yapıları olarak da tanımlanabilir.. Savaklarda hava girişi, savak üstünden geçen suyun atmosferdeki havayı bünyesine katarak mansap havuzuna dökülmesiyle gerçekleşir. Savaklar Şekil 4.1.a ve Şekil 4.1.b’de görüldüğü gibi dikdörtgen, üçgen, trapez ve daire şeklinde olurlar.



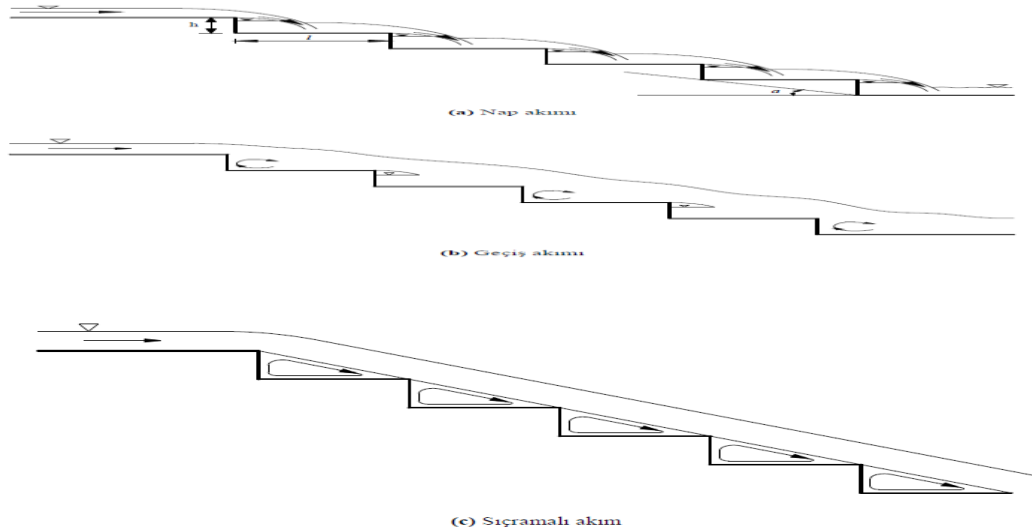
Şekil 4.1.a Dikdörtgen-üçgen savaklar [3]



Şekil 4.1.b Trapez-daire savaklar [3]

4.2. Basamaklı Kaskatlar

Basamaklı yapı sistemleri, mühendislikte sönümlenme ve havalandırma yapıları olarak bilinirler. Toombes ve Chanson [10] yaptıkları çalışmalarda basamaklı yapıların eğimli ve düz kanallara göre daha fazla oksijen verimi sağladığını belirlemişlerdir. Bunun nedenini basamaklı yapılarda su mabdan mansaba doğru hareket ederken her basamakta oluşan türbülans ve buna bağlı olarak suya hava girmesi şeklinde açıklamışlardır. Basamaklı kaskatlarda hava giriş miktarı üzerindeki akım tipine (nap, geçiş ve sıçramalı) bağlı değişim göstermektedir. Şekil 4.2’de bir kaskat üzerinde oluşan akım tipleri Şekil 4.3’de ise arıtma tesislerinde kullanılan kaskatlı yapı gösterilmiştir.



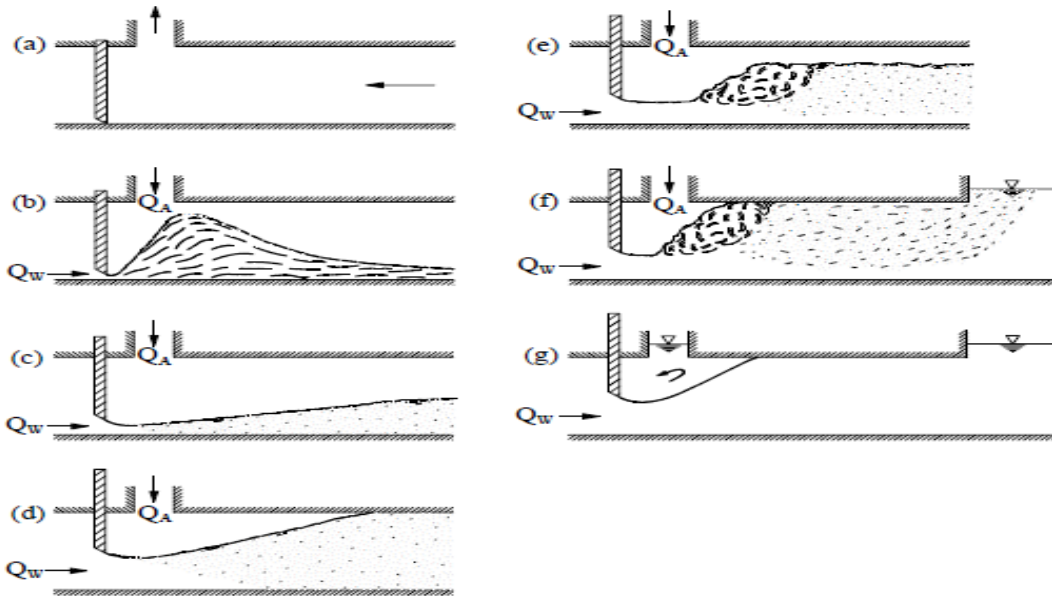
Şekil 4.2 Nap-geçişli-sıçramalı akım tipleri [30]



Şekil 4.3 Su arıtma tesisi

4.3. Konduitler

Kapaklı konduitlerde, kapağın kısmi olarak açılmasıyla oluşan yüksek hızdan dolayı, kapak mansabındaki hava deliğinde açık hava basıncından daha düşük bir basınç meydana gelir. Oluşan bu düşük basınç etkisiyle hava deliğinden hava vakumlanır. Bu vakumlanan hava konduit içerisinde iki fazlı akımın oluşmasına neden olur. Bu iki fazlı akım sebebiyle hızlandırılmış bir oksijen transferi sağlanmış olur. Akım durumuna göre konduit modelleri Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



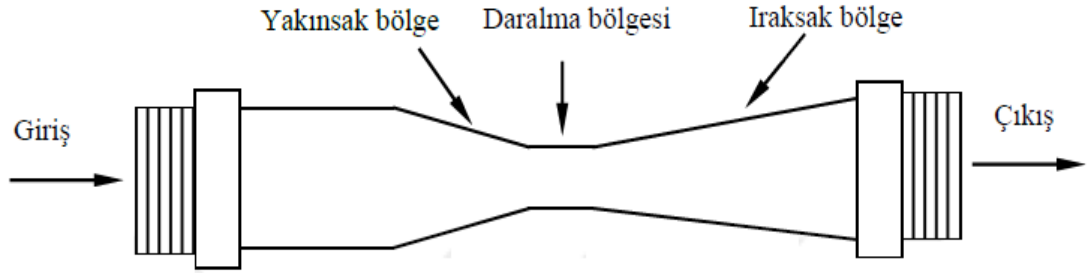
Şekil 4.4 Konduit durumuna göre oluşan akımlar [21]

4.4. Su Jetleri

Su jeti bir ağızlıktan çıkan suyun havadan geçerken kendi ile beraber havayı da su içerisine taşır. Bu taşıma sırasında yüksek hızdaki suyun havuza çarpması sonucu açığa çok miktarda hava kabarcığı çıkar ve bu da iki fazlı bir akım oluşturarak oksijen miktarını artırır. Bu konu ile ilgili çalışma yapan Emiroğlu ve Baylar dairesel ağızlık üzerine hava delikleri yerleştirerek farklı ağızlık tipleri geliştirmiş ve bu tipler ile klasik dairesel ağızlıktan daha yüksek verim elde edildiğini göstermişlerdir. [13]

4.5. Venturiler

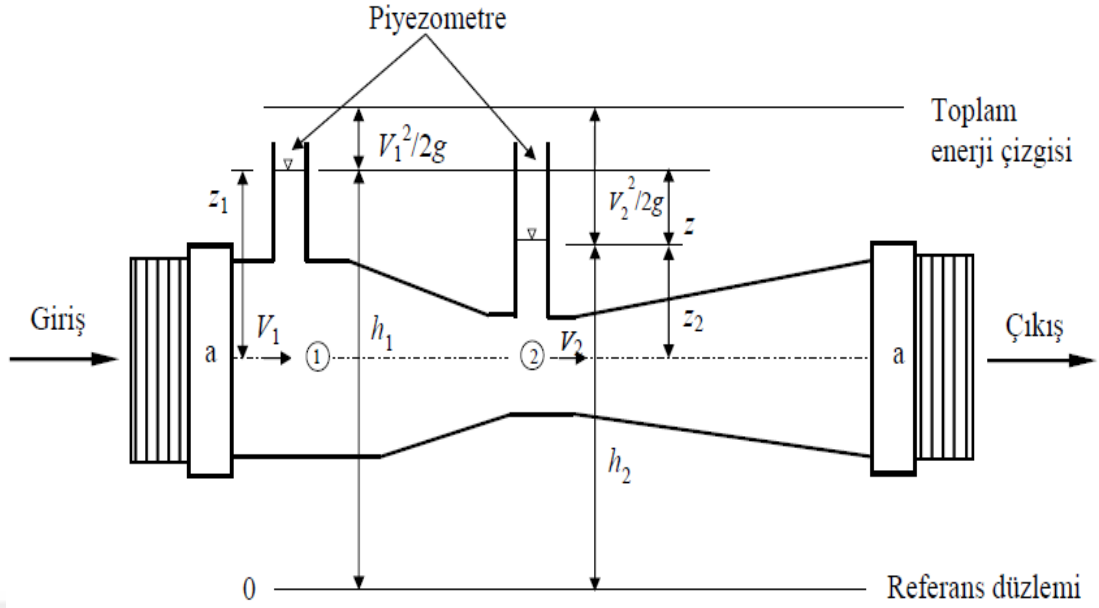
Venturimetre, iki ucu açık, kesit ortasına doğru iki ucundan da daralan genel anlamda akışkanların debilerini ölçmede kullanılan bir alettir. İlk olarak 1797 yılında İtalyan fizikçi Giovanni Battista Venturi tarafından kullanılmıştır. Bundan dolayı cihaza venturi adı verilmiştir. Şekil 4.5’de venturi borusu gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Venturi borusunun görünümü [27]

Bir venturi içerisinde hareket eden akışkanın venturi daralma bölgesinden geçerken hızında artış meydana gelir ve bu artışa bağlı olarak bu bölgede ters basınç oluşur. Oluşan bu ters basınç ekstra bir enerji harcamadan daralma bölgesi içerisinde vakumlama etkisi yaratarak sıvı – gaz transferine neden olur.

Venturinin iki ucu arasındaki basınç farkından yararlanılarak akışkanın debisi hidrolik olarak hesaplanabilmektedir. Venturi borusunun hidrolik olarak teorik değişkenleri ve matematiksel ifadeleri Şekil 4.6’de belirtilmiştir.



Şekil 4.6 Venturi borusunun teorik değişkenleri

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

$$P_1 + \gamma \cdot z_1 = P_2 + \gamma \cdot z_2 \quad (4.1)$$

$$(P_1 - P_2) = \gamma(z_2 - z_1) \quad (4.2)$$

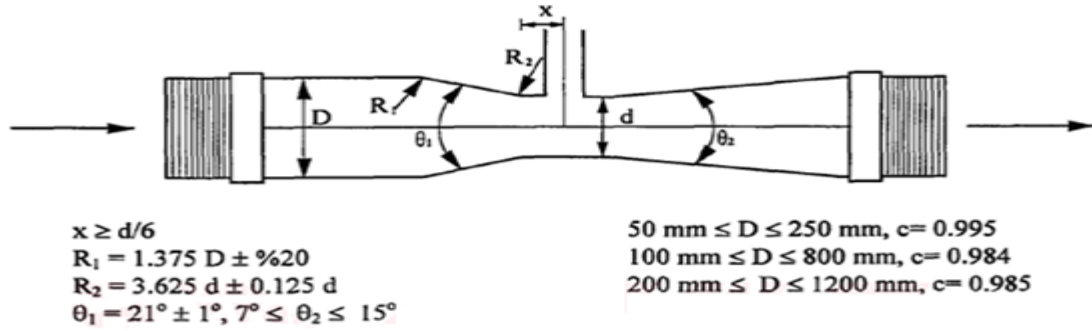
Piyezometrelerde $z_2 < z_1$ olduğundan $(z_2 - z_1) = -z$ yazılırsa,

$$(P_1 - P_2) / \gamma = -z \quad (4.3)$$

denklemini elde edilir. Denklemden de görüleceği üzere 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), z : Referans düzlemi üzerindeki elevasyon (düşü), γ : Suyun birim hacim ağırlığıdır (kg/m^3).

4.5.1. Klasik Venturi Borusunda Boyutlandırma

Standart bir venturi aygıtının genel özellikleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Venturi standart boyutları, yakınsama ve ıraksama açıları şekil üzerine gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Klasik venturi boyutlandırma [3]

4.5.2. Venturinin Avantajları

Venturi aygıtının günlük hayatta birçok kullanım alanı mevcuttur. Bunun sebebi sisteme kolay eklenebilmesi, bakımının kolay olması ve ilk yatırım maliyetinin düşük olmasıdır. Kullanım amacına göre kimyasal etkilere, yüksek sıcaklıklara direnç gösterebilen malzemelerden tasarlanabilirler.

4.5.3. Venturi Borusunun Uygulama Alanları

Venturi borusu, negatif basınç oluşturma özelliğinden yararlanılarak endüstriyel amaçlı olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında da çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Ziraat mühendisliğinde, makine mühendisliğinde inşaat mühendisliğinde ve çevre mühendisliğinde kendine birçok kullanım alanı bulmuştur.

4.5.4. Venturi Borusunun Kullanım Alanları

Venturi borusundan çok çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır. İçme sularının artırılmasında gaz (ozon, klor) enjeksiyonunda, atık su, içme suyu arıtımlarında, su ürünlerinde yetiştirme havuzlarına havalandırma ve oksijen transferi sağlamak amacıyla, tarımsal sulamada, sıvı gübre gibi kimyasal madde enjeksiyonunda, baca ve egzoz sistemlerinde kirli havanın tahliyesinde, debi ölçümlerinde ve sağlık alanında venturi sistemlerinden yararlanılmaktadır.

4.5.5. Venturi Borusunun Gaz Enjeksiyonunda Kullanılması

İçme suyunun ve atık suların ozon ve klor gazları ile dezenfekte edilmesinde venturi borusu kullanılmaktadır. Su ortamında ozon gazı çok az çözüldüğünden ozon gazının su ile temasının iyi bir şekilde sağlanması gerekir. Bu yönden venturi borusunun kullanımı pratik, uygun ve ekonomik olarak da iyi bir çözüm olmaktadır. Ayrıca sıkıştırılarak sıvı hale getirilen ve basınçlı tüplerde saklanan klor gazının venturi borusu ile enjekte edilmesi suların dezenfekte işlemlerini hızlı ve ekonomik hale getirmektedir.

4.5.6. Venturi Borusunun Sulama – Gübre ve Kimyasal Madde Enjeksiyon Amaçlı Kullanılması

Venturi borusu sulama ve gübrelemede venturinin vakumlama etkisi sayesinde kolaylıkla kullanılabilir. Yağmurlama tipi yada damlama tipi sulama sistemlerinde venturiler sisteme entegre edilerek gübreleme ve de ilaçlama işlemlerinde su ile kimyasalın homojen bir karışım oluşturulmasında ve sisteme verilen oranların ayarlanabilmesinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Venturi borusunun içinden geçen suyun, kesit alanının daralması ve daha sonra da genişlemesi sonucu en dar olan bölgede oluşan negatif basınç düşüşü nedeniyle vakum etkisi meydana gelir. Oluşan bu vakumun etkisiyle gübre tanktan sisteme çekilir ve venturi borusundan geçmekte olan su ile karışarak taşınır. Bu sistem hareketli parçalarının olmayışı ve titreşimlerinin az olması nedeniyle emniyetlidir.

4.5.7. Venturi Borusunun Havalandırma Amaçlı Kullanılması

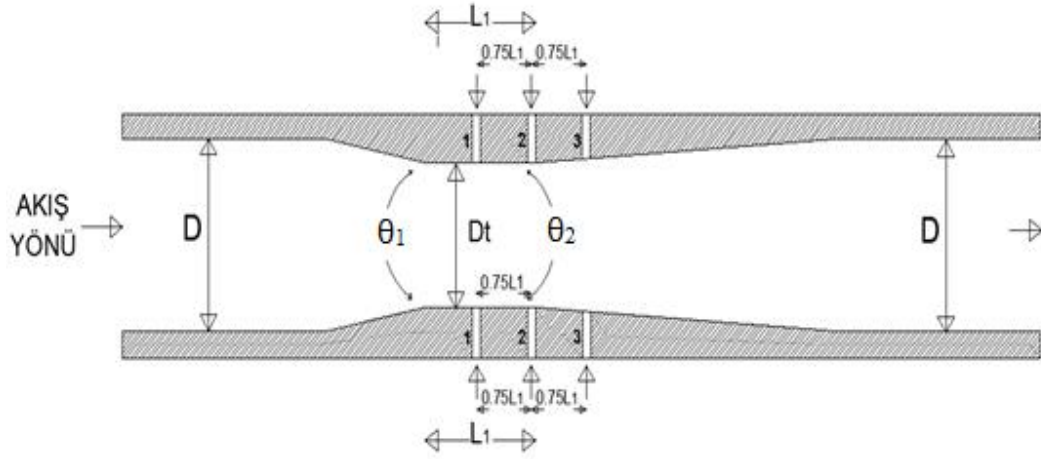
Suda meydana gelen biyolojik faaliyetler ve kimyasal olaylar neticesinde su içerisindeki oksijen miktarında azalma olur ve su kalitesinde bu nedenle düşüş meydana gelir. Su kalitesini istenen düzeye getirebilmek için atmosferdeki oksijeni alıp su içerisine kazandırma işlemi yani havalandırma yapmak gerekir. Havalandırma işlemiyle su kalitesi istenilen düzeye getirilir. İçme suyu ve atık su tesislerinin havalandırma ünitelerinde kullanılan klasik havalandırıcılara göre venturi borusu ile havalandırma daha verimli, daha ekonomik ve işletimi daha kolay olduğundan tercih edilmektedir.

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

Bu çalışmada, venturi havalandırıcıların sudaki oksijen transfer verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hazırlanan sistemde farklı çaplara, farklı daralma bölgelerine ve farklı uzunluklara sahip venturi aygıtları kullanılarak geri devirli sistemlerdeki oksijen transfer verimi ve doygunluğa ulaşım süresi tespit edilmiştir.

Çalışma esnasında sürüntü madde, organik madde ve askı maddelerin oksijen transfer verimine etki etmemesi için musluk suyu kullanılmıştır. Deneilerin başlangıç aşamasında, suyun oksijen miktarını azaltmak için sodyum sülfid (Na_2SO_3) ve kobalt klorür (CoCl_2) kullanılmış ve her bir venturi aygıtı için su yenilenmiştir.



Şekil 5.1 Venturi aygıtı enkesiti

Deneilerde kullanılan venturilerin imal edilmesi için çelik iç kalıplar ve polyester malzeme kullanılmıştır. Venturilerin çapları 36 mm, 42 mm ve 54 mm olarak seçilmiştir. Şekil 5.1’de de görüldüğü üzere venturi aygıtının boğaz çapı (Dt), giriş ve çıkış çaplarının (D), 0.5 katı ve 0.75 katı olarak değişken değerlerde alınmıştır. Venturi boğaz bölgesi uzunluğu (l_1), her bir venturi için boğaz çapı değeri (Dt) ve iki katı kadar ($2Dt$) alınmıştır. Akım yönüne göre venturilere ait giriş koni açıları $\theta_1 = 21^\circ$, $\theta_2 = 7^\circ$ alınmıştır. Bu açılar standart değerlerdir.

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de venturi iç ve dış kalıpları görülmektedir.



Şekil 5.2 Venturi iç kalıpları



Şekil 5.3 Venturi iç ve dış kalıpları

5.2. Venturilerin Hazırlanması

Daha önceden hazırlanmış olan çelik iç kalıplar, kalıp ayırıcı yağ ile yağlandıktan sonra 70 mm çapında PVC boruların içine yerleştirilmiştir. PVC boru içerisine yerleştirilen venturilerin düzgün çıkartılabilmesi için polyamit malzemenen kapaklar yapılmış ve bu kapaklar yardımıyla çelik iç kalıp PVC boru içerisinde ortalanmıştır. Daha sonra Polyester malzemenin içine sırasıyla malzemenin % 0.2 si kadar hızlandırıcı ve % 0.4 kadar sertleştirici atılmıştır. Hazırlanan bu karışım iyice karıştırıldıktan sonra iç kalıbı hazırlanan PVC boruların içerisine kademeli olarak dökülmüştür. Döküm işlemi tamamlandıktan 24 saat sonra dış kalıp olan PVC boru kesilmiş ardından özel olarak hazırlanan kriko benzeri aparat yardımıyla çelik iç kalıplar çıkartılmıştır. Çelik iç kalıbı çıkartılan venturilerin giriş ve çıkış kısımlarına kolay montaj sağlamak adına dişler açılmıştır. Ardından venturilerin boğaz bölgelerinin ortasından başlayarak venturi boğaz bölgesi uzunluğunun (I_1) 0.75 ve 1.5 katı mesafede karşılıklı olmak üzere çapı 6 mm olan toplam 6 adet delik açılmıştır. Şekil 5.4’de venturi dökümü, Şekil 5.5’de iç kalıptan ayırma işlemi ve Şekil 5.6’da ise kullanıma hazır venturiler görülmektedir.



Şekil 5.4 Polyester malzeme ile venturi üretimi



Şekil 5.5 İç kalıbın sökülmesi



Şekil 5.6 İç ve dış kalıplardan ayrılmış venturiler

Çizelge 5.1 Deneyde kullanılan venturilere ait ölçüler

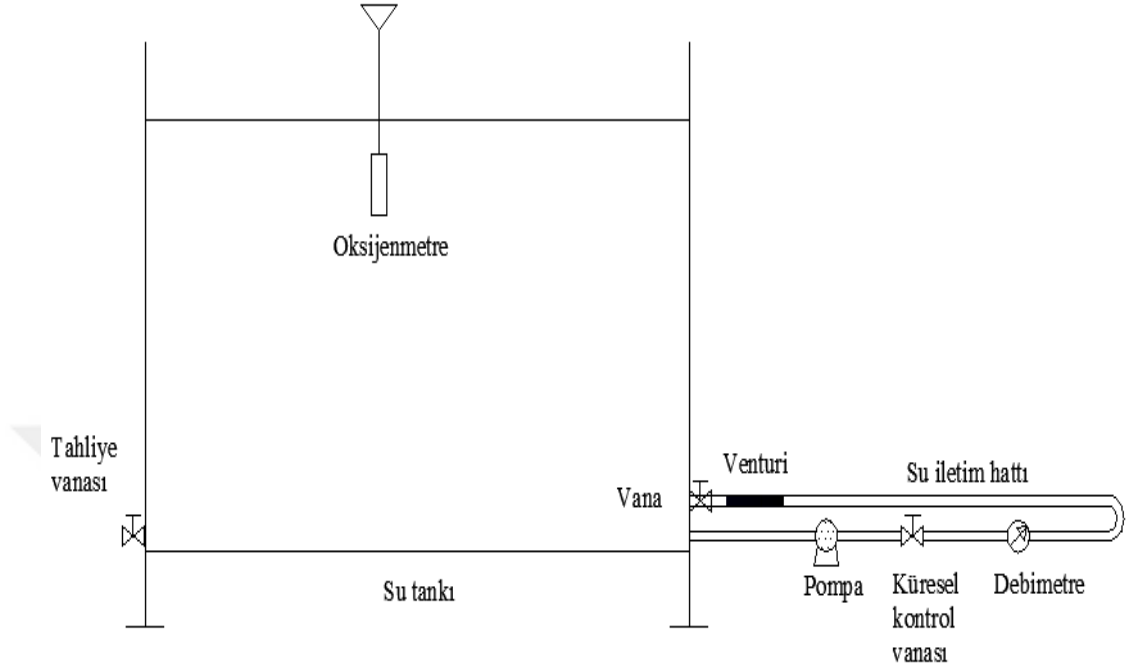
D (mm)	Dt (mm)	L ₁ (mm)	α_1 (°)	α_2 (°)	DENEY ADI		
					1.delik	2.delik	3.delik
36	18	18	21	7	36-18-18-1	36-18-18-2	36-18-18-3
36	18	36	21	7	36-18-36-1	36-18-36-2	36-18-36-3
36	27	27	21	7	36-27-27-1	36-27-27-2	36-27-27-3
36	27	54	21	7	36-27-54-1	36-27-54-2	36-27-54-3
42	21	21	21	7	42-21-21-1	42-21-21-2	42-21-21-3
42	21	42	21	7	42-21-42-1	42-21-42-2	42-21-42-3
42	31.5	31.5	21	7	42-31.5-31.5-1	42-31.5-31.5-2	42-31.5-31.5-3
42	31.5	63	21	7	42-31.5-63-1	42-31.5-63-2	42-31.5-63-3
54	27	27	21	7	54-27-27-1	54-27-27-2	54-27-27-3
54	27	54	21	7	54-27-54-1	54-27-54-2	54-27-54-3
54	40.5	40.5	21	7	54-40.5-40.5-1	54-40.5-40.5-2	54-40.5-40.5-3
54	40.5	81	21	7	54-40.5-81-1	54-40.5-81-2	54-40.5-81-3

Çizelge 5.1’de deneyler esnasında kullanılan venturilerin çap, boğaz bölgesi çapı, boğaz bölgesi uzunluğu ve delik durumlarına ait ölçüleri verilmiştir.

5.3. Deney Düzenegi

Bu çalışmada 1.5 m uzunluğunda, 0.8 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğinde bir yüzü tamamen camdan imal edilmiş su tankı kullanılmıştır. Tankın altına 70 mm çapında 10 cm uzunluğunda biri giriş (dişli) ve biri çıkış olmak üzere iki adet çelik boru kaynak ettirilmiştir. Suyun devrini sağlamak için su pompası, debi ayarlarını yapmak için kontrol vanası, sistemden geçen debiyi ölçmek için 0,01 L/s hassasiyete sahip debimetre, enerji kayıplarını azaltmak amacıyla 100 mm den 70 mm ye bağlantı yapabilecek rakor, oksijen ve sıcaklığı ölçmek için dijital göstergeli oksijenmetre, tank giriş ve çıkışından pompa bağlantısı yapmak için 10 m uzunluğunda 100 mm çapında

ve 2 metre uzunluğunda 70 mm çapında plastik borular kullanılmıştır. Şekil 5.7’de deney setinin şematik gösterimi, Şekil 5.8’de ise venturi deney seti gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Deney setinin şematik gösterimi



Şekil 5.8 Deney düzeneğinin görüntüsü

5.4. Deneyin Yapılışı

Geri devirli olarak gerçekleştirilen deneyler İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır.

70 mm çapındaki plastik borunun bir ucu pompa girişine diğer ucu ise su tankının çıkış kısmına bağlanmıştır. Dişli bir yapıya sahip rakorun ucuna farklı ebatlara sahip venturiler sırasıyla bağlanarak su tankının giriş kısmı ile bağlantısı yapılmıştır. Tankı su ile doldurmadan önce montajı yapılan venturideki deliklerin tümü 6 adet tıpa yardımıyla kapatılmış ve tankın içerisine su yüksekliği 0.83 m olacak şekilde musluk suyu eklenmiştir. Daha sonra hacmi belli olan suyun içerisine oksijen miktarını azaltmak için Na_2SO_3 ile CoCl_2 ilave edilmiştir. Su belli bir süre karıştırılıp oksijenmetre yardımıyla oksijen miktarı ve sıcaklık ölçülüp not edilmiştir.

Sistem hazır hale gelince pompa çalıştırılarak debi 3 L/s olarak ayarlanmış ve sadece 1. delik, sadece 2. delik ve sadece 3. delik açılıp sisteme giren oksijen miktarı ölçülmüştür. Daha sonra sırasıyla 1-2, 1-3, 2-3 ve 1-2-3 delikleri açılarak oksijen konsantrasyon değerlerindeki değişim gözlemlenmiştir. Sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu ideal seviyelere gelene kadar her 5 dakikada bir oksijenmetredeki değerler okunup not edilmiştir. 3 L/s debi için bütün deliklere ait okumalar yapıldıktan sonra debi önce 4 L/s'ye ve daha sonra 5 L/s'ye çıkartılarak okumalar yapılmıştır. Bir venturiye ait tüm okumalar tamamlandıktan sonra tankta bulunan su boşaltılmış ve kullanılan venturi çıkartılarak yerine yenisi takılmıştır. Böylelikle farklı çap, farklı daralma bölgesi, farklı daralma bölgesi uzunluğu ve farklı delik mesafeleri olan 12 adet venturi için 3, 4 ve 5 L/s debilerinde toplam 252 adet deney yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak (3.12) nolu denklem yardımıyla $(K_{La})_{20}$ değerleri hesaplanmış ve oksijen transfer verimleri (O_R) 20 C°'de normalize edilmiştir.

Şekil 5.9 – 5.12’ de venturinin deney setine bağlantısı görülmektedir.



Şekil 5.9 Venturinin sistem içerisindeki bağlantısı



Şekil 5.10 Tek delik açıkken yapılan çalışma



Şekil 5.11 Çift delik açıkken yapılan çalışma

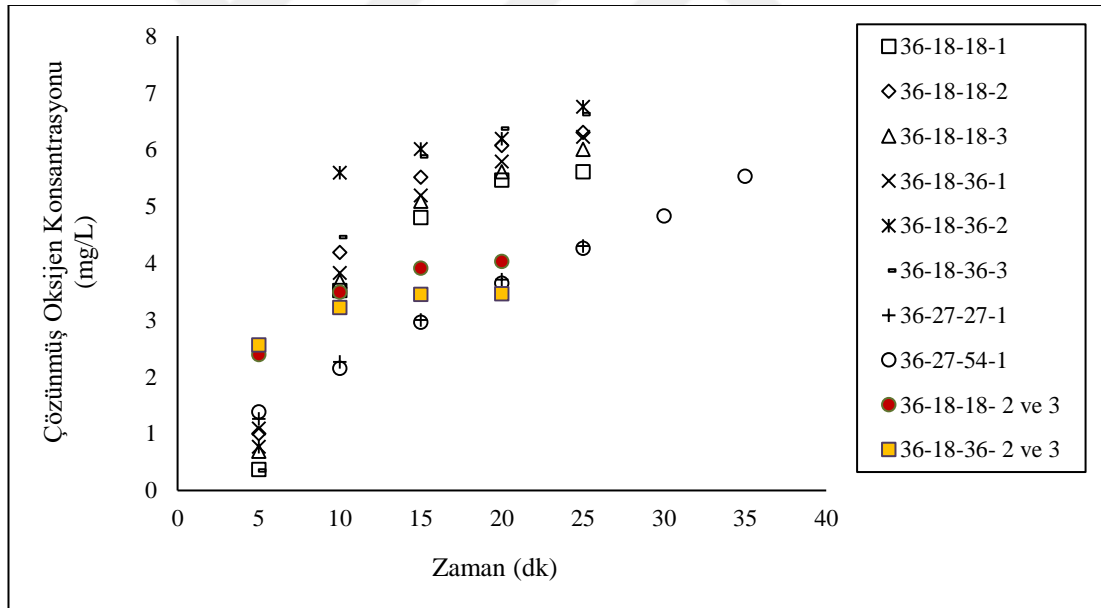


Şekil 5.12 Negatif basınç oluşmadığı çalışma

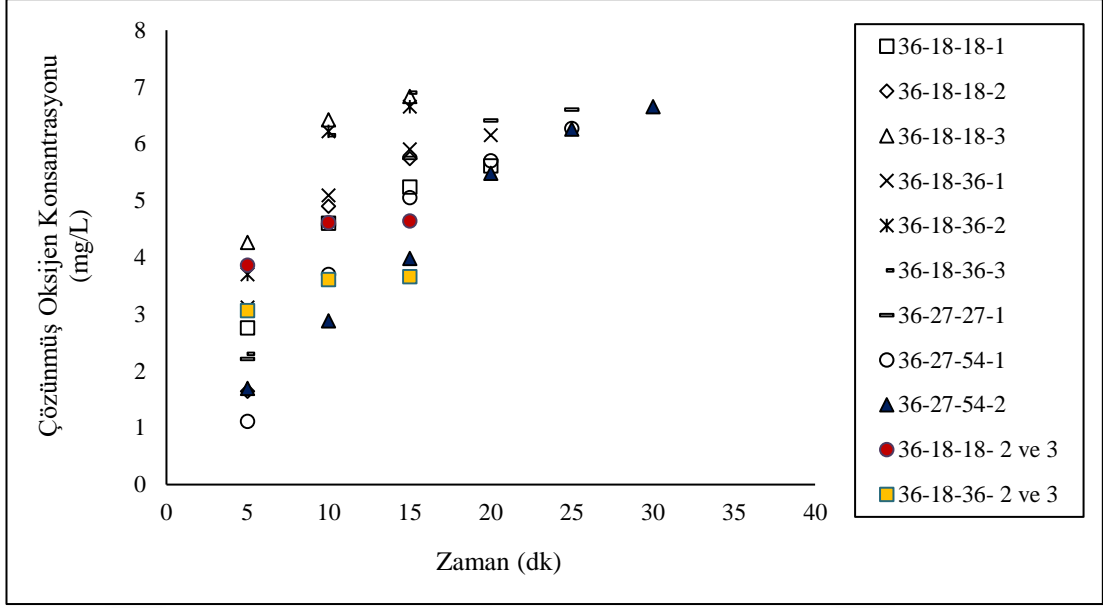
6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında 36, 42 ve 54 mm çaplı venturiler kullanılmıştır. Boğaz bölgelerinin çapı, venturi çaplarının 0.5 ve 0.75 katı, boğaz bölgesi uzunluğu ise boğaz bölgesi çapına eşit ve 2 katı olarak seçilmiştir. Venturilerin üzerinde, boğaz bölgesinin orta noktasından başlayarak aralarındaki mesafe boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 katı olacak şekilde 6 mm çapında ve karşılıklı 3 çift delik açılmıştır. Hazırlanan venturilerin sistemle montajı sağlanıp sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (ÇOK) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)-zaman (dk) ve oksijen transfer oranı (kg O₂/saat)-debi (L/s) grafikleri üzerinde gösterilmiştir.

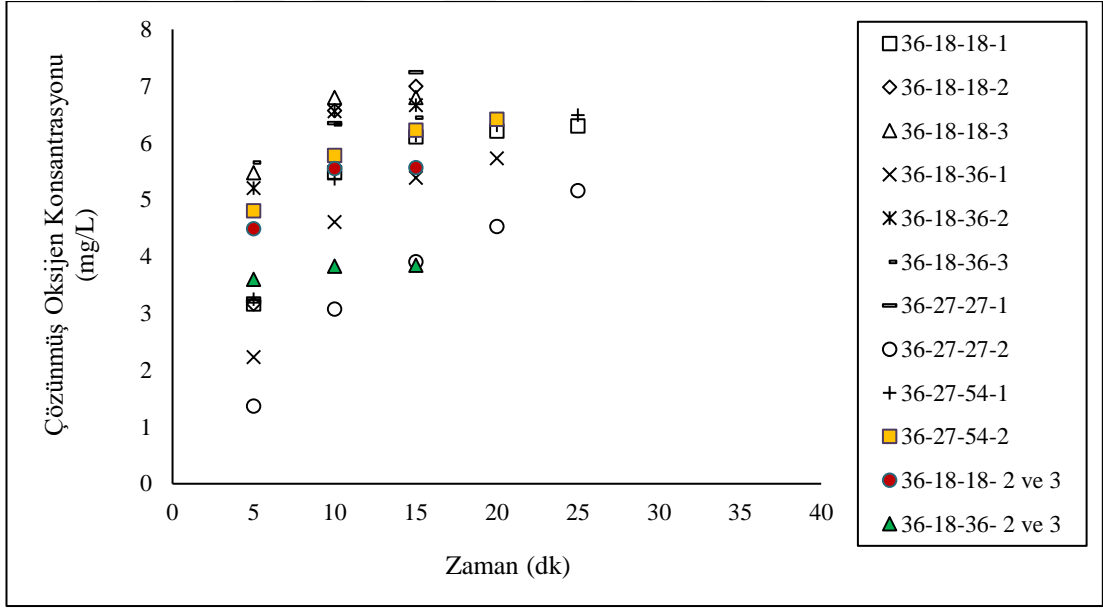
Deneyle esnasında çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri YSI DO 200 marka oksijenmetre yardımıyla okunmuştur. Okunan değerlerin zamana bağlı değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 6.1 36 mm çaplı venturilerde Q= 3 L/s debi için ÇOK değerleri



Şekil 6.2 36 mm çaplı venturilerde Q= 4 L/s debi için ÇOK değerleri

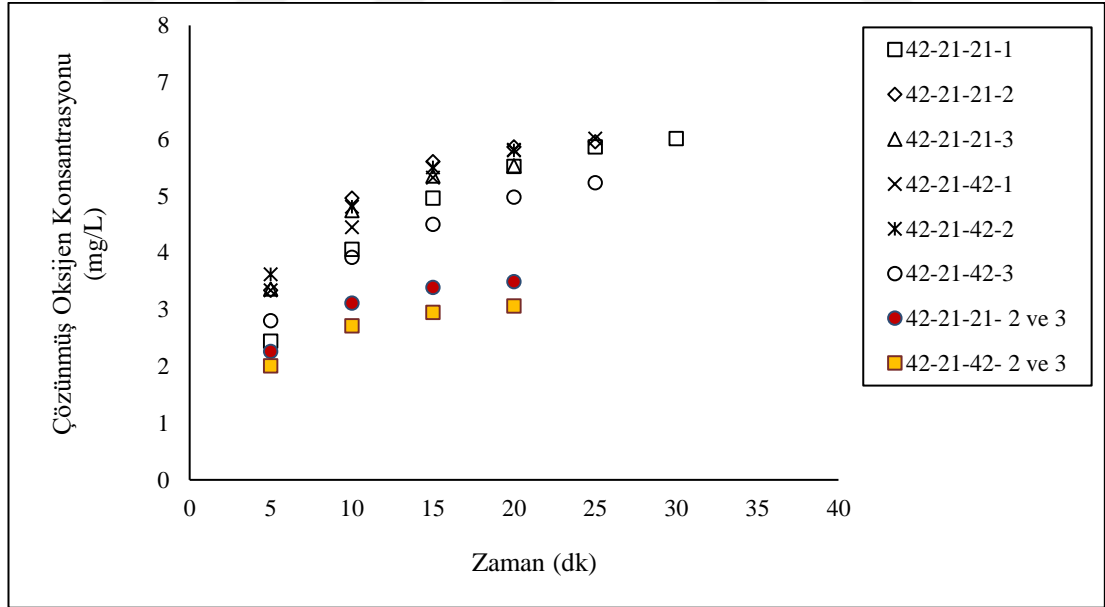


Şekil 6.3 36 mm çaplı venturilerde Q= 5 L/s debi için ÇOK değerleri

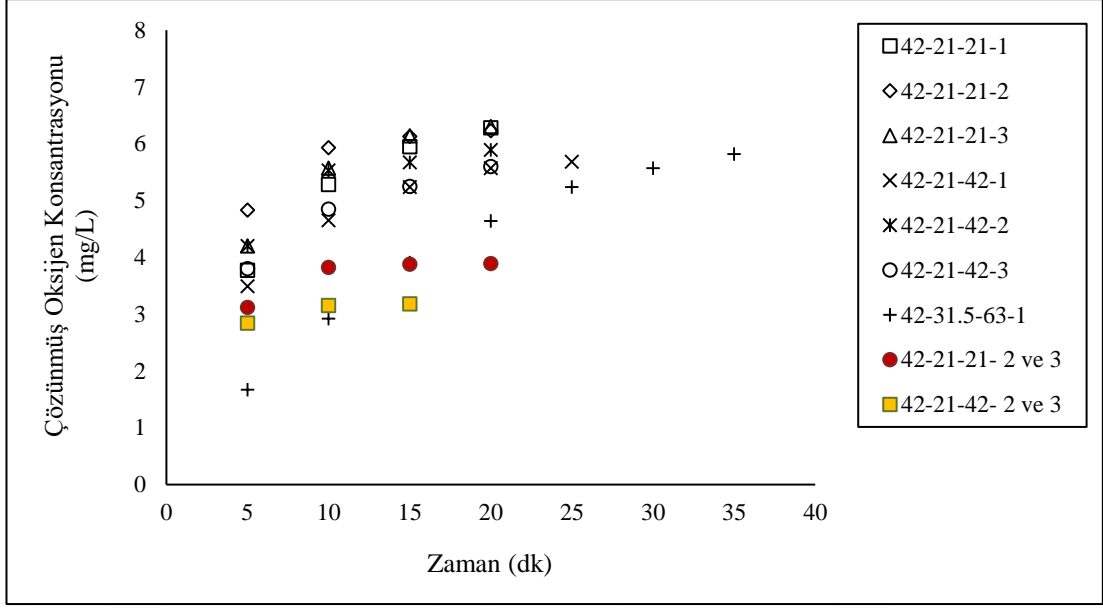
Şekil 6.1-6.3'de 36 mm çaplı venturilerin 3, 4 ve 5 L/s debileri için oksijen konsantrasyon değerleri görülmektedir. Genellikle 25 dakika ve daha sonrasında elde edilen ÇOK değerleri önemli oranda değişim göstermemiştir. 36 mm çaplı venturiler için yapılan deneylerde bütün debiler için en yüksek verim 36-18-36-2 için elde edilmiştir. Bu venturide boğaz çapı ve uzunluğu sırasıyla venturi çapının yarısı ve kendisine eşittir. 2 nolu delik ise boğaz bölgesinin orta noktasından itibaren boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 katı mesafede açılmıştır. 2 nolu delikte daha yüksek

oksijenlendirme veriminin elde edilmesi, 2 nolu deliğin bulunduğu kesitteki akış alanının boğaz bölgesine göre daha büyük olması ile açıklanabilir. 3 nolu deliğin bulunduğu kesitte akış alanı 2 nolu kesite göre daha büyük olmakla beraber negatif basıncın değeri azalmıştır. Bundan dolayı venturi havalandırma deliğinden daha az hava çekilmesine sebep olduğu düşünülmektedir. 36-27-27 nolu venturide 3, 4 L/s debilerinde sadece 1. delikten sisteme hava girişi gerçekleştiği ve debi değeri 5 L/s olunca 2. deliğinde ÇOK değerlerini etkilediği görülmüştür. 36-27-54 nolu venturi de ise 3 L/s de sadece 1. deliğin 4, 5 L/s'de 2. ve 3. deliklerin çalıştığı görülmüştür. Bu durum 2. ve 3. deliklerin bulunduğu kesitlerde tüm deneyler için negatif basınçların oluşmadığını, ÇOK değerlerinin debi artışına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.

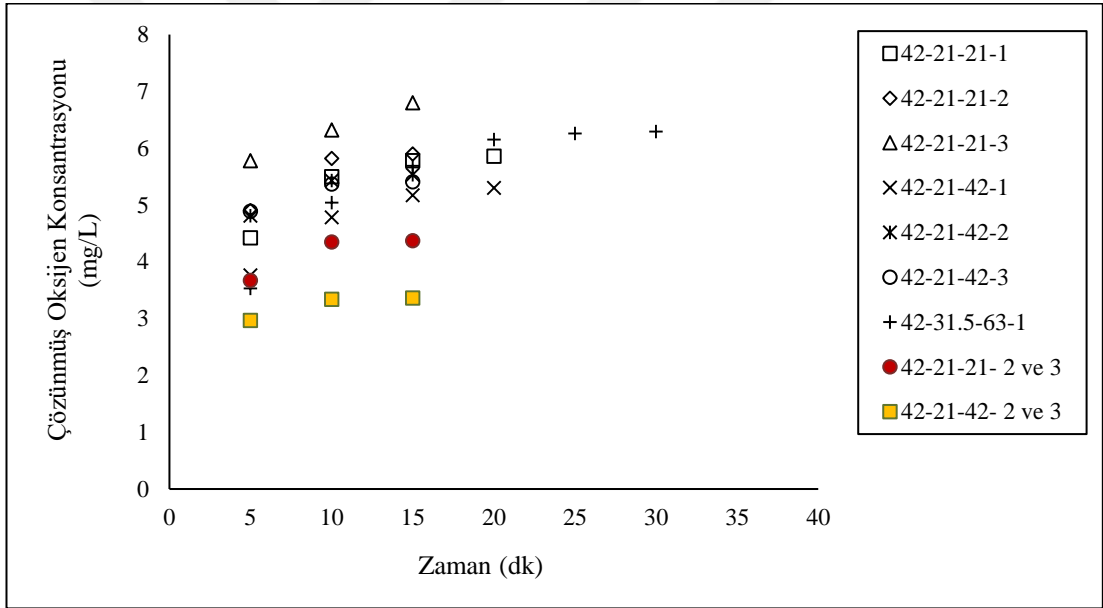
Ayrıca Şekil 6.1-6.3'e göre 2 ve daha fazla delik aynı anda açıkken yapılan deneylerde sadece 36-18-18- 2 ve 3 ile 36-18-36- 2 ve 3 için negatif basınç oluşmuş diğer bütün çoklu çalışmalarda sisteme oksijen girişi görülmemiştir. Hava girişi meydana gelen tüm deneylerde içinde en düşük ÇOK değeri 36-27-54-1 nolu deneyde oluşmuştur. Bütün deneylerde ÇOK değerlerinin zamana göre değişimleri eğrisel olarak artmıştır.



Şekil 6.4 42 mm çaplı venturilerde Q= 3 L/s debi için ÇOK değerleri



Şekil 6.5 42 mm çaplı venturilerde Q= 4 L/s debi için ÇOK değerleri

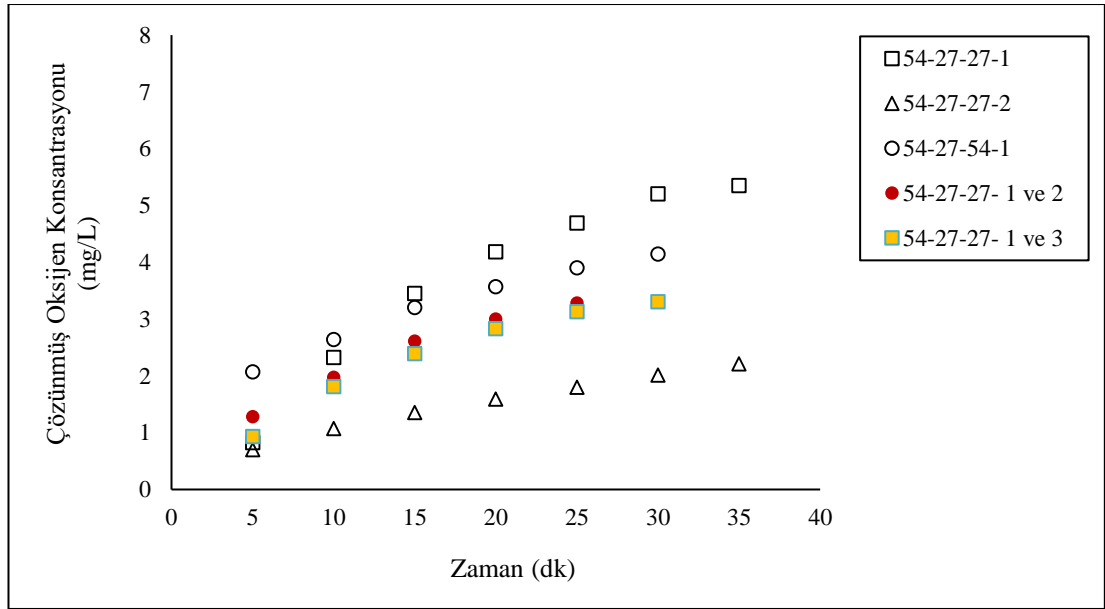


Şekil 6.6 42 mm çaplı venturilerde Q= 5 L/s debi için ÇOK değerleri

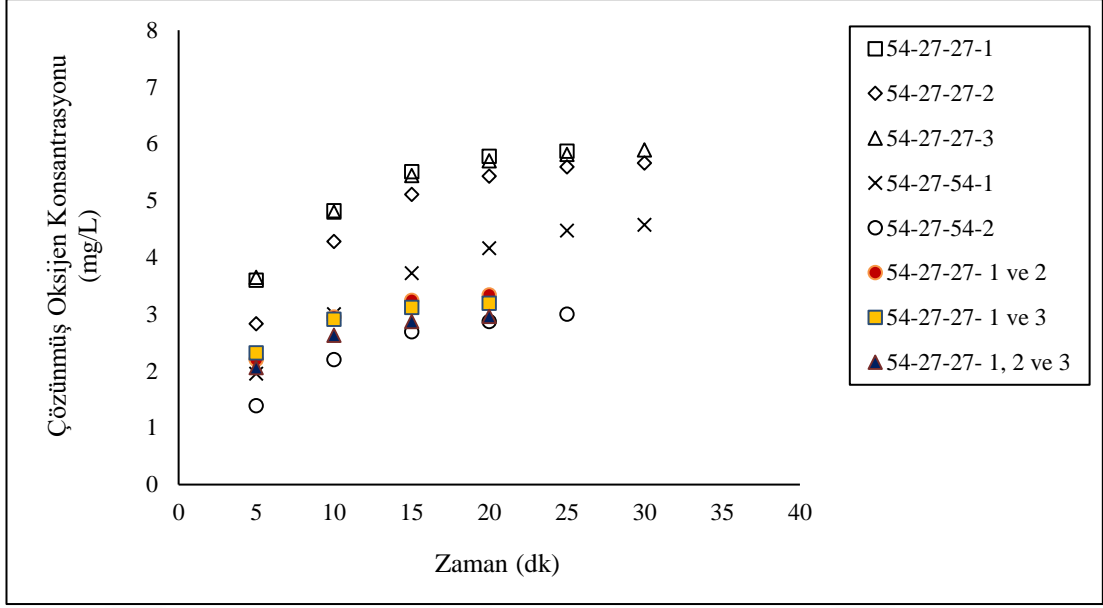
Şekil 6.4-6.6'da 42 mm çaplı venturilerin 3, 4 ve 5 L/s debileri için oksijen konsantrasyon değerleri görülmektedir. Genellikle 20 dakika ve daha sonrasında elde edilen ÇOK değerleri önemli oranda değişim göstermemiştir. 42 mm çaplı venturiler için yapılan deneylerde bütün debiler için en yüksek verim 42-21-21-2 için elde edilmiştir. Bu venturide boğaz çapı ve uzunluğu venturi çapının yarısına eşittir. 2 nolu delik ise boğaz bölgesinin orta noktasından itibaren boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 katı mesafede açılmıştır. 2 nolu delikte daha yüksek oksijenlendirme veriminin elde

edilmesi, 2 nolu deliğin bulunduğu kesitteki akış alanının boğaz bölgesine göre daha büyük olması ile açıklanabilir. 3 nolu deliğin bulunduğu kesitte akış alanı 2 nolu kesite göre daha büyük olmakla beraber negatif basıncın değeri azalmıştır. Bundan dolayı venturi havalandırma deliğinden daha az hava çekilmesine sebep olduğu düşünülmektedir. 3 L/s iken 42-31.5-31.5 ve 42-31.5-63 nolu venturilere ait tüm deliklerde sisteme hava girişi olmamıştır. Debi değerinin 4 L/s ve 5 L/s çıktığı durumlarda ise yalnızca 42-31.5-63-1 nolu deneylerde negatif basınç meydana gelmiştir.

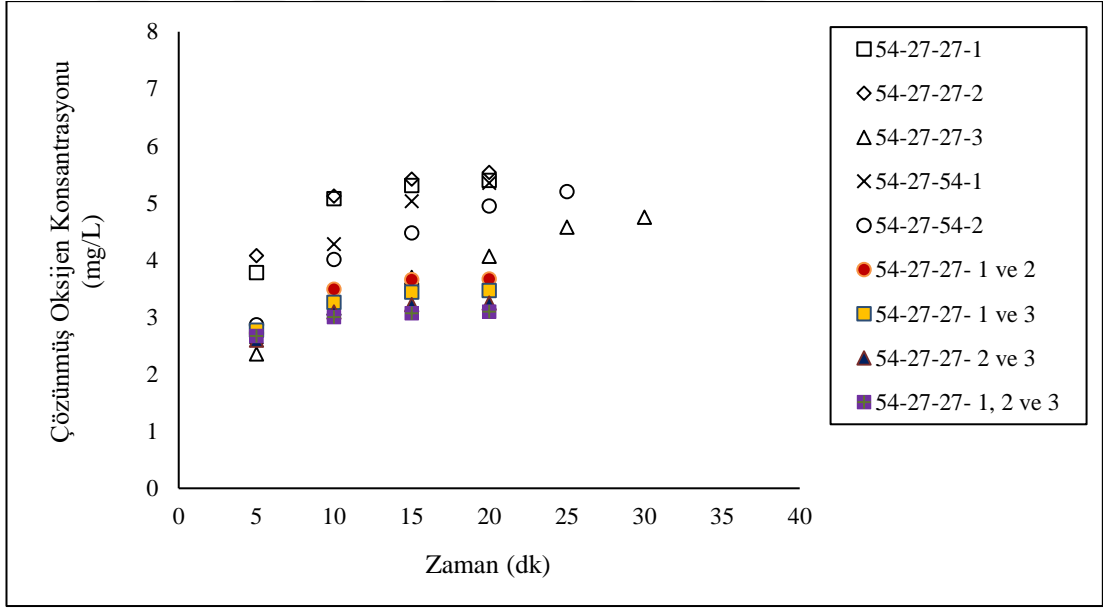
Ayrıca Şekil 6.4-6.6'ya göre 2 ve daha fazla delik aynı anda açıkken yapılan deneylerde sadece 42-21-21- 2 ve 3 ile 42-21-42- 2 ve 3 için negatif basınç oluşmuş diğer bütün çoklu çalışmalarda sisteme oksijen girişi görülmemiştir. 42-21-21- 2 ve 3 ile 42-21-42- 2 ve 3 deneylerinde oksijen konsantrasyon değerleri ilk başta hızlı bir artmış ancak daha sonra önemli bir değişim göstermemiştir. Şekil 6.4-6.6'da gösterilen tüm deneyler içinde en düşük ÇOK değeri 42-21-42- 2 ve 3 nolu deneyde gözlemlenmiştir. Hava girişi meydana gelen tüm deneylerde ÇOK değerlerinin zamana göre değişimleri eğrisel olarak artmıştır. Çoklu delik çalışması yapılan deneylerde bu eğrisel artışın çok küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 6.7 54 mm çaplı venturilerde Q= 3 L/s debi için ÇOK değerleri



Şekil 6.8 54 mm çaplı venturilerde Q= 4 L/s debi için ÇOK değerleri



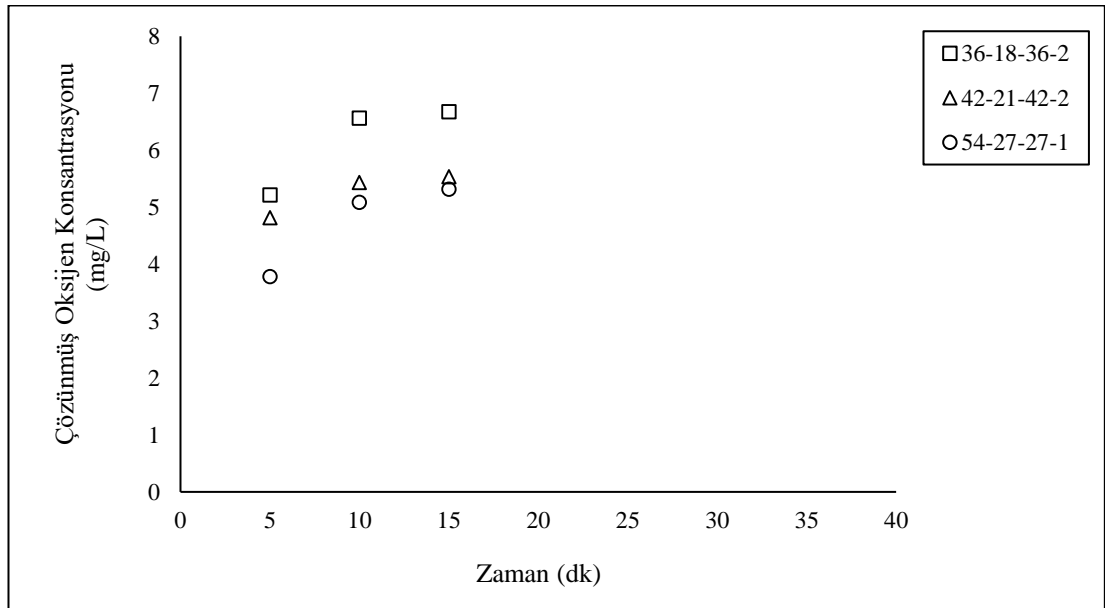
Şekil 6.9 54 mm çaplı venturilerde Q= 5 L/s debi için ÇOK değerleri

Şekil 6.7-6.9'da 54 mm çaplı venturilerin 3, 4 ve 5 L/s debileri için oksijen konsantrasyon değerleri görülmektedir. Genellikle 25 dakika ve daha sonrasında elde edilen ÇOK değerleri önemli oranda değişim göstermemiştir. 54 mm çaplı venturiler için yapılan deneylerde bütün debiler için en yüksek verim 54-27-27-1 için elde edilmiştir. Bu venturide boğaz çapı ve uzunluğu venturi çapının yarısına eşittir. 2 nolu delik ise boğaz bölgesinin orta noktasından itibaren boğaz bölgesi uzunluğunun 0.75 katı mesafede açılmıştır. 3 L/s iken 54-27-27 nolu venturide sadece 1. ve 2. deliklerde

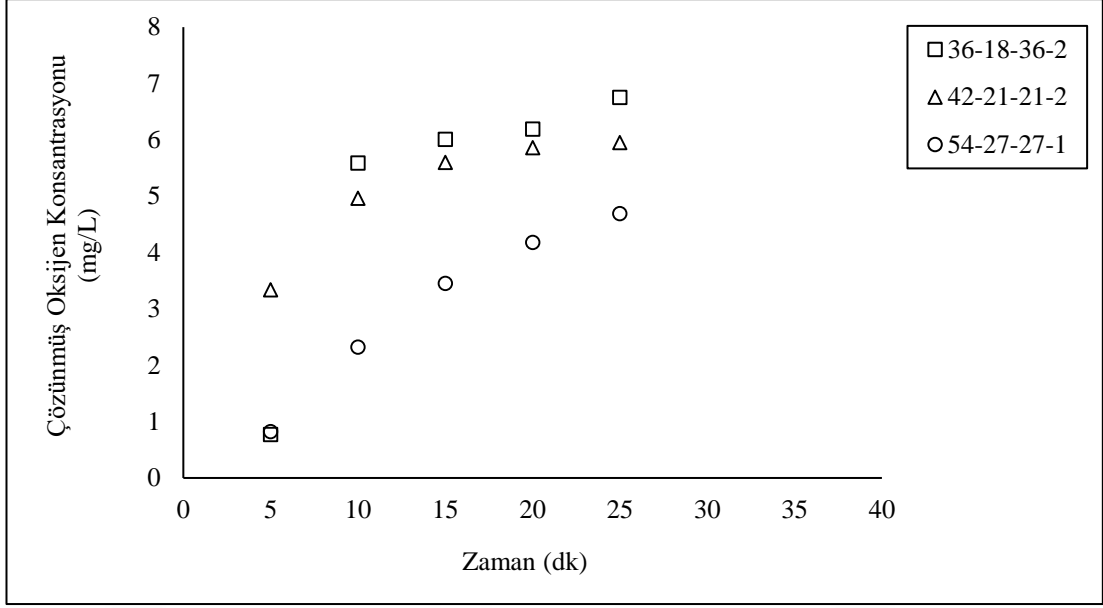
54-27-54 nolu venturide ise sadece 1. delikte negatif basınç oluşmuştur. Bunların dışındaki diğer tüm deliklerde ve 54-40.5-40.5 ile 54-40.5-81 nolu venturilerin tamamında sisteme hava girişi gözlemlenmemiştir. Debi 4, 5 L/s değerlerine çıkartıldığında ise 54-27-27 nolu venturinin bütün deliklerinde ve 54-27-54 nolu venturinin 1. ve 2. deliklerinde negatif basınç oluşmuştur. 54-27-54-3 nolu delik ile 54-40.5-40.5 ve 54-40.5-81 nolu venturilere ait deliklerde herhangi bir negatif basınç değişimi görülmemiştir.

Ayrıca Şekil 6.7-6.9'a göre 2 ve daha fazla delik aynı anda açıkken yapılan deneylerde sadece 54-27-27 nolu venturide negatif basınç meydana gelmiştir. Debi 3 L/s iken (1-2) ve (1-3) nolu delikler, debi 4 L/s iken (1-2), (1-3) ve (1-2-3) nolu delikler, debi 5 L/s iken de (1-2), (1-3), (2-3) ve (1-2-3) nolu deliklerden sisteme oksijen girişi olmuştur. Debi artışına bağlı olarak daha fazla sayıda deliğin çalıştığı gözlemlenmiştir. Hava girişi meydana gelen tüm deneylerde ÇOK değerlerinin zamana göre değişimleri eğrisel olarak artmıştır. Çoklu delik çalışması yapılan deneylerde bu eğrisel artışın çok küçük olduğu görülmüştür.

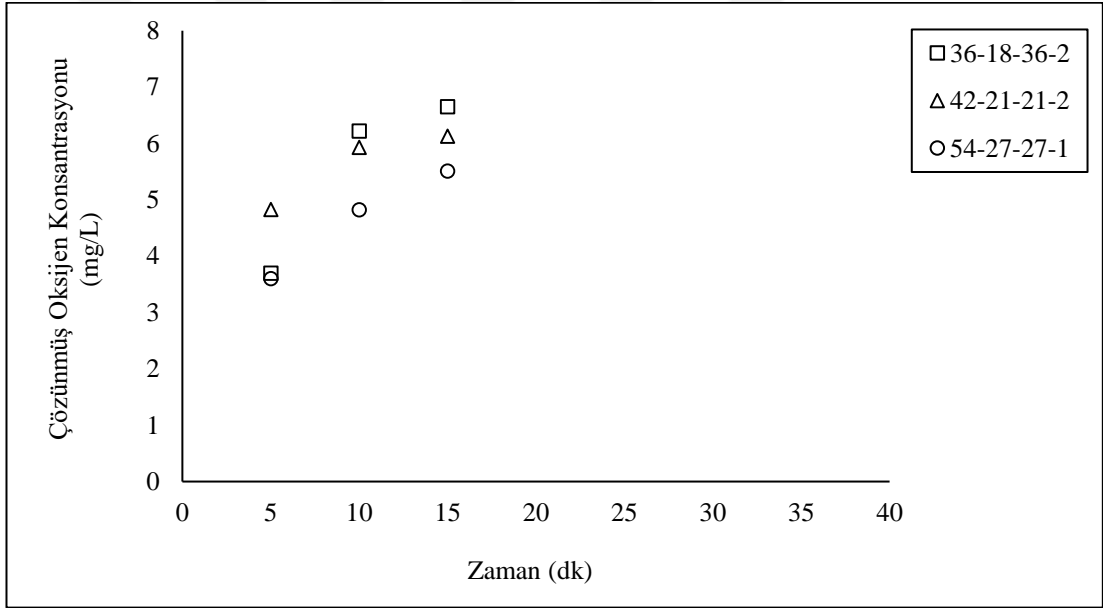
Şekil 6.1-6.9' göre, 3 farklı çapa sahip venturi grupları içerisinde en yüksek verimi sağlayan deneyler sırasıyla 36 mm çaplı venturi için 36-18-36-2, 42 mm çaplı venturi için 42-21-21-2 ve 54 mm çaplı için 54-27-27-1'dir. Bu deney numaraları için ÇOK-Zaman grafikleri çizilmiştir.



Şekil 6.10 Q= 3 L/s için 36-18-36-2, 42-21-21-2, 54-27-27-1 deneyleri için ÇOK değerleri



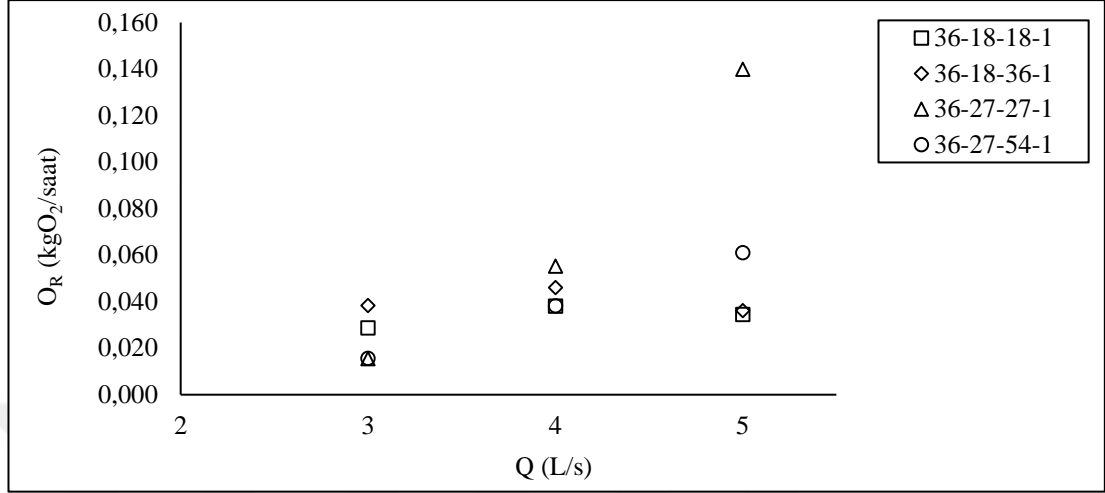
Şekil 6.11 Q= 4 L/s için 36-18-36-2, 42-21-21-2, 54-27-27-1 deneyleri için ÇOK değerleri



Şekil 6.12 Q= 5 L/s için 36-18-36-2, 42-21-21-2, 54-27-27-1 deneyleri için ÇOK değerleri

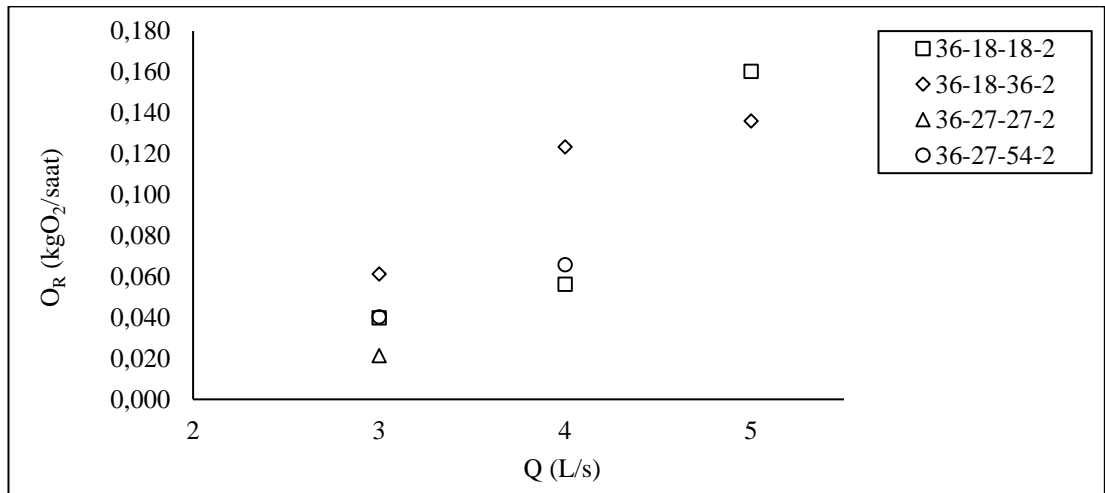
Şekil 6.10-6.12'göre, yapılan deneyler içerisinde ÇOK bakımından en iyi değerlerin 36 mm çapa sahip venturilerde daha sonra 42 mm ve en son 54 mm çapa sahip venturilerde olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin dikkate alınan debiler için elde edilen hız değerleri ve negatif basınç değerlerinin venturi çapı büyüdükçe azalması olarak düşünülebilir. Havalandırma delikleri bakımından da en iyi performans 36 ve 42 mm çapındaki venturilerde 2. delik ile 54 mm çaplı venturilerde ise 1. delik ile elde edilmiştir.

Deneyslerde bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyon değerleri doğrultusunda sırasıyla (K_{La}) , $(K_{La})_{20}$ ve O_R değerleri hesaplanmıştır. Hesaplar neticesinde O_R nin debiye bağlı değişim grafikleri çizilmiştir.



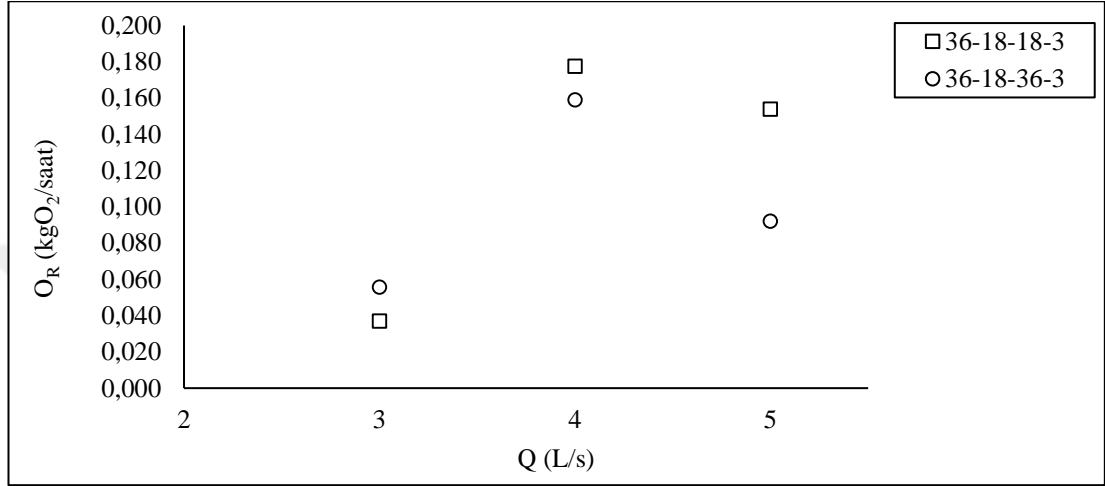
Şekil 6.13 36 mm çaplı venturilerde 1. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.13' de 36 mm çaplı venturilerin 1 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.13'e göre 1. delik için 36 mm çaplı venturilerdeki oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin değişimine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Şekil 6.13'deki verilere göre en yüksek oksijenlendirme oranları 36-27-27-1 için elde edilmiştir. En düşük değerler 36-18-18-1 nolu deney için elde edilmiştir. Bu durum kesitteki akış alanının boğaz bölgesine göre daha büyük olması ile açıklanabilir.



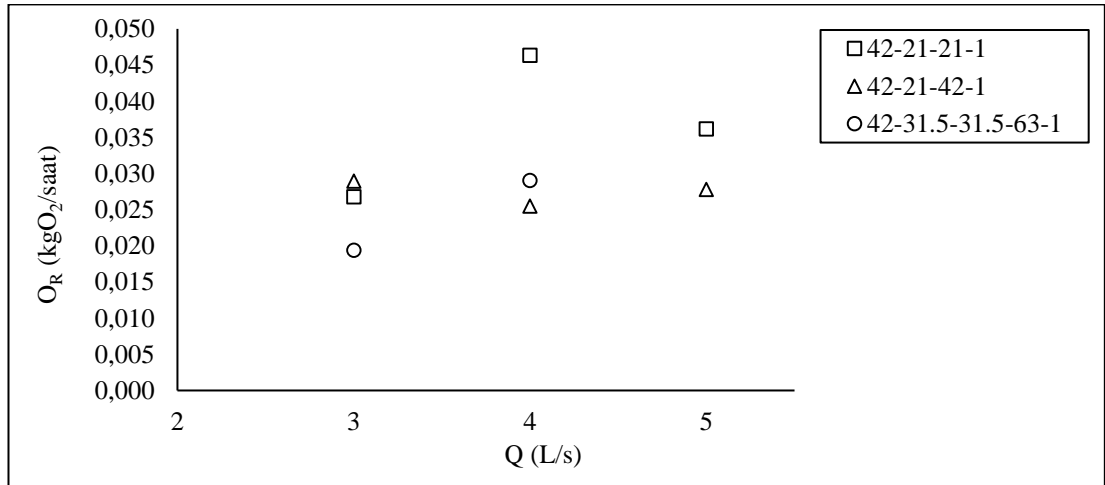
Şekil 6.14 36 mm çaplı venturilerde 2. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.14’ de 36 mm çaplı venturilerin 2 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.14’e göre 36 mm çaplı venturilerde 2. delik için boğaz bölgesi çapının küçülmesinin ve boğaz bölgesi uzunluğunun büyümesinin oksijenlendirme oranlarını arttırdığı düşünülmektedir. En yüksek oksijenlendirme oranları 36-18-36-2 için elde edilmiştir. En düşük değerler 36-27-27-2 nolu deney için elde edilmiştir.



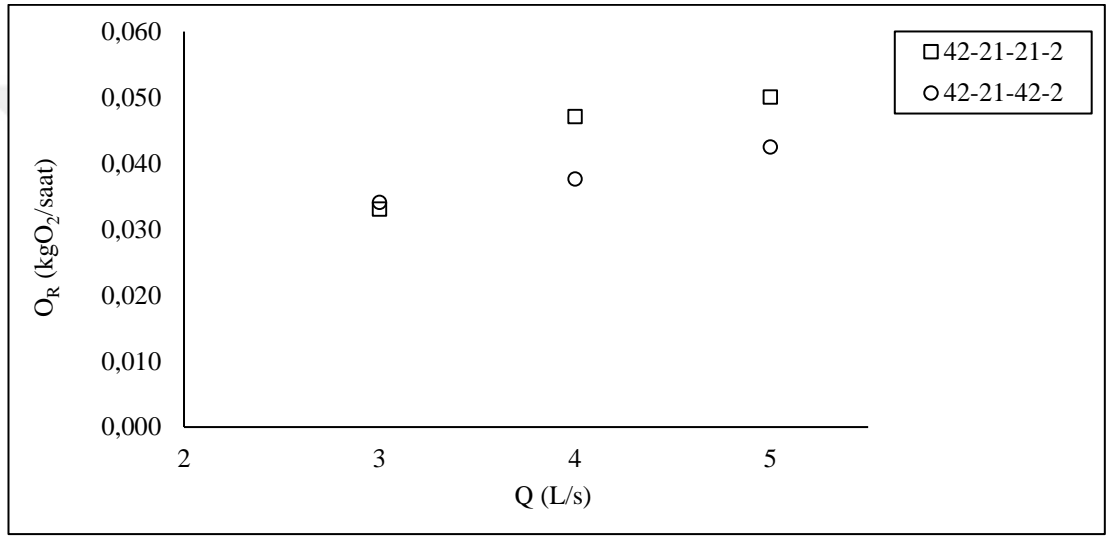
Şekil 6.15 36 mm çaplı venturilerde 3. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.15’ de 36 mm çaplı venturilerin 3 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.15’e göre 3 nolu delik için sadece 36-18-18 ve 36-18-36 nolu venturilerde negatif basınç meydana gelmiş 36-27-27 ve 36-27-54 nolu venturilerde sistemin çalışmadığı görülmüştür. Hava girişi olan venturilerde en yüksek oksijenlendirme oranları 36-18-18-3 için elde edilmiştir. En düşük değerler ise 36-18-36-3 nolu deney için elde edilmiştir.



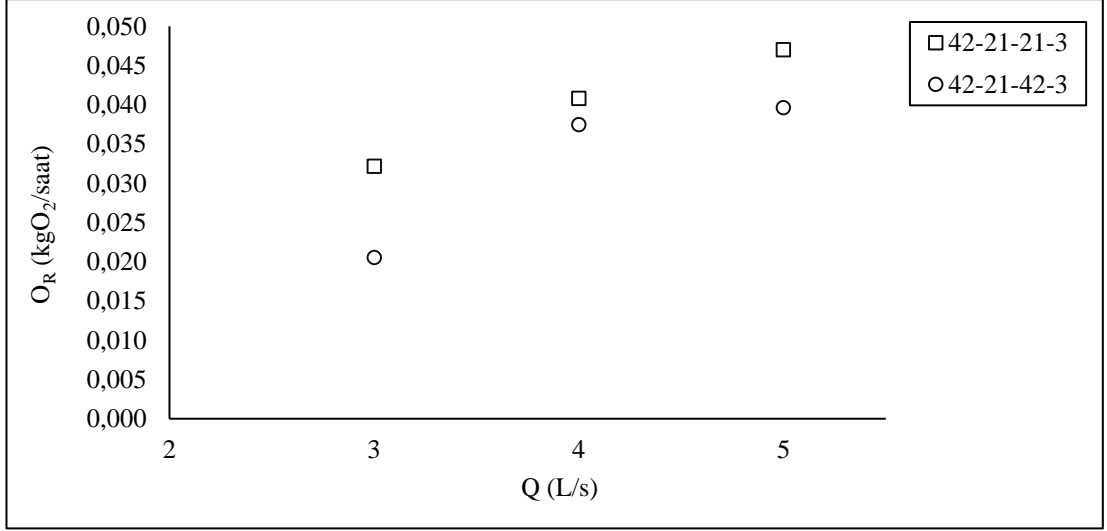
Şekil 6.16 42 mm çaplı venturilerde 1. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.16’ de 42 mm çaplı venturilerin 1 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.16’a göre 42 mm çaplı venturilerde 1. delik için boğaz bölgesi çapının küçülmesinin ve boğaz bölgesi uzunluğunun, boğaz bölgesi çapına eşit olmasının oksijenlendirme oranlarını arttığı düşünülmektedir. En yüksek oksijenlendirme oranları 42-21-21-1 için elde edilmiştir. Bu durumun kesitteki akış alanının boğaz bölgesine göre daha büyük olması ile açıklanabilir En düşük değerler 42-21-42-1 nolu deney için elde edilmiştir. 42-31.5-63-1 nolu deneyde ise negatif basınç oluşmadığından sisteme hava girişi olmamıştır.



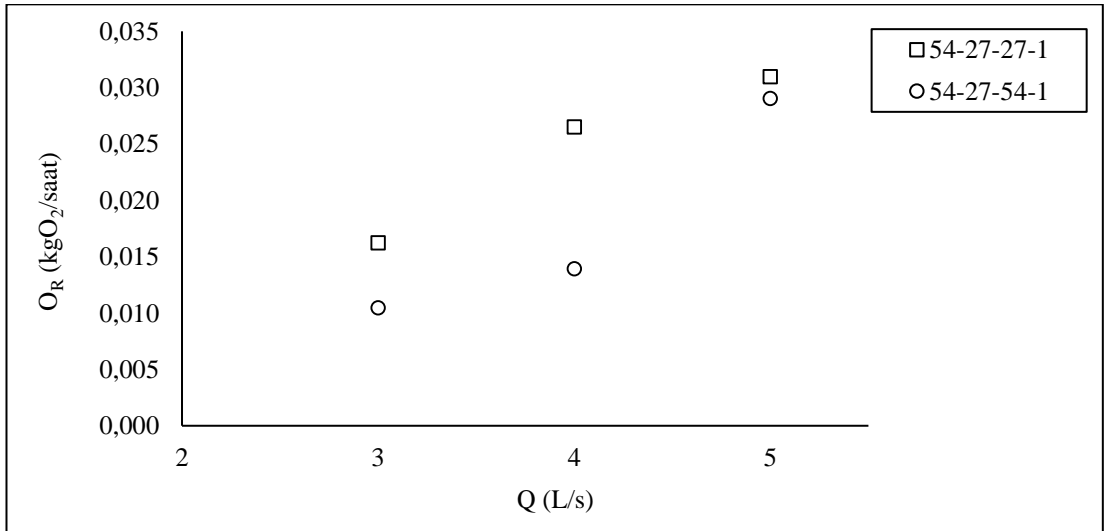
Şekil 6.17 42 mm çaplı venturilerde 2. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.17’ de 42 mm çaplı venturilerin 2 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.17’e göre 2 nolu delik için sadece 42-21-21 ve 42-21-42 nolu venturilerde negatif basınç meydana gelmiş 42-31.5-31.5 ve 42-31.5-63 nolu venturilerde sistemin çalışmadığı görülmüştür. Hava girişi olan venturilerde en yüksek oksijenlendirme oranları 42-21-21-2 için elde edilmiştir. En düşük değerler ise 42-21-42-2 nolu deney için elde edilmiştir. O_R değerleri debi değerleri arttıkça artmıştır.



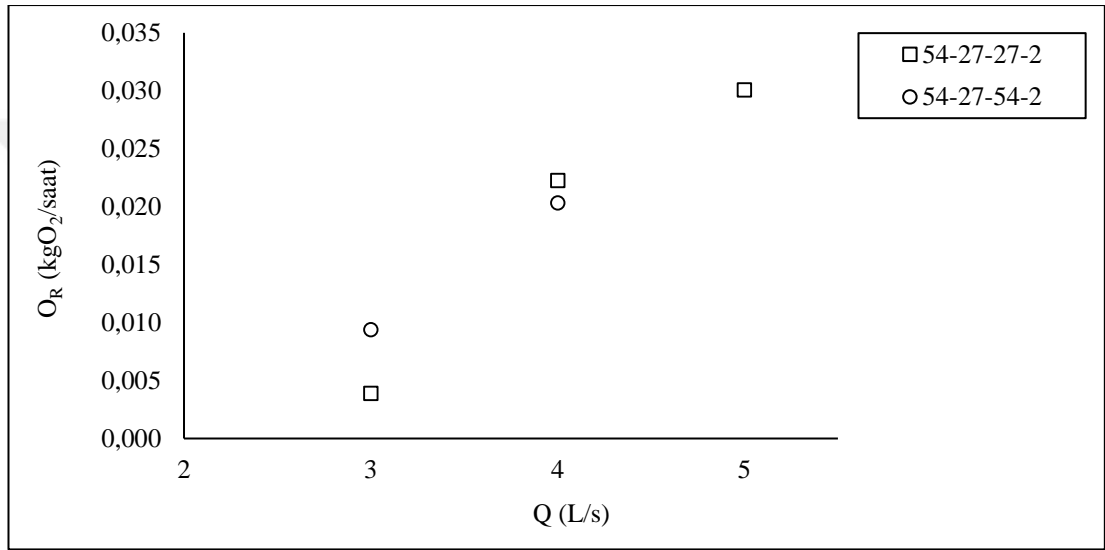
Şekil 6.18 42 mm çaplı venturilerde 3. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.18’ de 42 mm çaplı venturilerin 3 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.18’e göre 3 nolu delik için sadece 42-21-21 ve 42-21-42 nolu venturilerde negatif basınç meydana gelmiştir. Akış kesit alanının büyümesinin oksijenlendirme oranlarını azalttığı düşünülmektedir. Bu bağli olarak 42-31.5-31.5 ve 42-30.5-63 nolu venturilerde sistemin çalışmadığı görülmüştür. Hava girişi olan venturilerde en yüksek oksijenlendirme oranları 42-21-21-3 için elde edilmiştir. En düşük değerler ise 42-21-42-3 nolu deney için elde edilmiştir.



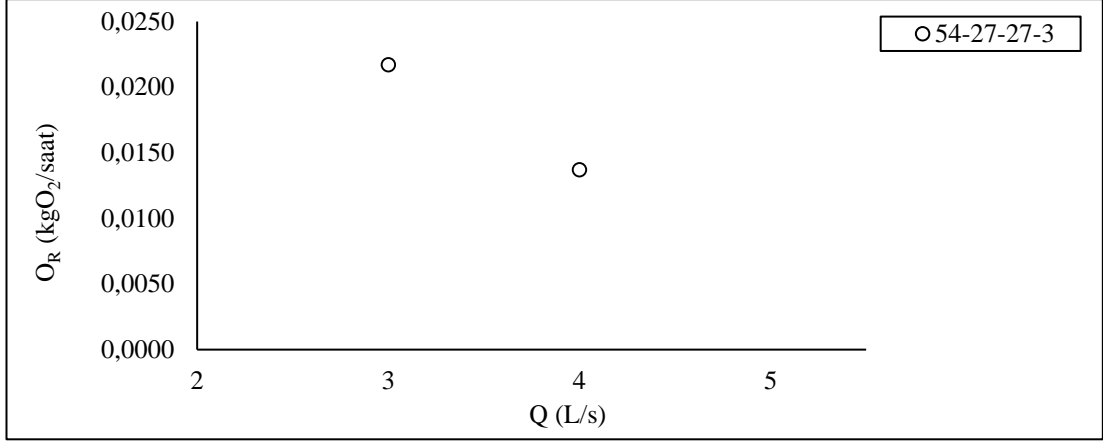
Şekil 6.19 54 mm çaplı venturilerde 1. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.19’ da 54 mm çaplı venturilerin 1 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.19’e göre 1 nolu delik için sadece 54-27-21 ve 54-27-54 nolu venturilerde negatif basınç meydana gelmiştir. Akış kesit alanının büyümesinin oksijenlendirme oranlarını azalttığı düşünülmektedir. 42-31.5-31.5 ce 42-31.5-63 nolu venturilerde ise sistemin çalışmadığı görülmüştür. Hava girişi olan venturilerde en yüksek oksijenlendirme oranları 54-27-27-1 için elde edilmiştir. En düşük değerler ise 54-27-54-1 nolu deney için elde edilmiştir.



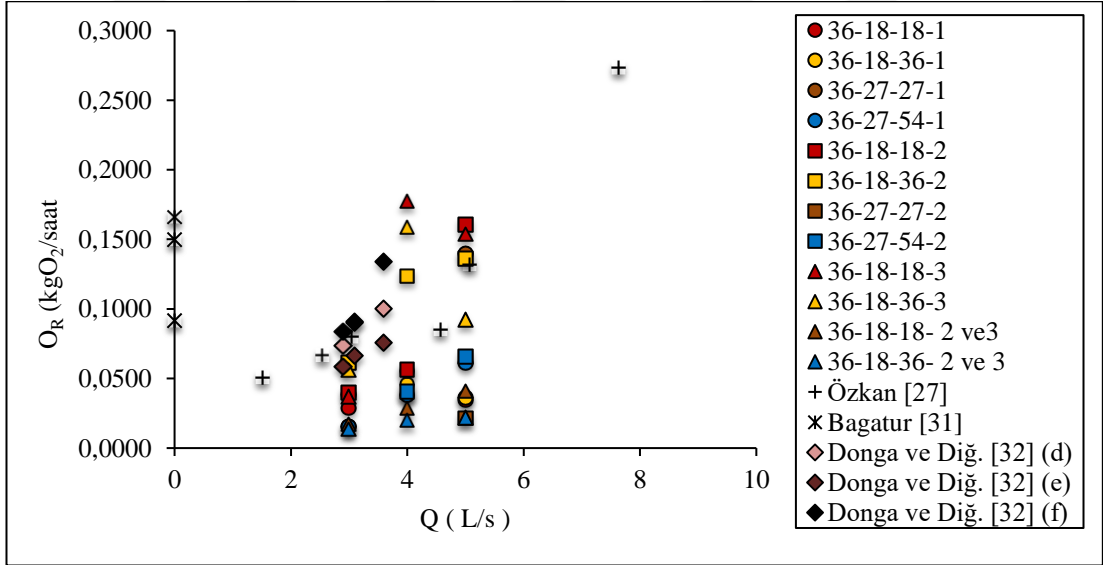
Şekil 6.20 54 mm çaplı venturilerde 2. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.20’ de 54 mm çaplı venturilerin 2 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.20’ye göre 2 nolu delik için sadece 54-27-21 ve 54-27-54 nolu venturilerde negatif basınç meydana gelmiştir. 42-31.5-31.5 ce 42-31.5-63 nolu venturilerde ise sistemin çalışmadığı görülmüştür. Hava girişi olan venturilerde en yüksek oksijenlendirme oranları 54-27-27-2 için elde edilmiştir. En düşük değerler ise 54-27-54-2 nolu deney için elde edilmiştir. O_R değerleri debi değerleri arttıkça artmıştır.



Şekil 6.21 54 mm çaplı venturilerde 3. delik için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.21’ de 54 mm çaplı venturilerin 3 nolu noktadaki havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Şekil 6.21’e göre 3 nolu delik için sadece 54-27-27-3 nolu venturilerde 3 ve 4 L/s lik debiler için venturiye hava girişi olmuştur. Diğer deneylerde havalandırma deliklerin hava çekilememiştir. Bu durum, venturi çapının artması neticesinde azalan hız yüksekliklerine karşın boğaz bölgesinde negatif basınçların oluşmadığı şeklinde açıklanabilir.

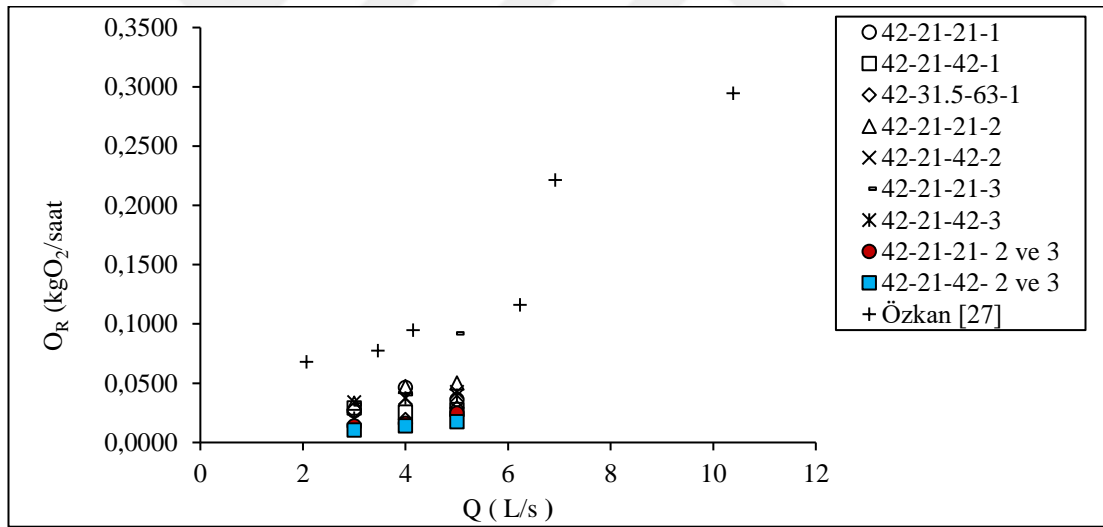


Şekil 6.22 36 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.22’ de 36 mm çaplı venturilerin tüm havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Deneyler esnasında çözünmüş oksijen konsantrasyon değerleri okunamayan tüm çalışmalar için O_R değerleri hesaplanamamıştır. O_R değeri hesaplanan deneylerde oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin artışına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek oksijenlendirme

oranları 36-18-18-3 nolu deney için en düşük oksijenlendirme oranları ise 36-18-36-2 ve 3 nolu deney için elde edilmiştir. Tek delik açıkken yapılan deneyler için bulunan O_R değerlerinin 2 delik aynı anda açıkken bulunan O_R değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca Şekil 6.22’de Özkan [27], Bagatur [31] ve Donga ve Diğ. [32] deneysel çalışmalarına ait O_R değerleri de görülmektedir. Özkan [27]’de 0.75 m^3 su hacmi için deneyler yapılmıştır ancak Şekil 6.22’de bu değerler 1 m^3 su hacmi için normalize edilerek kullanılmıştır. Bagatur [31]’de $3/4$ inç çapa sahip venturiler için bulunan O_R değerleri kullanılmıştır. Donga ve Diğ. [32]’de ise 38 mm çapa sahip venturilerin paralel bağlanması ile meydana gelen “modül d, modül e ve modül f” için elde edilen O_R değerleri gösterilmiştir. Bu bağlamda en iyi performans Bagatur [31] tarafından yapılan çalışmada elde edilmiştir. Özkan [27] ve Donga ve Diğ. [32] bulunan sonuçlar ise ortalama değer aralığında çıkmıştır. Bu çalışmaya ait sonuçlar ile literatürde verilmiş olan sonuçlar arasında uyum olduğu görülmektedir.

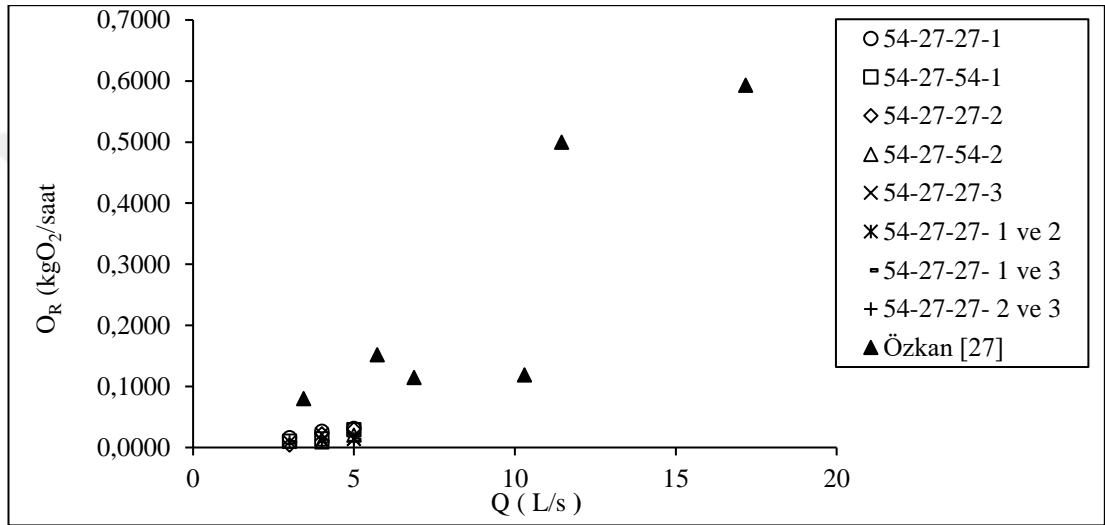


Şekil 6.23 42 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.23’ de 42 mm çaplı venturilerin tüm havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Deneyler esnasında çözünmüş oksijen konsantrasyon değerleri okunamayan tüm çalışmalar için O_R değerleri hesaplanamamıştır. O_R değeri hesaplanan deneylerde oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin artışına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek oksijenlendirme oranları 42-21-21-2 nolu deney için en düşük oksijenlendirme oranları ise 42-21-42-2 ve 3 nolu deney için elde edilmiştir. Tek delik açıkken yapılan deneyler için bulunan

O_R değerlerinin 2 delik aynı anda açıkken bulunan O_R değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca Şekil 6.23’de Özkan [27]’nin 0.75 m^3 su için yapmış olduğu deneysel çalışmaya ait O_R değerlerinin debiye bağlı değişimi görülmektedir. Ancak kullanılan O_R değerleri 1 m^3 su için normalize edilerek grafikte gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında da O_R değerleri debi artışına bağlı olarak yükselmiştir. Özkan [27]’nin çalışmasından elde edilen değerlerin 42 mm çaplı venturiler içinde en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.24 54 mm çaplı venturilerde tüm delikler için O_R değerlerinin debiye göre değişimi

Şekil 6.24’te 54 mm çaplı venturilerin tüm havalandırma delikleri için elde edilen oksijenlendirme oranları görülmektedir. Deneyler esnasında çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri okunamayan tüm çalışmalar için O_R değerleri hesaplanamamıştır. O_R değeri hesaplanan deneylerde oksijenlendirme verimleri, debi değerlerinin artışına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek oksijenlendirme oranları 54-27-27-1 nolu deney için en düşük oksijenlendirme oranları ise 42-21-42-1, 2 ve 3 nolu deney için elde edilmiştir. Tek delik açıkken yapılan deneyler için bulunan O_R değerlerinin 2 ve daha fazla delik aynı anda açıkken bulunan O_R değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca Şekil 6.24’de Özkan [27]’nin 0.75 m^3 su için yapmış olduğu deneysel çalışmaya ait O_R değerlerinin debiye bağlı değişimi görülmektedir. Anca kullanılan O_R değerleri 1 m^3 su için normalize edilerek grafikte gösterilmiştir. Bu bağlamda Özkan [27]’nin çalışmasından elde edilen değerlerin 54 mm çaplı venturiler içinde en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir.

7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında farklı çap, farklı boğaz çapı ve farklı boğaz bölgesi uzunluğuna sahip venturi tasarımları üzerinde karşılıklı 6 mm çaplı havalandırma delikler açılıp çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri incelenmiştir. Toplamda 252 adet deneysel çalışma yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Yapılan çalışmalarda en iyi sonuçların sırasıyla 36 mm, 42 mm ve 54 mm çapa sahip venturilerde olduğu görülmüştür. Yani çapın büyümesiyle verimlilik azalmıştır.
- 36 mm çapa sahip venturilerde boğaz bölgesi uzunluğunun $l_1=2xDt$ olduğu durumlarda yüksek oksijen transfer değerleri elde edilmiştir.
- 42 mm ve 54 mm çapa sahip venturilerde boğaz bölgesi uzunluğunun $l_1=Dt$ olduğu durumlarda yüksek oksijen transfer değerleri elde edilmiştir.
- Debi değerlerinin artışına bağlı olarak tüm venturilerde çözülmüş oksijen konsantrasyon değerlerinin arttığı görülmüştür.
- 54 mm çapa sahip venturilerde $Dt=0.75xD$ için boğaz bölgesi uzunluğu fark etmeksizin bütün delikler ve debi değerleri için sistemde negatif basınç oluşmamıştır.
- 36 mm ve 42 mm çaplı venturi tasarımlarında en yüksek oksijen konsantrasyon değerleri 2. delik açıkken, 54 mm çaplı venturilerde ise 1. delik açıkken sağlandığı görülmüştür.
- Sadece 1 adet delik açık iken yapılan tüm deneysel çalışmalarda en az oksijen transferinin 3. delikler için olduğu görülmüştür.
- 2 ve daha fazla delik açıkken yapılan deneylerde (36-18-18- 2 ve 3), (36-18-36- 2 ve 3), (42-21-21- 2 ve 3), (42-21-42- 2 ve 3), (54-27-27- 1 ve 2), (54-27-27- 1 ve 3), (54-27-27- 2 ve 3) ve (54-27-27- 1, 2 ve 3) için negatif basınç oluşmuştur. Diğer çoklu çalışmalarda sistem içine hava girişi olmamıştır. Negatif basıncın olduğu bu deneylerde sistem içindeki çözülmüş oksijen konsantrasyon değerleri artmış ancak bu artışın zamana bağlı değişimi çok küçük seviyelerde olmuştur
- 36, 42 ve 54 mm çapa sahip venturilerde tek delik açıkken yapılan deneylerden elde edilen ÇOK-OR değerlerinin genel olarak 2 ve daha fazla delik açıkken

yapılan deneylerden elde edilen ÇOK değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

- 3 delik aynı anda sadece 54-27-27- 1, 2 ve 3 nolu deneyde çalışmıştır. Bu deney için elde edilen ÇOK ve O_R değerleri yapılan diğer bütün deneyler içinde en küçük çıkmıştır. Bu durum delik sayısının artmasıyla sistem içine sürüklenen oksijen miktarının azaldığını göstermiştir.



8. KAYNAKÇA

- [1] Anonymous. (2019). <https://www.trthaber.com/haber/dunya/cinde-su-kirliligi-kritik-seviyede-244377.html> (Online Access on 09.03.2019)
- [2] Anonymous. (2019). <http://old.qha.com.ua/tr/yasam-olaylar/quot-cevre-kirliligi-yilda-9-milyon-insani-olduruyor-quot/160874/> (Online Access on 09.03.2019)
- [3] Baylar, A. *Savak havalandırıcılarda tip seçimin oksijen transferinde etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, 2002.
- [4] Gameson, A. L. H, *Weirs and Aeration of Rivers*, **Journal of the Institution of Water Engineers**, 11:5 (1957) 477-490.
- [5] Gameson, A. L. H., Vandyk, K. G., and Ogden, C. G, *The Effect of Temperature on Aeration*, **Water and Water Engineering**, 62 (1958) 489-492.
- [6] Holler, A. G. *Reaeration of Discharge through Hydraulic Structures*. PhD Thesis, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, 1970.
- [7] Thene, J. R. *Gas Transfer at Weirs Using Hydrocarbon Gas Tracer Method with Head-Space Analysis*. PhD Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, 1988.
- [8] Ervine, D. A., and Elsayy, E. M., The Effect of Falling Nappe on River Aeration, Proc. 16th Congr. Of Int. Assn. For Hydr. Res., Sao Paulo, Brazil, (1975), pp. 390-397.
- [9] Elsayy, E. M., and McKeogh, E. J., Study of Self Aerated Flow with Regard to Modelling Criteria, Proc. 17th Congr. Of Int. Assn. For Hydr. Res., Delft, The Netherland, (1977), pp. 475-482.
- [10] Chanson, H. and Toombes, L., 2001. Experimental investigations of air entrainment in transition and skimming flows down a stepped chute application to embankment overflow stepped spillways. Research Report No. CE 158, Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Australia
- [11] Nakasone, H. *Study of Aeration at Weirs and Cascades*, **Journal of Environmental Engineering**, 113:1 (1987) 64-81.
- [12] Baylar, A., Bagatur, T. ve Emiroğlu, M.E., *Prediction of Oxygen Content of Nappe, Transition and Skimming Flow Regimes in Stepped-Channel Chutes*, **Journal Of Environmental Engineering And Science**, 6:2 (2007) 201-208.
- [13] Baylar A. and Emiroglu ME., *The effect of sharp-crested weir shape on air entrainment*, **Canadian Journal of Civil Engineering**, 29:3 (2002) 375-383.
- [14] Emiroglu, M.E. and Baylar, A., *The effect of broad-crested weir shape on air entrainment*, **Journal of Hydraulic Research**, 41:6 (2003) 649-655.

- [15] Baylar, A., *An investigation on the use of venturi weirs as an aerator*, **Water Quality Research Journal of Canada**, 38:4 (2003) 753–767.
- [16] Baylar, A., Emiroglu, M. E. and Bagatur, T., *An experimental investigation of aeration performance in stepped spillways*, **Water and Environment Journal**, 20 (2006) 35–42.
- [17] Avery, S., and Novak, P., *Modeling of Oxygen Transfer from Air Entrained by Solid Jets Entering a Free Water*, Proc. 17th Congr. Of Int. Assn. For Hydr. Res., Delft, The Netherland, (1977), pp. 475-482.
- [18] Preul, H.C., and Holler, A.G., *Reaeration Through Low Dams in the Ohio River*, Proc. Industrial Waste Conf., Purdue Uni., South Indiana, (1969), pp.1249-1270.
- [19] Butts, T. A., and Evans, R. L., *Small Channel Dam Aeration Characteristics*, **J. Envir. Engrg**, 109:3 (1983) 555-573.
- [20] Wormleaton, P. R., and Soufiani, E., *Aeration Performance of Triangular Planform Labyrinth Weirs*, **Journal of Environmental Engineering**, 124:8 (1998) 709-719
- [21] Ünsal, M. *Suların Havalandırılmasında Yüksek Basıncılı Ve Serbest Yüzeyle Konduitlerin Kullanılması*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, 2007.
- [22] Sharma, R.H. *Air Entrainment İn High Head Gated Conduits*, **Journal of The Hydraulic Divison**, 102 (1976) 573.
- [23] Küçükali, S. *Hidrolik Sıçramanın Havalandırma Verimliliğinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, İTÜ Türkiye, 2006.
- [24] Cummings, P. D. and Chanson H., *Air entrainment in the developing flow region of plunging jets-part 1: Theoretical development*, **Journal of Fluids Engineering**, 119 (1997) 597-602.
- [25] Kırmacı, H. K. *Venturi ile ozon enjeksiyonu incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye, 2013.
- [26] Tuncay, Ö. *Venturimetrelerde sıvı enjeksiyon verimini etkileyen parametrelerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, 2005.
- [27] Özkan, F. *Basıncılı su borularında hava iletimi ve oksijen transferinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, 2005.
- [28] Lewis, W. K., Whitman, W.G. *Principles of Gas Absorption*, Proc. 68th Meeting of the American Chemical Society, Ithaca, USA, Sept. 8-13, (1924), pp. 1215-1220.
- [29] Muslu, Y., *Su Temini ve Çevre Sağlığı Cilt II*, T.C. İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, 1985.

- [30] Gulliver, J. S., Rindels, A. J., *Measurement of Air-Water Oxygen Transfer at Hydraulics Structures*, **Journal of Hydraulic Engineering**, 119:3 (1993) 328-349.
- [31] T. Bagatur, F. Önen and N. Kayaalp, *Testing of System Performance for Different Aerator Configuration Using Venturi*, **El-Cezerî Journal of Science and Engineering**, 5 (2018) 724-733.
- [32] C. Dong, J. Zhu, X. Wu and C. F. Miller, *Aeration efficiency influenced by venturi aerator arrangement, liquid flow rate and depth of diffusing pipes*, **School of Environmental Science and Engineering**, 33 (2011) 1289-1298.



Ekler-1

ÖZ GEÇMİŞ

1991 yılında Elazığ'da doğdum.

İlköğretim, ortaöğretim ve lise eğitimimi Elazığ'da tamamladım.

2010 yılında İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesine başladım.

2015 yılında üniversiteden mezun oldum.

İki yıl özel sektörde çalıştıktan sonra 2017 yılı temmuz ayında Karayolları 8.Bölge Müdürlüğü Sanat Yapıları Biriminde kontrol mühendisi olarak işe başladım. Halen bu görevime devam etmekteyim.