

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVAK HAVALANDIRICILARDA TİP SEÇİMİNİN
OKSİJEN TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

116688

Ahmet BAYLAR

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

2002

116688

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

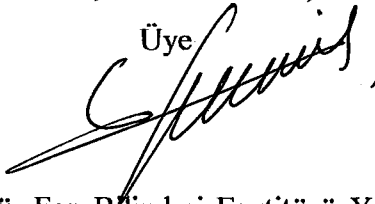
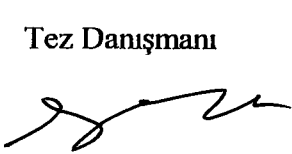
SAVAK HAVALANDIRICILARDA TİP SEÇİMİNİN
OKSİJEN TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ahmet BAYLAR

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

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

Prof. Ahmet TUNA Yrd. Doç. Dr. Bilal SELÇUK Yrd. Doç. Dr. Mualla ÖZTÜRK
Tez Danışmanı Üye Üye



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

ÖZET

Doktora Tezi

SAVAK HAVALANDIRICILARDA TİP SEÇİMİNİN OKSİJEN TRANSFERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ahmet BAYLAR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2002, Sayfa : 85

Nehir ve akarsulardaki çözülmüş oksijen miktarı, hem suyun kalitesini gösteren bir özellik olarak hem de suda yaşayan canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gereken çok önemli bir kriterdir. Hidrolik yapılar, akarsu ile kısa bir süre için temasta olmalarına rağmen, bir nehir sistemindeki çözülmüş oksijen miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Bir nehirde doğal olarak birkaç kilometrede meydana gelebilecek oksijen transferi, tek bir hidrolik yapı ile hızlı bir şekilde meydana getirilebilir. Bu hızlandırılmış oksijen transferinin asıl sebebi, çok miktarda kabarcık meydana getiren akım içerisinde havanın aktarılmasıdır. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut yüzey alanını çok miktarda artırır. Savaklardan serbest düşen jetler, bunun özel bir örneğidir ve birkaç yıldır laboratuvar ve arazide geniş bir şekilde incelenmektedir.

Bu çalışmada farklı enkesit geometrilerine sahip savaklar ve bunların, oksijen transfer verimini nasıl etkiledikleri geri devirsiz ve geri devirli sistemlerde incelenmiştir. Geri devirsiz sistemlerde üçgen enkesite sahip savakların diğer enkesitli savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu tespit edilerek nehir ve akarsularda havalandırma verimini etkili bir şekilde arttırmak için kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca üçgen savaklarda savak tepe açısının artması ile oksijen transfer veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

Geri devirli sistemlerde ise dikdörtgen, dairesel ve trapez savağın oksijen transfer verimlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. 90° üçgen savakta, küçük düşme yüksekliklerinde ve küçük debilerde diğer savaklardan daha iyi oksijen transfer verimi elde edilmiştir. Buradan, 90° üçgen savağın genellikle diğer savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu söylenebilir.

ANAHTAR KELİMELER : Oksijen transferi, Havalandırma, Çözülmüş oksijen, Oksijen eksiklik oranı, Oksijen transfer verimi, Savak

ABSTRACT

PhD Thesis

**STUDY ON THE EFFECT OF TYPE SELECTION FOR
OXYGEN TRANSFER OF WEIR AERATOR**

Ahmet BAYLAR

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2002, Page : 85

The amount of dissolved oxygen (DO) in the waters of rivers and streams is very important to the quality and existence of aquatic life. Hydraulic structures have an impact on the amount of dissolved oxygen in a river system, even though the water is in contact with the structure for only a short time. The same quantity of oxygen transfer that normally would occur over several kilometers in a river can occur at a single hydraulic structure. The primary reason for this accelerated oxygen transfer is that air is entrained into the flow, which produces a large number of bubbles. These air bubbles greatly increase the surface area available for mass transfer. Plunging overfall jets from weirs are a particular instance of this, and the aeration properties of such structures have been studied widely in the laboratory and field over a number of years.

This paper seeks weirs having different cross-sectional geometry at non-recirculating and recirculating system and how they affect the oxygen transfer efficiency. At non-recirculating system it is demonstrated that the oxygen transfer efficiency of the triangular notch weir generally is better than the other weirs. The results point that the triangular notch weir can be used to effectively increase the oxygen transfer efficiency of rivers and streams. Moreover, it is showed that the oxygen transfer efficiency of the triangular notch weir decreases with increasing weir angle.

At recirculating system it is presented that the oxygen transfer efficiency of the rectangular weir, the semi circular weir, and the trapezoidal weir are in general agreement with each other and 90° triangular notch weir generally is better than the other weirs at low drop heights and low discharges. It is demonstrated that the oxygen transfer efficiency of 90° triangular notch weir generally is better than the other weirs.

KEY WORDS : Oxygen Transfer, Aeration, Dissolved Oxygen, Oxygen Deficit Ratio, Oxygen Transfer Efficiency, Weir

ÖNSÖZ

Tez ve bilimsel çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm tez danışmanım Prof. Ahmet TUNA'ya saygılarımı sunarım.

Ayrıca, çalışmam süresince, ilgi ve desteklerini gördüğüm değerli öğretim üyelerine teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT	IV
ÖNSÖZ	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VII
TABLoların LİSTESİ	X
SİMGELER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. GAZ TRANSFERİ	8
3.1. Çift Film Teorisi	8
3.2. Oksijen Transfer Verimi	11
3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi	11
3.4. Kütle Transfer Katsayısının Tayini	13
3.5. Çözünmüş Oksijen Doygunluk Konsantrasyonu	16
3.6. Oksijen Transfer Veriminin Belirlenmesinde Gerekli Olan Bilgiler	24
4. OKSİJEN TRANSFERİNDE HİDROLİK YAPILARIN KULLANILMASI	25
4.1. İnce Kenarlı Savaklar	32
4.2. Savaklarda Debi Hesapları	32
4.2.1. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak	32
4.2.2. Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak	33
4.2.3. Üçgen şekilli savak	34
4.2.4. Trapez şekilli savak	34
4.2.5. Dairesel şekilli savak	35
5. MATERYAL VE METOT	36
5.1. Materyal	36
5.2. Deney Düzenegi	39
5.3. Oksijenmetrelerin Kullanılması	42
5.4. Deneyin Yapılışı	43
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	45
6.1. Geri Devirsiz Sistemde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar	45
6.2. Geri Devirli Sistemde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar	55
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	78
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir savak üzerinde Nakasone'nin denklemlerindeki parametrelerin gösterilmesi	5
Şekil 3.1. Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) grafiksel gösterilişi	9
Şekil 3.2. $K_L a$ 'nın grafik yolla tayini	15
Şekil 4.1. Kalın kenarlı savak	26
Şekil 4.2. İnce kenarlı savak	26
Şekil 4.3. Kapaklı dolusavak	26
Şekil 4.4. Kapaksız dolusavak	27
Şekil 4.5. Kapaklı eşik (Batmış akım durumu)	27
Şekil 4.6. Kapaklı dipsavak	27
Şekil 4.7. Doğal olarak havalandıran akım örnekleri	31
Şekil 4.8. Savak üzerindeki su napının değişimi	32
Şekil 4.9. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak	33
Şekil 4.10. Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak	34
Şekil 4.11. Üçgen şekilli savak	34
Şekil 4.12. Trapez şekilli savak	35
Şekil 4.13. Dairesel şekilli savak	35
Şekil 5.1. Savaklarda mansap su derinliğinin havalandırmaya etkisi	37
Şekil 5.2. Bir savağın hidrolik boyutları	37
Şekil 5.3. Kaskat tipi savak	38
Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan savak şekilleri	39
Şekil 5.5. Geri devirsiz sistem için deney düzeneği	40
Şekil 5.6. Geri devirsiz sistem için deney düzeneği	41
Şekil 6.1. Dikdörtgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	46
Şekil 6.2. Daire savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	47
Şekil 6.3. Trapez savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	47
Şekil 6.4. 45° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	48

Şekil 6.5. 90° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	48
Şekil 6.6. 135° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	49
Şekil 6.7. Lineer savakta (180°) havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	49
Şekil 6.8. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=1$ L/s)	50
Şekil 6.9. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=2$ L/s)	50
Şekil 6.10. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=3$ L/s)	51
Şekil 6.11. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=4$ L/s)	51
Şekil 6.12. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.15$ m)	52
Şekil 6.13. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.30$ m)	52
Şekil 6.14. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.45$ m)	53
Şekil 6.15. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.60$ m)	53
Şekil 6.16. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.75$ m)	54
Şekil 6.17. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.90$ m)	54
Şekil 6.18. Dikdörtgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	57
Şekil 6.19. Dairesel savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	57
Şekil 6.20. Trapez savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	58
Şekil 6.21. 45° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	58
Şekil 6.22. 90° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	59
Şekil 6.23. 135° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	59
Şekil 6.24. Dikdörtgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	60
Şekil 6.25. Dairesel savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	60
Şekil 6.26. Trapez savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	61

Şekil 6.27. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	61
Şekil 6.28. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	62
Şekil 6.29. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi	62
Şekil 6.30. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=1$ L/s)	63
Şekil 6.31. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=2$ L/s)	63
Şekil 6.32. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=3$ L/s)	64
Şekil 6.33. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=4$ L/s)	64
Şekil 6.34. Dikdörtgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi	65
Şekil 6.35. Dairesel savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi	65
Şekil 6.36. Trapez savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi	66
Şekil 6.37. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi	66
Şekil 6.38. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi	67
Şekil 6.39. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi	67
Şekil 6.40. Dikdörtgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi	68
Şekil 6.41. Dairesel savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi	68
Şekil 6.42. Trapez savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi	69
Şekil 6.43. 45° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi	69
Şekil 6.44. 90° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi	70
Şekil 6.45. 135° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi	70
Şekil 6.46. Dikdörtgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi	71
Şekil 6.47. Dairesel savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi	71
Şekil 6.48. Trapez savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi	72
Şekil 6.49. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi	72
Şekil 6.50. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi	73
Şekil 6.51. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi	73

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 (mg/L)	22
Tablo 3.5. Deniz seviyesinden yükseklerde çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun değişimi	23
Tablo 3.6. Deniz seviyesinde tuzluluğun çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu ile değişimi	23
Tablo 4.1. Kapaklı eşiklerde ölçülen memba ve mansap Ç. O. konsantrasyonu değerleri (Gulliver ve dig., 1998)	28
Tablo 4.2. Çeşitli hidrolik yapılarda hesaplanan E_{20} değerleri (Gulliver ve dig., 1993)	29
Tablo 4.3. Çeşitli savakların memba ve mansabında ölçülen Ç. O. konsantrasyonu değerleri (Nakasone, 1987)	30
Tablo 4.4. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savaklarda C_e	33
Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan savakların boyutları	39
Tablo 5.2. Tuzluluğa karşı gelen % değeri	42
Tablo 5.3. Barometrik basınca karşı gelen % değeri	42

SİMGELER LİSTESİ

$\frac{dC}{dt}$	: Konsantrasyon değişme hızı (mg/L/s)
$\frac{A}{V}$	: Özgül ara kesit yüzeyi
$\frac{dm}{dt}$	: Madde transfer hızı (g/s)
A	: Oksijen transferinin meydana geldiği yerdeki alan (m ²)
a	: Su kalite parametresi (kaba olarak kirlenilmiş sularda 0.65 ve temiz sularda 1.8)
a _w	: Su kalitesi faktörü (temiz su için 1.8)
b	: Savak genişliği (m)
b	: Trapez savaklarda küçük tabanın genişliği (m)
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 _e	: Savak katsayı
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	: Dairenin çapı (m)
D	: Savağın kretinden düşme yüksekliği (m)
E	: Oksijen transfer verimi (deney şartlarındaki T °C de)

E_{15}	: 15 °C deki oksijen transfer verimi
E_{20}	: 20 °C'deki oksijen transfer verimi
EL	: Ölçüm yapılan bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği (m)
F	: Froude Sayısı
f	: Kuru havada gazın hacim yüzdesi
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H	: Henry Sabiti
H	: Mansap su derinliği (m)
h	: Su yükü (m)
h	: Suyun düşme yüksekliği (m)
H_c	: Savak üzerindeki kritik su derinliği (m)
k_D	: Yayılma katsayısı
K_g	: Oksijen için difüzyon katsayısı
K_L	: a ve K_g yerine sıvı film katsayısını gösteren bir sembol
$K_{La_{20}}$	: 20 °C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) madde transfer katsayısı (1/saat)
K_{La_T}	: T °C deki madde transfer katsayısı (1/saat)
L	: Kanal uzunluğu (m)
M_a	: Gazın molekül ağırlığı (g/mol)
N_j	: Savaktan düşen serbest yüzeyli jetin gücü (W)
O_E	: Standart şartlardaki oksijen transfer verimi (kg/kW.saat)
P	: Atmosferik basınç (bar)
P	: Atmosferik basınç (mm Hg)
P	: Gaz basıncı (Pa)
P_g	: Gazın kısmi basıncı (atm)
P_w	: Buhar basıncı (Pa)
P_w	: Kısmi su buharı basıncı (bar)
P_w	: Kısmi su buharı basıncı (mm Hg)
q	: Birim genişlikten geçen debi ($m^3/s/m$)
Q	: Savak debisi (m^3/s)
R	: Reynolds Sayısı

- r : T °C deki oksijen eksiklik oranı
 r_{15} : 15 °C'deki oksijen eksiklik oranı
 r_{20} : 20 °C deki oksijen eksiklik oranı
 R : Üniversal gaz sabiti (8.3145 J / K. mol)
 s : Kapağın batma yüksekliği (m)
 t : Napın kalınlığı (m)
 t : Oksijen transferinin meydana geldiği zaman (s)
 t_u ve t_d : Kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği süreler (s)
 T : Su sıcaklığı (°C)
 T : Mutlak sıcaklık (°K)
 V : Havalandırılan suyun hacmi (m³)
 V : Oksijen transferinin meydana geldiği yerdeki hacim (m³)
 v_0 : Havanın girmesi için ihtiyaç duyulan minimum hız (1.1 m/s)
 x_g : Çözünmüş gazın dengedeki mol oranı
 α : Bir katsayı (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$)
 θ : Üçgen savaklarda tepe açısı (derece)
 θ : Üçgen labirent savaklarda tepe açısı (derece)
 ρ : Yoğunluk (kg/m³)
 η : Pompanın randıman katsayısı

1. GİRİŞ

Akarsu, göl ve rezervuarlarda en önemli su kalite parametrelerinden biri, su içindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonudur. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Fiziksel olarak oksijen transfer işlemi; oksijenin, atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılmasıdır ki buna havalandırma adı verilmektedir.

Suların havalandırılması aşağıdaki durumlarda söz konusudur:

- Demir (Fe^{++}) veya Manganın (Mn^{++}) oksidasyonu veya Amonyumun (NH_4^+) giderilmesinde,
- Sudaki belirli uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılmasında,
- Biyolojik tasfiyede lüzumlu oksijenin sisteme verilmesinde,
- Akarsu veya göllerde çözünmüş oksijen standartlarının karşılanması için sisteme oksijen verilmesinin gerektiği durumlarda,
- Su içindeki çözünmüş gazların sebep olduğu tat ve kokuların azaltılmasında,
- Suyun karbondioksit miktarının azaltılmasında.

Günümüzde çeşitli nedenlerle akarsularda oluşan çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliğinin ekolojik dengeyi tehdit ettiği bilinmektedir. Bu doğrultuda ekolojik dengeyi korumak için akarsularda gerekli olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (5 mg/L) sağlanmalıdır. Akarsular üzerinde inşa edilecek olan hidrolik yapılarla havalandırma yapılarak gerekli çözünmüş 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 yapılabilir.

Oksijen transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması gerekmektedir. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut olan yüzey alanını arttırır. 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, çözünmüş oksijen eksikliği ve savak tipi gibi ana parametrelere bağlıdır.

Hidrolik yapılarla yapılan havalandırmadan farklı havalandırma yöntemlerinde, su ve basınçlı hava pompalamak için kullanılacak elektrik enerjisi, işletme maliyetini attıracağından hidrolik yapılar ile havalandırmanın daha ekonomik olduğu söylenebilir. Birçok akarsuda doğal ortamda oksijen transferi için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu akarsular üzerinde yapılacak olan bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok kısa bir mesafede ve düşük bir maliyet ile sağlanabilir.

Bu çalışmada; su mühendisliğinde geniş uygulama alanına sahip olan ve havalandırma işlemi konusunda mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olarak gösterilen savak havalandırıcılar incelenmiştir. Savak havalandırıcılarında oksijen transferi için önemli olan savak işletim parametreleri tanımlanmış, farklı savak tipleri için geri devirsiz ve geri devirli sistemlerde oksijen transfer verimleri tespit edilmiştir. Ayrıca; 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 Araştırma Fonu (FÜNAF) tarafından desteklenmiş olup proje numarası 315'tir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

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 (1957) ve Gameson ve diğ. (1958), akarsular üzerinde inşa edilen savaklar için;

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

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) (1973), Gameson'un denklemini düzenleyerek aşağıdaki denklemi önermiştir.

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

- Avery ve Novak (1978), 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 (1988), Avery ve Novak (1978)'in geliştirdikleri denklemde mansap su yüksekliğini de dikkate alarak;

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

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

- Holler (1970), radyal kapaklı savaklar için;

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

denklemini önermektedir.

- Markofsky ve Kobus (1978), 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 (1987), savaklarda farklı akım rejimlerini tarif etmek için aşağıdaki denklemleri önermektedir.

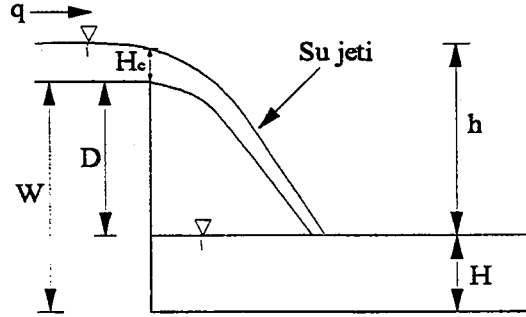
$$(D + 1.5H_e) \leq 1.2m \text{ ve } q \leq 0.65 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m} \text{ için; } E_{20} = 1 - \exp(-2.61(D + H_e)^{1.31} q^{0.428} H^{0.310}) \quad (7a)$$

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

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

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

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



Şekil 2.1. Bir savak üzerinde Nakasone'nin denklemlerindeki parametrelerin gösterilmesi

- Preul ve Holler (1969), üzerinde kapak bulunan eşikler için;

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

denklemini önermektedirler.

- Rindels ve Gulliver (1991), yuvarlatılmış (Ogee profil) kretler için;

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

denklemini önermektedirler.

- Thene (1988), savaklar için Ervine ve Elsayy (1975) ve Elsayy ve McKeogh (1977)'nin hava girişi ile ilgili buldukları denklemlerden faydalanarak;

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

denklemini önermiştir. Burada; 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 (1972), akarsular ve hidrolik yapılar için;

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

denklemini önermektedirler.

- Foree (1976), küçük su yapılarında hava girişinin dikkate alınması için Tsivoglou ve Wallace (1972)'nin denklemini aşağıdaki şekilde düzenlemiştir.

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

- Wilhelms ve Smith (1981), kapaklı dipsavak için Tsivoglou ve Wallace (1972)'nin denkleminde faydalanarak;

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

denklemini önermektedirler.

- Wilhelms (1988), üzerinde kapak bulunan eşikler için;

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

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

- Wormleaton ve Soufiani (1998), Avery ve Novak (1978)'in denklemine benzeştirerek üçgen labirent savaklar için;

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

denklemini önermektedirler. Burada; Q = savak debisi (m^3/s) ve θ = üçgen labirent savaklarda tepe açısıdır (derece).

- Wormleaton ve Soufiani (1998), üçgen labirent savaklarda büyük oksijen transfer verimlerinin hesaplanmasında ($E_{20} > 0.55$);

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

denkleminin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

- Watson ve diğ. (1998), küçük düşü yüksekliğine sahip ve üst yüzeyi taşlarla pürüzlendirilmiş savaklar için;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.00107(H/h)^{0.70} R^{0.32} F^{2.0})^{-1} \quad (17)$$

denklemini önermişlerdir.

- Butts ve Evans (1983), 54 adet küçük baraj üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucu;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0.73a b h (1 - 0.11h))^{-1} \quad (18)$$

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).

3. GAZ TRANSFERİ

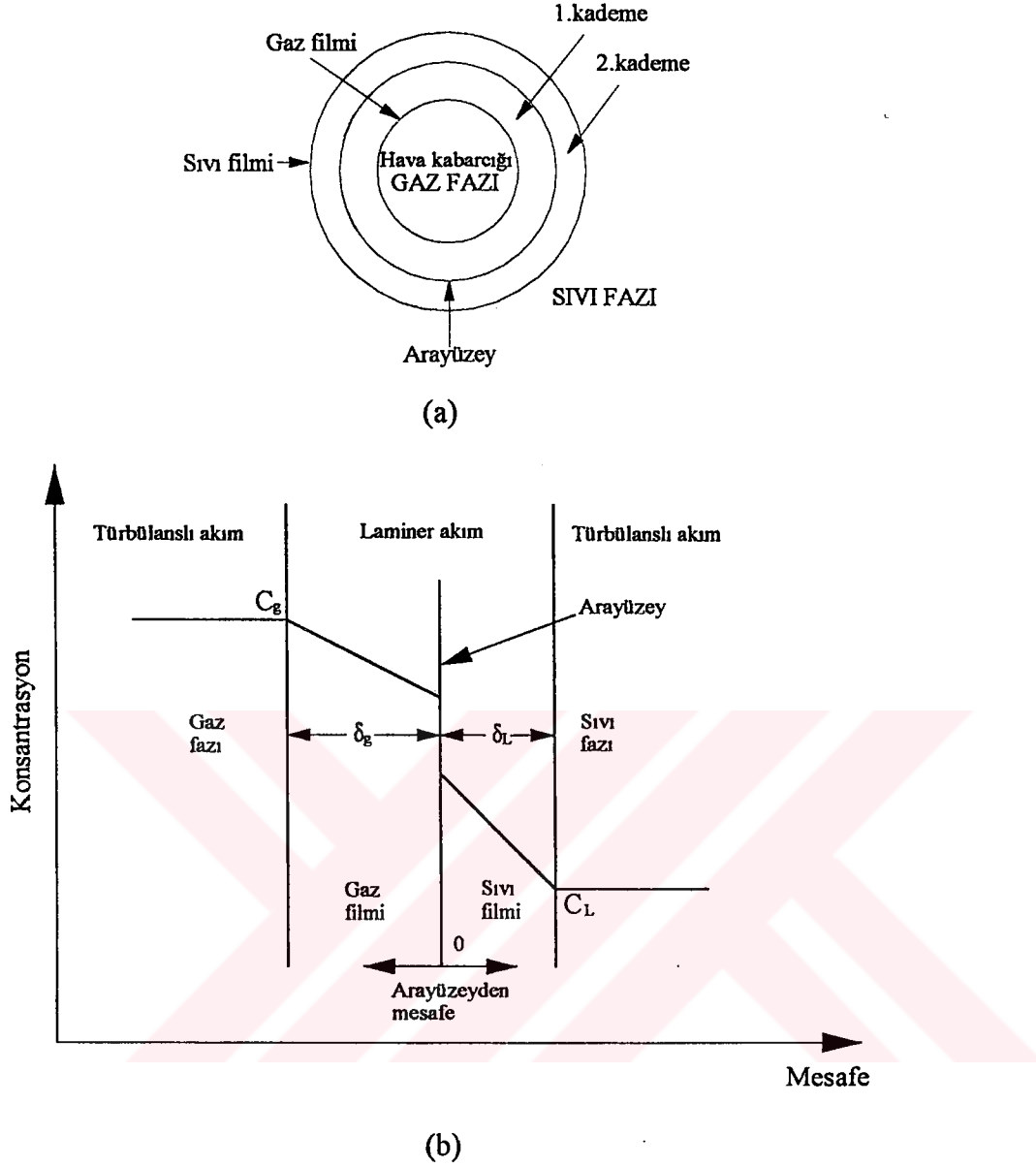
Sularda gaz transferi; suya klor, çözünmüş oksijen vb. gazları vermek veya CO_2 , H_2S gibi gazları sulardan uzaklaştırmak amacıyla yapılır. Bir gazın sudaki çözünürlüğü, gazın cinsine, suyun sıcaklığına ve sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Eğer bir sıvı ortam bir gaz veya gaz karışımlarıyla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

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.

3.1. Çift Film Teorisi

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



Şekil 3.1. Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) 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.

$$\frac{dm}{dt} = K_g A (C_s - C) \quad (19)$$

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 doymunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

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

$$\frac{dm}{dt} = V \frac{dC}{dt} \quad (20)$$

Burada; V = transfer olunan gaz hacmidir (m^3). Bu ifade (19) nolu denklemde yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dC}{dt} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (21)$$

elde edilir. Suların havalandırılması işlemlerinde gaz transferine esas direnç sıvı tarafı filmi içerisindeydir. 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 (21) nolu denklem,

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (22)$$

şeklinde yazılır. Burada; $\frac{dC}{dt}$ = konsantrasyon değışim hızı (mg/L.s), $K_L a$ = kütle transfer katsayısı, C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doymunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. $K_L a$ zamanın fonksiyonu olup (22) nolu denklemin hidrolik yapının membaındaki bir noktadan mansaba doğru integre edilmesinden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a \, dt \right] \quad (23)$$

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

3.2. Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun doygunluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneği olarak tanımlanır. (23) nolu denklem oksijen transfer verimi olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir (Gameson, 1957).

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} = 1 - \frac{1}{r} \quad (24)$$

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.

$$E_{20} = 1 - \frac{1}{r_{15}^{1.115}} \quad (25)$$

3.3. Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi

Gameson ve diğ. (1958), 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;

$$\ln(1 - E_{15}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.018(T - 15)} \quad (26)$$

ve 20 °C sıcaklıkta;

$$\ln(1 - E_{20}) = \frac{\ln(1 - E)}{1 + 0.0165(T - 20)} \quad (27)$$

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 (1971) oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini tanımlamak için aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$\ln(1 - E) = \ln(1 - E_{20})\alpha^{(T-20)} \quad (28)$$

Burada; α = bir katsayıdır (hidrolik yapılardaki oksijen transferi için $\alpha = 1.0241$). Bu denklemin hidrolik yapılar için uygun olmadığı ve Gameson ve diğ. (1958) tarafından geliştirilen denklem kadar iyi sonuçlar vermediği anlaşılmıştır (Gulliver ve diğ., 1990a).

Tebbutt ve diğ. (1977), kaskat dolusavaklar üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$\frac{(r - 1)}{(r_{20} - 1)} = \frac{E(1 - E_{20})}{E_{20}(1 - E)} = (1 + 0.0335(T - 20)) \quad (29)$$

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

Gulliver ve diğ. (1990a), oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini (30) nolu denklem ile ifade etmişlerdir.

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/r} \quad (30)$$

veya

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

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

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T-20)^2 \quad (32)$$

(30) 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

(23) 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 çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonlarının sıcaklık ile değişimi Tablo 3.4.'de verilmiştir. Bu değerler, içerisinde çeşitli maddelerin çözünmüş 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_La) sıcaklıkla değişiminin bilinmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$(K_La)_{20} = (K_La)_T (1.024)^{(20-T)} \quad (33)$$

Burada; T = sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), $(K_La)_{20}$ = 20°C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) kütle transfer katsayısı (1/saat) ve $(K_La)_T$ = $T^{\circ}\text{C}$ deki kütle transfer katsayısını (1/saat) göstermektedir. Benzer şekilde (21) nolu denklemde $K_g A$ değerine K_T' şeklinde bir kütle transfer katsayısı gözü ile bakılırsa, bunun da sıcaklıkla değişimi yukarıdaki denklemle hesaplanabilir.

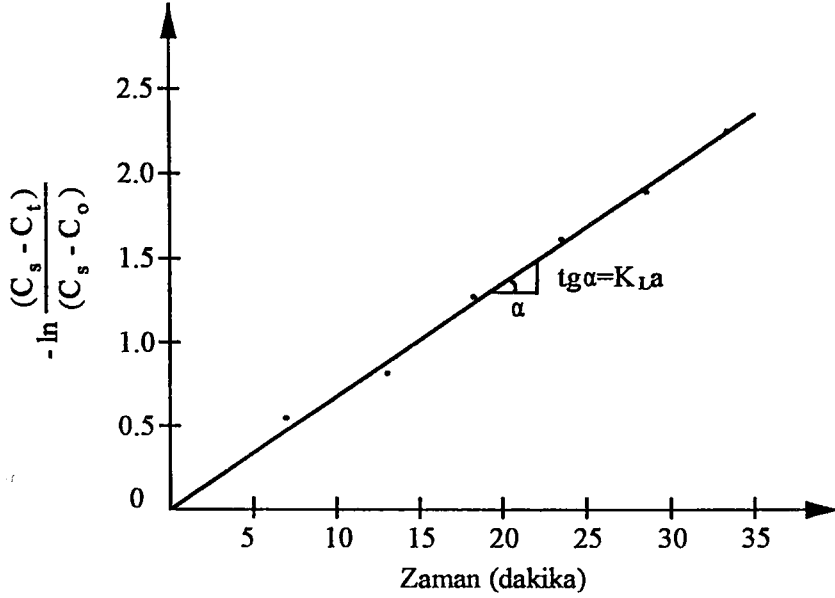
K_La 'nın tayini için sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu sodyum sülfid metoduyla sıfıra düşürülür. Bu metot, oksijenin sodyum sülfid ile yükseltgenme ilkesine dayanmaktadır. Bunun için yaklaşık olarak 1 ton suya 100gr sodyum sülfid (Na_2SO_3) ve katalizör olarak 3-5 gr kobalt klorür (CoCl_2) ilave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



Daha sonra başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında çözülmüş oksijen konsantrasyonları ölçülür. Yatay eksen zaman eksen (dakika), düşey eksen

$-\ln \frac{(C_s - C_t)}{(C_s - C_o)}$ olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasından geçirilen

doğrunun eğimi K_La 'yı verir (Şekil 3.2.). Burada C_t = Mansaptaki suyun t dakika sonundaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) ve C_o = Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. K_La grafik yolla bulunabileceği gibi, istatistik metotlar yardımıyla da bulunabilir.



Şekil 3.2. K_La 'nın grafik yolla tayini

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

$$O_R = (K_La)_{20} C_s^* \quad (35)$$

denklemini ile ifade edilir. Burada, O_R = oksijen transfer oranı (mg/L/saat) ve $C_s^* = 20^\circ\text{C}$ ve 1 atmosferdeki (standart şartlar) çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonudur (mg/L).

Bir havalandırma sisteminin verimli olup olmadığını anlamak için birim enerji sarfiyatına karşılık suya verilen oksijen miktarı bilinmelidir. Bu, standart şartlardaki oksijen transfer verimi olarak adlandırılır ve

$$O_E = O_R V / N_j \quad (36)$$

denklemini ile ifade edilir. Burada; O_E = oksijen transfer verimi (kg O_2 / kW.saat), V = havalandırılan suyun hacmi (m^3) ve N_j = savaktan düşen serbest yüzeyli jetin gücüdür (W). N_j değeri aşağıda verilen denklem ile bulunmaktadır.

$$N_j = \rho g Q h \quad (37)$$

Burada; ρ = yoğunluk (kg/m^3), g = yerçekimi ivmesi (m/s^2), Q = savak debisi (m^3/s) ve h = suyun düşü yüksekliğidir (m).

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 0.21atm olur.

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

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

$$P_g = H x_g \quad (38)$$

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

$$x_g = \frac{\text{mol gaz } (n_g)}{\text{mol gaz } (n_g) + \text{mol su } (n_{su})} \quad (39)$$

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 (Muslu, 1985)

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,

$$C_s = k_D \cdot C_g \quad (40)$$

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,

$$C_s = k_D \frac{f \cdot (P - P_w)}{R \cdot T} M_a \quad (41)$$

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

P_w buhar basıncı, sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Buna ait değerler Tablo 3.3.'de verilmektedir. Kuru havada ve deniz seviyesinde bir gazın havadaki hacim izdeleri 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 (Eroğlu, 1991)

Parametre	Mol. Ağı	Yoğunluk (0°C ve 101.3 k Pa)	Yayınma Katsayısı, k_D				Kaynama Noktası
	g/mol	kg/m ³	0°C	10°C	20°C	30°C	°C
hidrojen (H ₂)	2.016	0.08988	0.0214	0.0203	0.0195	0.0189	-253
metan (CH ₄)	16.014	0.7168	0.0556	0.0433	0.0335	0.0306	-162
azot (N ₂)	28.01	1.251	0.0230	0.0192	0.0166	0.0151	-196
oksijen (O ₂)	32.00	1.429	0.0493	0.0398	0.0337	0.0296	-183
amonyak (NH ₃)	17.03	0.771	1.300	0.943	0.763	-	-33.4
hidrojen sülfür (H ₂ S)	34.08	1.539	4.690	3.65	2.87	-	-61.8
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
su buharı	-	1.2928	0.0288	0.0234	0.0200	0.0179	-

Tablo 3.3. Sıcaklığa bağlı olarak suyun buhar basıncı (Eroğlu, 1991)

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

Çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (C_s), önemli bir su kalitesi parametresidir. Çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun doğru olarak tayin edilmesi, oksijen eksiklik oranının (r) belirlenmesinde dolayısıyla su kirlilik kontrolü işlemlerinde oldukça önemlidir (Issacs ve Gaudy, 1968).

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 (1955) tarafından geliştirilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$C_s = \frac{475 - 2.65 C_{ds}}{33.5 + T} \quad (42)$$

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

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

$$C_s = 14.652 - 0.41022 T + 0.0079910 T^2 - 0.000077774 T^3 \quad (43)$$

Burada; T = sıcaklıktır (°C). Bu denklem 0 °C ≤ T ≤ 30 °C arasındaki sıcaklıklar için kullanılabilir. Gameson'un denkleminde daha iyi sonuçlar vermektedir. Ortalama relatif hata % 0.56 ve ortalama mutlak hata 0.05 mg/L dir. Bu denklemin dezavantajı, 0 °C - 30 °C arasında sınırlandırılması ve sadece sıfır çözünmüş klorür konsantrasyonu için kullanılabilmesidir.

Yukarıdaki denklemde belirtilen dezavantajlar dikkate alındığında, Benson ve Krause (1984) tarafından geliştirilen (44) nolu denklemin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Standard Methods, 1985 ve 1989).

$$\ln(C_s) = -139.34411 + \left(\frac{1.575701 \times 10^5}{T} \right) - \left(\frac{6.642308 \times 10^7}{T^2} \right) + \left(\frac{1.243800 \times 10^{10}}{T^3} \right) - \left(\frac{8.621949 \times 10^{11}}{T^4} \right) - (C_{hl}) \left[0.031929 - \left(\frac{19.428}{T} \right) + \left(\frac{3.8673 \times 10^3}{T^2} \right) \right] \quad (44)$$

Burada; T = su sıcaklığı (°K) ve C_{hl} = ‰ klor miktarını göstermektedir.

Hua (1990), Standard Methods (1980) değerlerine göre çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunu aşağıdaki denklem ile ifade etmektedir.

$$\ln C_s = 237.30587 - \left(\frac{12349.519}{T} \right) - (1.45715916 T) + (3.762842 \times 10^{-3} T^2) - (3.5396541 \times 10^{-6} T^3) - C_{ds} \left[0.015775 - \left(\frac{5.723}{T} \right) + \left(\frac{3.631637 \times 10^5}{T^3} \right) \right] \quad (45)$$

Hua (1990) hesaplamaları kolaylaştırmak için T^2 ve T^3 terimlerini denklemden çıkarmış ve sıcaklığı $T = T (^{\circ}\text{C}) + 273$ alarak aşağıdaki yeni denklemi geliştirmiştir.

$$C_s = \exp \left[-17.015355 + 0.0226297T + (3689.38 / T) + (0.01166 - (6.544 / T)) C_{ds} \right] \quad (46)$$

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

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

$$C_{s1} = C_s \frac{P - P_w}{760} \quad (47a)$$

$$C_{u1} = C_u \frac{P - P_w}{760} \quad (47b)$$

$$C_{d1} = C_d \frac{P - P_w}{760} \quad (47c)$$

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

Eğer çözünmüş oksijen konsantrasyonu ölçümü yapılan bölgede atmosferik basınç bilinmiyorsa, bölgenin deniz seviyesinden yüksekliğine (rakım) bağlı olarak aşağıdaki denklemler kullanılabilir (White, 1979).

$$C_{s1} = C_s \left[1 - \frac{(0.0065 EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (48a)$$

$$C_{u1} = C_u \left[1 - \frac{(0.0065 EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (48b)$$

$$C_{d1} = C_d \left[1 - \frac{(0.0065 EL)}{298} \right]^{5.25} \quad (48c)$$

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

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

$$C_s = \frac{(510.2 - 0.45T)(P - P_w)}{T + 35} \quad (49)$$

Burada; T = su sıcaklığı ($^{\circ}C$), P = atmosferik basınç (bar) ve P_w = 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) (Mcghee, 1991)

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

Tablo 3.5. Deniz seviyesinden yükseklerde Ç.O. doygunluk konsantrasyonunun değişimi

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

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

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

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

3.6. Oksijen Transfer Veriminin Belirlenmesinde Gerekli Olan Bilgiler

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

- Hidrolik yapının yeri ve tipi
- Numunenin alındığı tarih
- Yapıdan geçen birim debi
- Yapının memba ve mansabı arasındaki yükseklik farkı
- Mansap su derinliği
- Eğer mevcutsa kapak açıklığı
- Ölçüm yapılan yerdeki barometrik basınç ve nisbi nem
- Yapının memba ve mansabındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu
- Sudaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu
- Su sıcaklığı

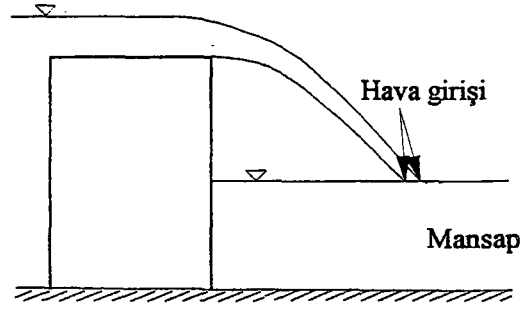
4. OKSİJEN TRANSFERİNDE HİDROLİK YAPILARIN KULLANILMASI

Havalandırma ile sulardaki çözünmüş oksijen miktarını arttıracak hidrolik yapılar; kalın kenarlı veya ince kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolusavaklar, kapaklı eşikler ve kapaklı dipsavak çıkış ağızları olmak üzere dört tiptir (Şekil 4.1., 4.2., 4.3., 4.4., 4.5. ve 4.6.). Bu hidrolik yapılar, akarsu şartları (büyüklüğü, yeri, vs.) ve akım tipine bağlı olarak yapılmalıdır (Şekil 4.7.). Şekil 4.1. ve 4.2.'de görülen savaklarda, suyun membadan mansaba düşme yüksekliğinin belirli bir kritik değeri aşması sonucu, serbest düşen su jeti parçacıklar haline gelmekte ve mansapta küçük bir penetrasyon (nüfuz) derinliği oluşturmaktadır. Dolayısıyla hava kabarcıkları ile mansap suyu daha az temas halinde olduğundan, oksijen transfer veriminin artış oranı azalmaktadır. Bu nedenle büyük düşme yüksekliğine sahip yerlerde bu tip savak yapılması uygun değildir. Ayrıca, batmış akım durumunun olduğu bir kapaklı eşikte hava girişi, dolayısıyla oksijen transferi az olacağından bu akım şartını oluşturacak bir yapı yapılması uygun değildir (Şekil 4.5.).

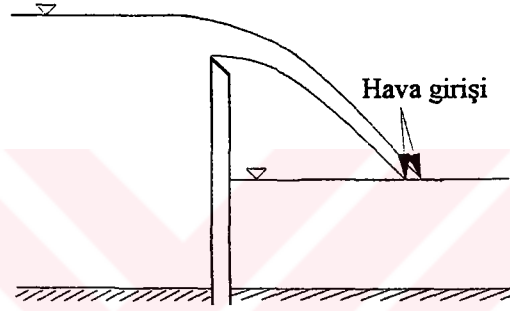
Tablo 4.1.'de kapaklı eşiklerde ölçülen memba ve mansap çözünmüş oksijen konsantrasyonu değerleri verilmiştir. Bu tabloda verilen ölçülmüş C_u , C_d ve su sıcaklığı ile oksijen transfer verimleri (E) hesaplanabilir. Ölçüm yapılan sıcaklıklara göre bulunan E değerleri 20 °C'de normalize edilerek E_{20} hesaplanabilir. Hesaplanan E_{20} değerleri ile tüm ölçümler 20 °C sıcaklıkta standart hale getirildiğinden daha iyi bir karşılaştırma yapma imkanı sağlanmış olur.

Tablo 4.2.'de (ABD) Minneapolis St. Paul Metropolitan bölgesi civarında, Mississippi nehri, Mississippi nehrinin bir kolu ve St. Croix nehrinin bir kolu üzerinde inşa edilen yükseklikleri 1-18m ve debileri 0.28-140 m³/s arasında değişen 14 adet hidrolik yapıda hesaplanmış oksijen transfer verimi değerleri verilmektedir. Bu oksijen transfer verimleri yukarıda belirtildiği gibi 20 °C sıcaklıkta standart hale getirilmiştir. Tablo 4.3.'de ise çeşitli savakların memba ve mansabında ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu değerleri verilmektedir.

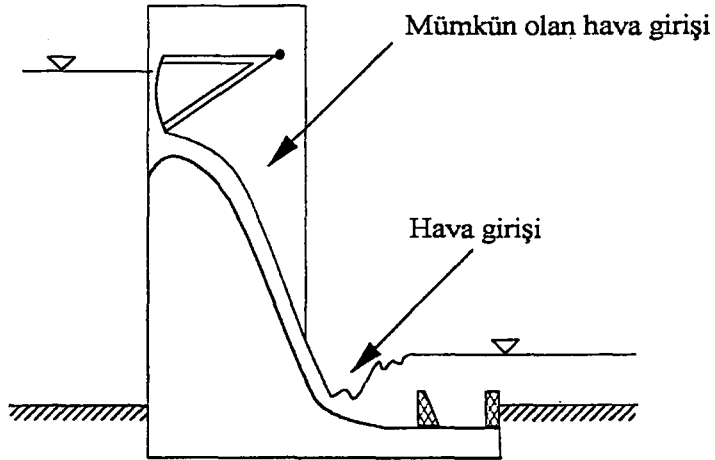
Memba



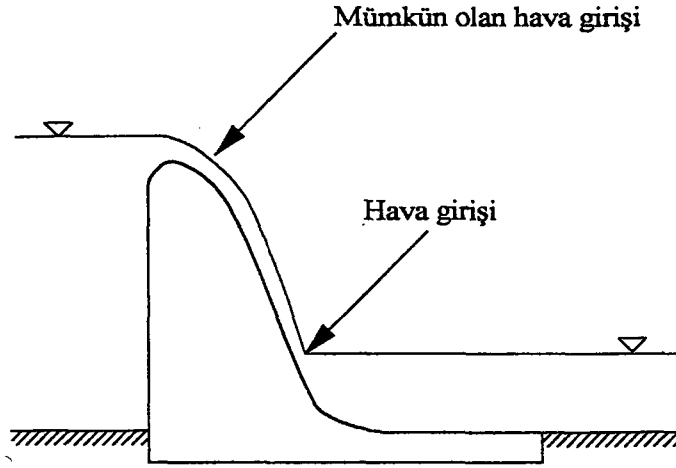
Şekil 4.1. Kalın kenarlı savak



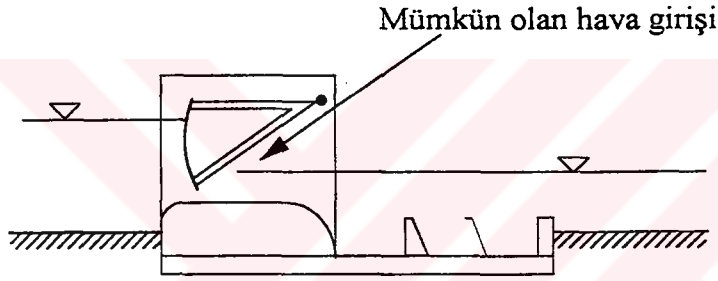
Şekil 4.2. İnce kenarlı savak



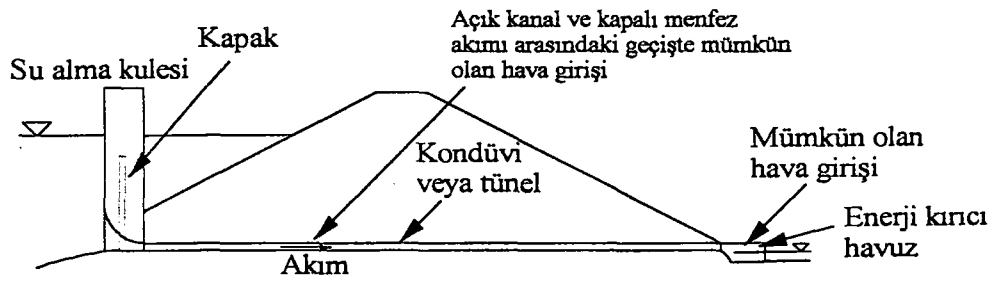
Şekil 4.3. Kapaklı dolusavak



Şekil 4.4. Kapaksız dolusavak



Şekil 4.5. Kapaklı eşik (Batmış akım durumu)



Şekil 4.6. Kapaklı dipsavak

Tablo 4.1. Kapaklı eşiklerde ölçülen memba ve mansap Ç.O. konsantrasyonu değerleri (Gulliver ve diğ., 1998)

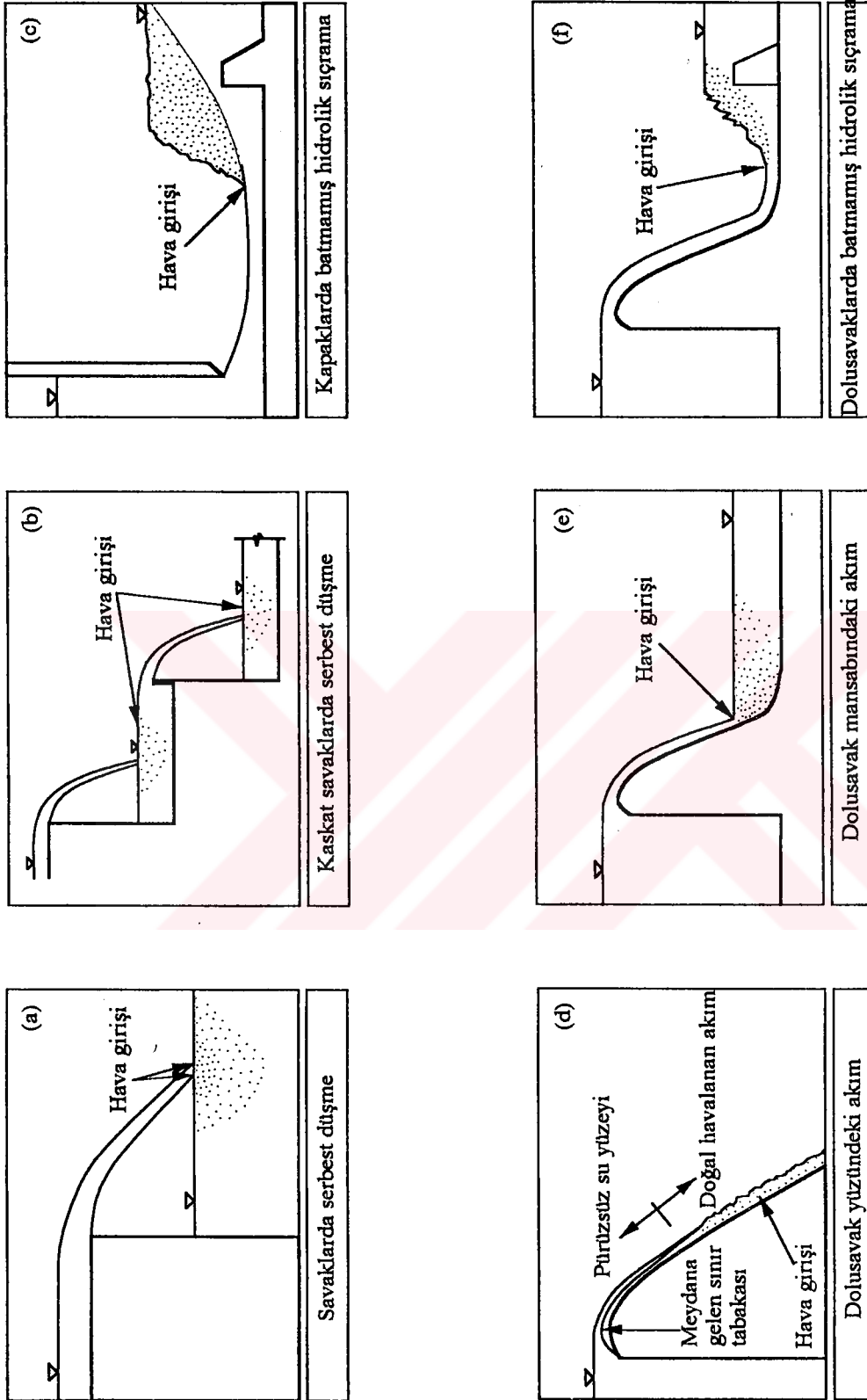
Yeri	Birim debi (m ³ /s.m)	Suyun düşme yüksekliği (m)	Kapak batma derinliği (m)	Mansap su derinliği (m)	Kapak açıklığı (m)	Memba Ç.O. kons. (mg/L)	Mansap Ç.O. kons. (mg/L)	Sıcaklık (°C)
Ouachita nehri üzerindeki Columbia eküzü ve barajı	1.39	5.36	2.10	2.26	0.15	3.9	5.0	28.3
	2.79	5.36	1.95	2.26	0.30	3.9	5.2	28.3
	4.18	5.36	1.80	2.26	0.46	3.9	5.2	28.3
	5.57	5.36	1.65	2.26	0.61	3.9	5.3	28.3
	6.97	5.36	1.49	2.26	0.76	3.9	5.4	28.3
	8.36	5.36	1.34	2.26	0.91	3.9	5.5	28.3
Ouachita nehri üzerindeki Jonesville eküzü ve barajı	1.49	7.13	1.86	2.01	0.15	4.2	4.8	29.0
	3.34	7.13	1.71	2.01	0.30	4.2	4.8	29.0
	4.83	7.13	1.55	2.01	0.46	4.2	5.3	29.0
	6.50	7.13	1.40	2.01	0.61	4.2	5.8	29.0
	7.80	7.13	1.25	2.01	0.76	4.2	6.0	29.0
Red nehri üzerindeki Red nehir eküzü ve barajı No.1	1.21	8.78	1.65	1.80	0.15	4.7	5.4	23.1
	2.42	8.78	1.49	1.80	0.30	4.7	5.4	23.1
	2.69	8.78	1.74	1.80	0.46	4.7	5.6	23.1
	3.72	8.78	1.65	1.80	0.61	4.7	5.5	23.1
	5.20	8.78	1.19	1.80	0.76	4.7	6.2	23.1
	6.22	8.78	1.04	1.80	0.91	4.7	7.3	23.1
	7.06	8.78	0.88	1.80	1.07	4.7	7.9	23.1

Tablo 4.2. Çeşitli hidrolik yapılarda hesaplanan E_{20} değerleri (Gulliver ve diğ., 1993)

Yapının adı	Yapının tipi	Suyun düşme yüksekliği h (m)	Birim debi q ($m^3/s.m$)	Oksijen transfer verimi E	Mansap su derinliği H (m)	Havalanma uzunluğu L_a (m)	Su sıcaklığı T ($^{\circ}C$)	E_{20}
Cost barajı	OGEE kretli dolusavak	4.01	0.12	0.41	0.2	3.4	0.2	0.58
		3.98	0.14	0.39	0.3	3.4	1.8	0.54
		3.96	0.16	0.41	0.3	3.4	0.2	0.58
		3.98	0.09	0.43	0.2	3.4	0.1	0.60
		3.94	0.08	0.45	0.3	3.4	0.3	0.62
		3.97	0.11	0.40	0.3	3.4	0.2	0.56
St. Could barajı	OGEE kretli dolusavak	5.32	0.66	0.53	0.2	5.8	0.7	0.70
		5.35	0.83	0.55	0.3	5.8	1.0	0.72
		4.98	1.06	0.45	0.2	3.1	0.1	0.62
		5.23	0.42	0.50	0.5	3.1	0.1	0.68
Elk nehir barajı	OGEE kretli dolusavak	4.17	0.14	0.67	1.7	4.1	0.5	0.83
		4.17	0.15	0.64	1.7	4.0	0.2	0.81
		4.32	0.13	0.58	1.5	4.0	0.5	0.75
		3.69	0.18	0.59	2.2	4.0	1.5	0.75
		4.47	0.21	0.56	1.4	4.0	0.3	0.74
		4.58	0.14	0.59	1.3	4.0	0.5	0.76
Amery barajı	Kapaklı eşik	4.52	0.17	0.56	1.3	4.0	0.1	0.74
		3.32	2.04	0.39	0.0	7.6	0.7	0.55
Loon Rapids barajı	OGEE kretli dolusavak	3.79	1.25	0.50	0.9	0.0	0.5	0.67
		3.79	1.25	0.60	4.2	0.0	0.5	0.77
		2.20	1.74	0.51	2.7	0.0	0.3	0.68
Shady Lake barajı	OGEE kretli dolusavak	5.16	0.13	0.65	1.2	3.4	0.1	0.82
		5.16	0.14	0.68	1.3	3.4	0.1	0.84
New Richmond barajı	Yarıktan sızma	3.09	0.11	0.48	1.5	4.6	0.2	0.65
Northfield barajı	OGEE kr. Dolusa.	2.75	0.05	0.50	0.7	2.7	0.5	0.67
Minnehaha kont. yapısı	Radyal kapak	0.67	1.44	0.28	0.4	-	0.1	0.41
Lapidan barajı	OGEE kr. Dolusa.	17.69	-	0.93	0.3	18.3	1.1	0.99
Byllesby barajı	Bileşik yapı	16.52	-	0.92	0.3	16.5	1.0	0.98
Faribault Woolen değirmeni	OGEE kretli dolusavak	2.77	0.08	0.28	0.3	1.8	0.8	0.41
		2.62	0.13	0.33	0.5	1.8	1.7	0.46
		2.75	0.10	0.37	0.4	1.8	0.02	0.53
		2.75	0.08	0.43	0.3	1.8	0.2	0.60
Anaka Rum nehri	Kapaklı OGEE kretli dolusavak	4.00	0.74	0.63	3.6	0.3	0.1	0.80
		3.97	1.02	0.65	3.5	0.3	0.1	0.82
		3.85	1.70	0.68	3.7	0.3	0.1	0.84
		3.74	2.35	0.54	3.8	0.3	0.1	0.72
		3.73	2.96	0.44	3.7	0.3	0.1	0.61
		3.63	3.21	0.40	3.8	0.3	0.1	0.56
		4.10	0.89	0.68	3.5	0.3	0.1	0.84
		3.15	0.41	0.62	3.6	0.3	0.2	0.79
		3.16	0.37	0.68	3.6	0.3	0.2	0.84
		3.13	0.60	0.59	3.6	0.3	0.2	0.76
	Savak	3.14	0.18	0.57	-	-	0.2	0.75
		3.14	0.18	0.59	-	-	0.2	0.76
		3.13	0.20	0.57	-	-	0.2	0.75
		3.13	0.20	0.55	-	-	0.2	0.73
Tukarı Mississippi klüzü ve barajı No.2	OGEE kr. Dolusa.	3.23	0.20	0.55	3.4	-	2.0	0.70
	Savak	3.23	1.40	0.40	4.5	-	2.0	0.54

Tablo 4.3. Çeşitli savakların memba ve mansabında ölçülen Ç.O. konsantrasyonu değerleri (Nakasone, 1987)

Yapının adı	T (°C)	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	q (m ³ /m.s)	h (m)	H (m)
Borgharen savağı	21	5.38	7.81	1.04	5.03	0.67
	19	5.41	8.11	1.54	5.00	0.85
	6	9.89	10.85	1.32	4.89	1.01
	18	6.89	8.26	2.33	4.44	1.51
	17	4.97	8.43	0.16	5.71	0.30
	19	6.22	7.12	1.89	4.75	0.96
	15	6.15	8.78	1.01	4.66	1.07
	12	7.20	9.39	0.70	4.90	0.79
	20	6.10	7.96	0.93	4.90	1.54
	20	5.13	7.87	0.81	4.78	0.90
	20	4.24	7.87	0.13	5.78	0.20
	9	5.37	9.62	0.07	5.39	0.00
	15	7.71	7.81	1.67	4.80	1.03
	12	5.42	9.28	0.25	5.55	0.45
	12	5.11	9.07	0.23	5.63	0.26
	12	8.66	9.39	2.81	4.09	1.71
	20	6.01	7.87	1.32	4.84	1.06
	19	5.14	7.57	3.00	4.69	0.89
	18.5	6.01	8.10	1.09	5.21	0.71
	11	6.83	9.28	0.39	5.38	0.48
	21.5	5.42	7.66	0.33	5.71	0.34
	19	4.96	8.11	0.52	5.41	0.45
	18.5	5.82	7.83	0.56	5.35	0.60
	15.5	5.60	8.31	0.67	5.27	0.67
	21	5.03	7.81	1.04	4.97	0.92
	23.5	5.91	7.40	0.19	5.62	0.32
	11	6.94	9.50	0.68	5.25	0.68
	11	7.26	9.40	1.17	4.78	0.95
	9	7.94	9.85	1.48	4.66	1.11
	17	5.53	8.34	0.83	4.96	0.75
	17	6.28	8.43	1.55	4.46	1.14
	24	4.37	7.18	0.52	5.29	0.56
	21	5.38	7.38	0.57	5.19	0.59
	12	6.05	8.55	0.51	5.17	0.55
Lith savağı	9	8.84	9.06	7.83	1.52	7.48
	13	6.22	6.63	6.01	1.73	6.90
Hague kaskatı	10.1	3.1	8.7	0.0273	1.00	H=2/3h
Nakasone	26.8	7.21	7.33	0.0114	0.54	0.25
	28.1	6.58	6.81	0.741	0.82	1.06
	24.3	7.73	7.83	0.133	0.86	0.34
	31.2	8.15	7.72	0.0769	1.00	0.63
	24.3	7.50	7.83	0.145	1.98	0.41
	25.7	7.10	7.17	0.0894	0.24	0.40
Gannon	32	1.87	4.43	0.84	1.53	0.15
Novak	14	$r_{20} = 1.29$		0.12	0.66	H=2/3h
	14	$r_{20} = 1.56$		0.088	0.66	H=2/3h
	14	$r_{20} = 1.29$		0.12	0.61	H=2/3h
	14	$r_{20} = 1.38$		0.088	0.61	H=2/3h
	0	$r_{20} = 1.83$		3.08	3.72	H=2/3h
	20	$r_{20} = 2.87$		10.12	8.41	H=2/3h
	20	$r_{20} = 1.78$		6.28	4.57	H=2/3h

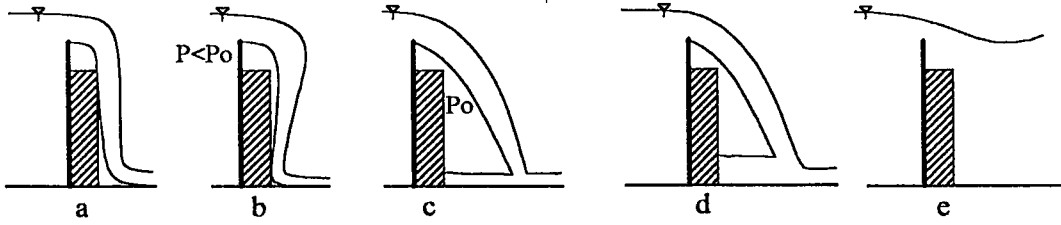


Şekil 4.7. Doğal olarak havalandırılan akım örnekleri

4.1. İnce Kenarlı Savaklar

Bir savak eksik bir orifis sayılabilir. Eşiğin suya temas eden kısmının boyutları, eşik üstünden geçen su napının kalınlığına nazaran ihmal edilebilecek gibi ise savak ince kenarlı, diğer hallerde de kalın kenarlı adını almaktadır.

Memba tarafında, yaklaşma bölgesinden uzakta, serbest yüz kotu ile savak kret kotu arasındaki fark su yükünü (h) vermektedir.



Şekil 4.8. Savak üzerindeki su napının değişimi

Küçük yüklerde su napı, savak cidarına yapışır ve havanın altından geçmesine engel olur (Şekil 4.8.a). Yük artarsa, nap cidardan ayrılmaya yönelir; bu durumda hava yeterli miktarda girmiyorsa napın altında kararsız bir bölge teşekkül eder ve nap alçak basınçlı adını alır (Şekil 4.8.b). Hava napın altına serbestçe girebiliyor ve akım tarafından sürüklenen havanın devamlı olarak yeri dolduruluyorsa serbest nap meydana gelir (Şekil 4.8.c). Sürüklenen havanın yeri herhangi bir sebepten dolayı tamamen dolduruluyorsa dökülen napın membaındaki su seviyesinde bir yükselme görülür ve nap alttan batmış adını alır (Şekil 4.8.d). Mansap tarafındaki seviye arttırılırsa batmış nap meydana gelir (Şekil 4.8.e).

4.2. Savaklarda Debi Hesapları

4.2.1. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak

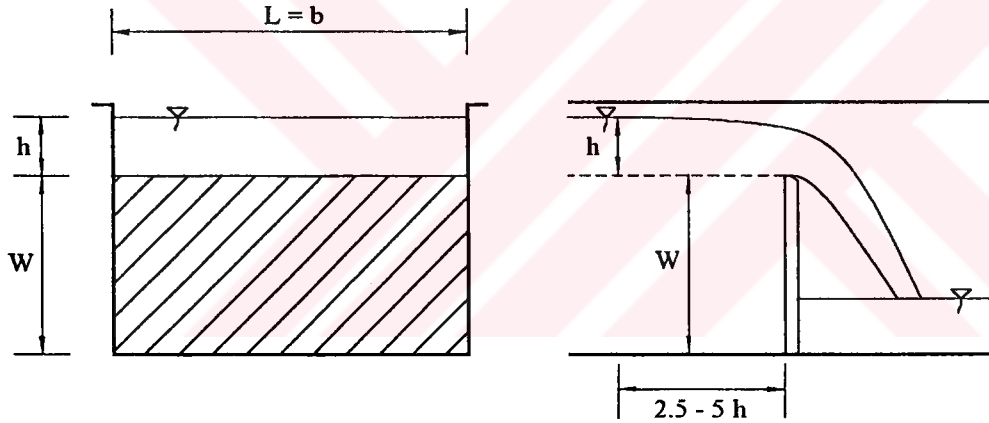
İnce kenarlı yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savaktan geçen debi Q (m^3/sn),

$$Q = C_e \frac{2}{3} b h \sqrt{2gh} \quad (50)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada; b = savak genişliği (m), h = su yükü (m), g = yerçekimi ivmesi (m/s^2) ve C_e = savak katsayısıdır. C_e değerleri b/L oranına bağlı olarak Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savaklarda C_e

b/L	C_e
1.0	$C_e = 0.602 + 0.075 h / W$
0.9	$C_e = 0.599 + 0.064 h / W$
0.8	$C_e = 0.597 + 0.045 h / W$
0.7	$C_e = 0.595 + 0.030 h / W$
0.6	$C_e = 0.593 + 0.018 h / W$
0.5	$C_e = 0.592 + 0.011 h / W$
0.4	$C_e = 0.591 + 0.0058 h / W$
0.3	$C_e = 0.590 + 0.0020 h / W$
0.2	$C_e = 0.589 - 0.0018 h / W$
0.1	$C_e = 0.588 - 0.0021 h / W$
0	$C_e = 0.587 - 0.0023 h / W$



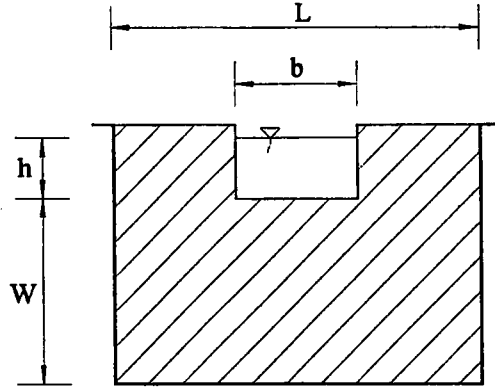
Şekil 4.9. Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak

4.2.2. Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak

$b > 3h$ ve kenar büzülme $> 3h$ olması halinde, ince kenarlı yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savaktan geçen debi (m^3/sn),

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b - 0.2h) h^{3/2} \quad (51)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada; $C_e \cong 0.611$ 'dir.



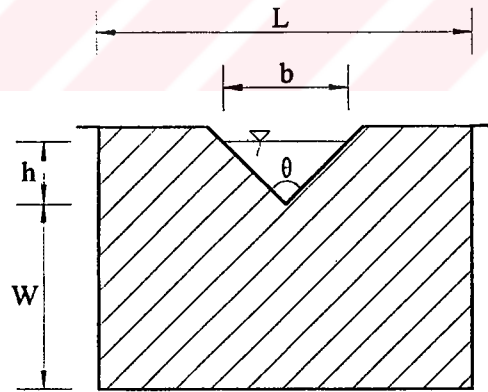
Şekil 4.10. Yanal büzölmeli dikdörtgen şekilli savak

4.2.3. Üçgen şekilli savak

İnce kenarlı üçgen şekilli savaktan geçen debi (m^3/sn),

$$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{5/2} \quad (52)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada; θ = tepe açısıdır (derece). C_e değerleri açı değişimine bağlı olarak TS 2777’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Üçgen şekilli savak

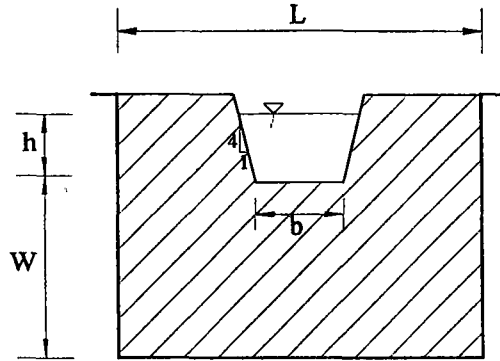
4.2.4. Trapez şekilli savak

Cipoletti savağı denilen trapez savak genellikle küçük tabanı aşağıda olan eşkenar bir trapez şekline sahiptir. Kenarlar, büzölme ortadan kalkacak şekilde eğimlendirilmiştir.

Bu da kenarların 1/4 (yatay/düşey) eğimi için mümkündür. İnce kenarlı trapez şekilli savaktan geçen debi (m^3/sn),

$$Q = 1.86 b h^{3/2} \quad (53)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada; b = küçük tabanın genişliğidir (m).



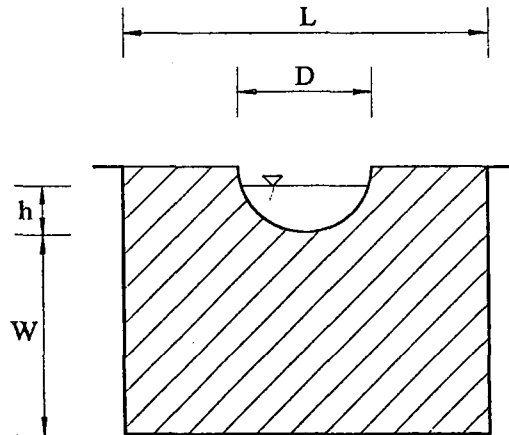
Şekil 4.12. Trapez şekilli savak

4.2.5. Dairesel şekilli savak

İnce kenarlı dairesel şekilli savaktan geçen debi (m^3/sn),

$$Q = \left[0.555 + \frac{D}{110h} + 0.041 \frac{h}{D} \right] \left(\frac{2D}{L} \right)^{0.0625} \left[3.203 \left(\frac{h}{D} \right)^{1.975} - 0.842 \left(\frac{h}{D} \right)^{3.78} \right] D^{5/2} \quad (54)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada; D = dairenin çapı (m) ve L = kanal uzunluğudur (m).



Şekil 4.13. Dairesel şekilli savak

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

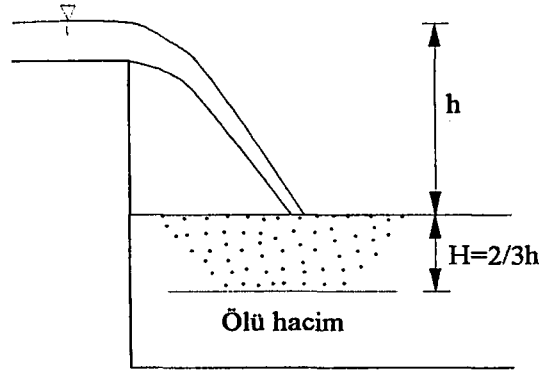
Savak havalandırıcılarda oksijen transferini etkileyen parametreler; su kalitesi, su sıcaklığı, mansap su derinliği, savak üzerindeki suyun düşme yüksekliği, hidrolik savak yükü (debi), çözünmüş oksijen eksikliği ve savak tipleri olarak sayılabilir. Bu çalışmada bu parametreler dikkate alınarak laboratuarda çeşitli savak tipleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney verileri kullanılarak savakların oksijen transfer verimleri belirlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

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.

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 diğ. (1990a) tarafından önerilen (30) nolu denklem kullanılarak oksijen transfer verimleri (E) 20 °C’de normalize edilmiştir. Geri devirli sistemlerde ise (33) nolu denklem ile $(K_{La})_{20}$ değerleri bulunarak oksijen transfer verimleri (OE) 20 °C’de normalize edilmiştir.

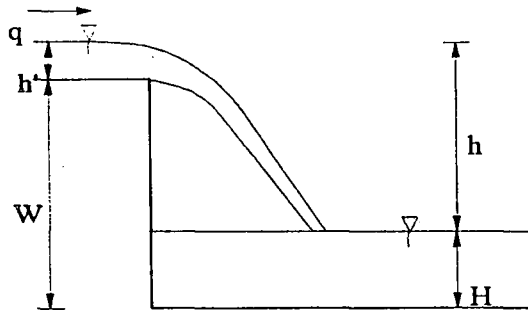
Yapılan çeşitli araştırmalarda mansap su derinliğinin savak havalandırması için önemli bir faktör olduğu ve mansap su derinliğinin artması ile oksijen transfer veriminin artacağı saptanmıştır. Bununla beraber mansap su derinliği için bir sınır bulunmaktadır. Çünkü suyun içine giren hava kabarcıkları sonsuz derinliklere gitmeyecektir. Böylelikle debi ve suyun düşme yüksekliğine bağlı olarak hava kabarcıklarının girebileceği maksimum bir derinlik olacaktır. Pöpel (1974) ve Albrecht (1969) mansap su derinliğinin fazla olduğu durumlarda, $2/3h$ dan daha büyük mansap suyu derinlikleri için oksijen

transfer veriminin sabit kaldığını tespit etmişlerdir (Şekil 5.1.). Yapılan deneylerde yukarıda belirtilen şartlar dikkate alınarak mansap su derinliği seçilmiştir.

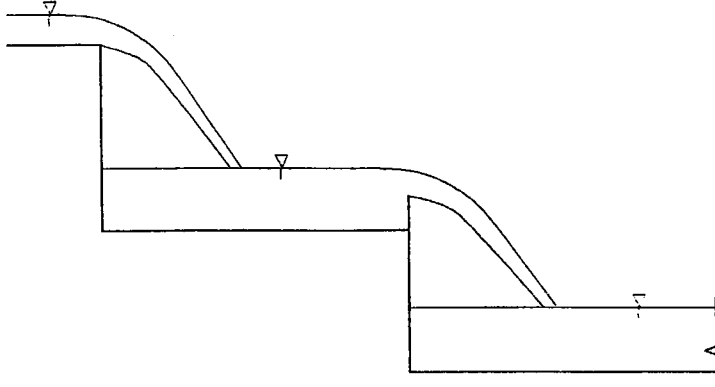


Şekil 5.1. Savaklarda mansap su derinliğinin havalandırmaya etkisi (Nakasone, 1987)

Kroon (1969), savaklarda oksijen transfer verimi ile suyun düşme yüksekliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir (Şekil 5.2.). Bu incelemeleri sonucu suyun düşme yüksekliğinin belli bir değere kadar artması ile oksijen transfer veriminin arttığını ve bu değerden büyük düşme yüksekliklerinde ise oksijen transfer veriminin azaldığını tespit etmiştir. Bunun nedeni; başlangıçta jetin pürüzsüz olması daha sonra suyun düşme yüksekliğinin artması ile jetin pürüzlü hale gelmesi ve suyun düşme yüksekliğinin artmaya devam etmesi ile jette dalgalanmaların ve kopmaların oluşmasıdır. Bundan dolayı hava kabarcıkları daha az derinliklere ulaşacak ve su ile olan temas yüzeylerinin azalması ile oksijen transfer verimi de düşecektir. Kroon (1969)'un bulduğu suyun düşme yüksekliğinin geçiş değeri 0.8 - 1.0 m arasındadır. Bu değerlerden daha büyük düşme yükseklikleri için kaskat tipi savak önerilmektedir (Şekil 5.3.). Bu çalışmada suyun düşme yüksekliği 0.15- 0.90 m arasında değiştirilmiştir.



Şekil 5.2. Bir savağın hidrolik boyutları



Şekil 5.3. Kaskat tipi savak

Novak (1973 - 1978) ve Kroon (1969), geri devirsiz sistemlerde oksijen transfer veriminin debinin artması ile azaldığını gözlemlemişlerdir. Bununla beraber, jette kırılmalar meydana getirebilecek kadar küçük debilerde ise suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer verimi azalmaktadır. Bunun nedeni hava kabarcıklarının daha az derinliklere ulaşacak olması sebebiyle su ile olan temas yüzeyleri azalacak ve dolayısıyla oksijen transfer verimi de düşecektir. Bu çalışmada debi 1-4 L/s arasında değiştirilmiştir. Suyun düşme yüksekliğinin artması ile jette kırılmaların oluşmaması için minimum debi 1 L/s olarak seçilmiştir.

Geri devirsiz sistemlerde yapılacak deneyler için membranın çözünmüş oksijen konsantrasyonunun (C_u) oksijen transfer verimi üzerinde etkisi yoktur. Fakat doygunluk değerine yakın bir memba çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile sağlıklı bir deney yapmak mümkün değildir (Wormleaton and Soufiani, 1998). Geri devirsiz sistemlerde uygun bir deney gerçekleştirmek için deney başlangıcında ($C_s - C_u$) değerinin 2.5 mg/L'den daha büyük olması gerekmektedir (Gulliver ve Wilhelms 1992). Yapılan deneylerde kullanılan suyun çözünmüş oksijen eksikliği, sodyum sülfat (Na_2SO_3) ve kobalt klorür ($CoCl_2$) kullanılarak bu seviyeye getirilmiştir. Geri devirli sistemlerde ise bu kimyasal maddeler kullanılarak suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu sıfırlanmıştır.

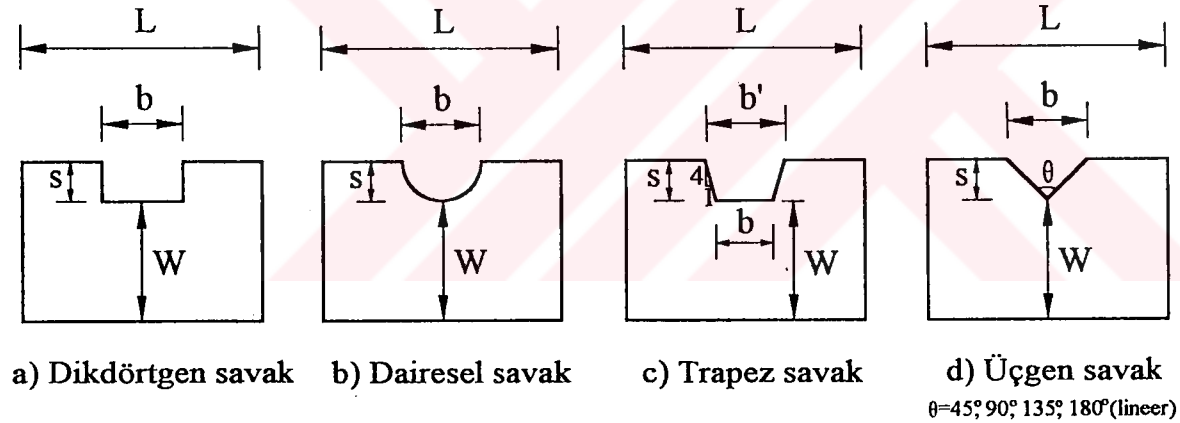
Savak şekli, oksijen transfer verimini etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü savak şekli ve debiye bağlı olarak jet şekli değişmektedir. Jet şeklinin değişmesi ile suya girecek hava miktarı, dolayısıyla oksijen transfer verimi değişmektedir. Bu çalışmada dikdörtgen, dairesel, trapez, 45° üçgen, 90° üçgen, 135° üçgen ve lineer savak tipleri kullanılmıştır.

5.2. Deney Düzenegi

Savak tipine bağı olarak oksijen transfer verimini tayin etmek amacıyla Şekil 5.5.'de ve Şekil 5.6.'da görüldüğü gibi geri devirsiz ve geri devirli olmak üzere iki deney düzenegi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan savak tipleri; dikdörtgen, dairesel, trapez, 45° üçgen, 90° üçgen, 135° üçgen ve lineerdir (Şekil 5.4.). Tablo 5.1.'de bu savakların boyutları verilmiştir.

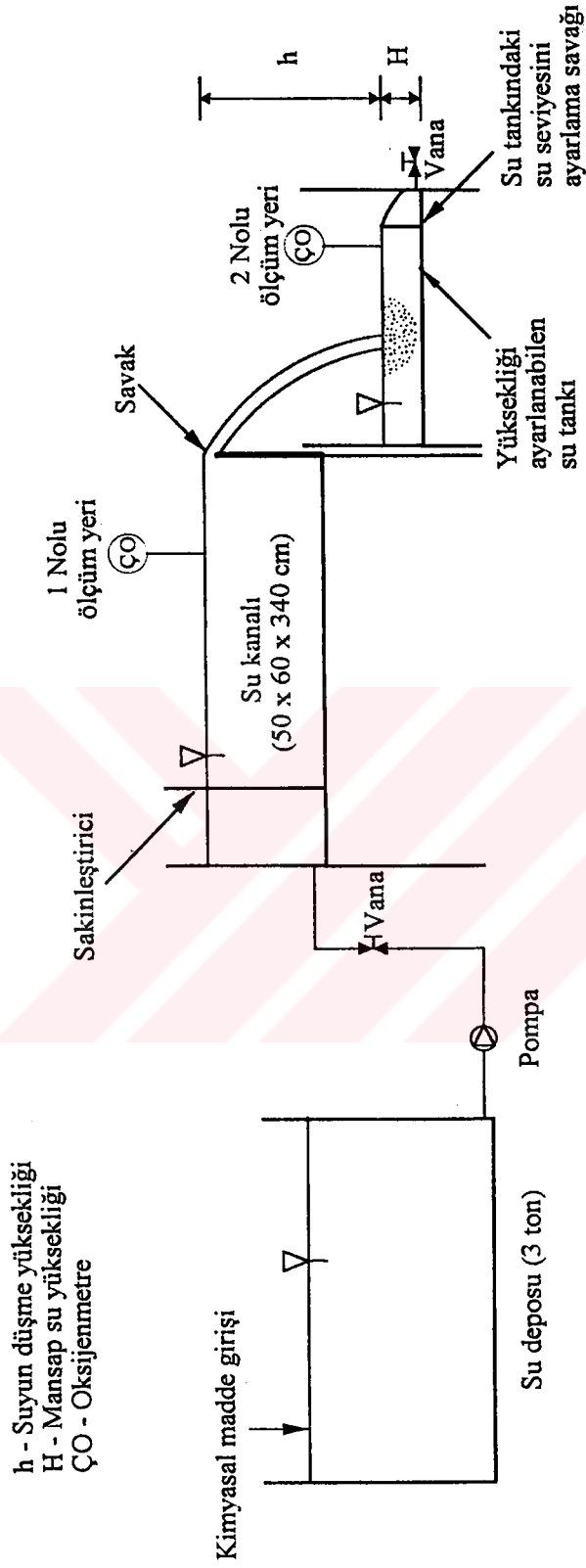
Tablo 5.1. Deneylerde kullanılan savakların boyutları

Savak tipi	L (cm)	b (cm)	s (cm)	W (cm)
Dikdörtgen savak	60.0	20.0	10.0	40.0
Dairesel savak	60.0	20.0	10.0	40.0
Trapez (Cipolletti) savak	60.0	15.0 (b'=20.0)	10.0	40.0
45° Üçgen savak	60.0	14.5	17.5	32.5
90° Üçgen savak	60.0	20.0	10.0	40.0
135° Üçgen savak	60.0	48.3	10.0	40.0
Lineer savak ($\theta=180^\circ$)	60.0	60.0	-	40.0



Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan savak şekilleri

Geri devirsiz deney düzeneginde; deneylerde kullanılacak suyu temin etmek için üç tonluk bir su deposu, suyu kanala vermek için su pompası, su kanalı (0.50 m yüksekliğinde, 0.60 m genişliğinde ve 3.4 m uzunluğunda), pompadan çıkan suyun kanalda türbülans meydana getirmesini önlemek için sakinleştirici, su kanalının çıkışında savak, savaklanan suyun düştüğü yüksekliği ayarlanabilen bir su tankı (0.60 x 0.60 x 0.60 m) ve su tankındaki su seviyesini ayarlamak için bir yan savak mevcuttur. Ayrıca su kanalına verilecek debiyi ayarlamak için su kanalının giriş kısmına ve suyu dren edebilmek için de su tankına birer vana konmuştur.



Şekil 5.5. Geri devirsiz sistem için deney düzeneği

5.3. Oksijenmetrelerin Kullanılması

Memba ve mansaptaki çözünmüş 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 kalibre edilmiştir. Bunun nedeni eğer prob kuru havada tutularak kalibre edilecek olursa yaklaşık % 2 hata oluşacaktır ki bu kabul edilemez bir hatadır. Kalibre işleminde % doygunluk değeri ayarlanırken, sudaki tuzluluk ve ölçüm yapılan yerdeki barometrik basınç dikkate alınmıştır. Bunun için aşağıdaki tablolardan yararlanılmıştır (Tablo 5.2. ve 5.3.).

Tablo 5.2. Tuzluluğa karşı gelen % değeri

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 5.3. Barometrik basınca karşı gelen % değeri

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 değerin 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 mahalde atmosfer basıncı yaklaşık 677 mm Hg ve ortalama nisbi nem ise yaklaşık % 73 olarak tespit edilmiştir.

Geri devirsiz sistemde yapılan deneylerde su deposuna doldurulan suyun (C_s-C_u) değerinin, sodyum sülfid (Na_2SO_3) ve kobalt klorür ($CoCl_2$) kullanılarak 2.5 mg/L'den daha büyük olması sağlanmıştır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu azaltılmış bu su bir su pompası ile su kanalına verilmiştir. Su kanalının girişine konulan bir vana ile savaktan geçirilecek debi ayarlanmıştır. Kanaldaki su, farklı tipteki savaklardan belirli düşme yükseklikleri ve debilerde, yüksekliği ayarlanabilen su tankındaki suya çarptırılarak oksijen transferi sağlanmıştır. Su tankındaki su seviyesini ayarlamak için bir yan savak yerleştirilmiştir. Yan savaktan savaklanan su, su tankının yan kısmındaki vana ile tahliye edilmiştir. Membadaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu 1 nolu ölçüm yerinde ve mansaptaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ise 2 nolu ölçüm yerinde oksijenmetre ile tespit edilmiştir.

Geri devirli sistemde ise geri devirsiz sistemde olduğu gibi kanaldaki su, farklı tipteki savaklardan belirli düşme yükseklikleri ve debilerde, yüksekliği ayarlanabilen su tankındaki suya çarptırılarak oksijen transferi sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan su, "Deney Düzenegi" bölümünde anlatıldığı gibi sisteme dışarıdan alınmıştır. Her deneyin başlangıcında sistemdeki suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu su kanalı içerisine sodyum sülfid (Na_2SO_3) ve kobalt klorür ($CoCl_2$) ilave edilerek sıfırlanmıştır. Su kanalının girişine yakın bir yere konulan bir vana ile savaktan geçirilecek debi ayarlanmıştır. Su tankındaki su seviyesini ayarlamak için bir yan savak yerleştirilmiş ve yan savaktan savaklanan fazla su, su tankının yan kısmındaki vana ile tahliye edilmiştir. Su tankına çarptırılan su bir su pompası ile su kanalına verilerek sistem içerisinde sürekli bir devir

yaptırılmıştır. Sistemdeki suyun çözünmüş 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.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Geri Devirsiz Sistemde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

Memba ve mansapta ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonları (C_a ve C_d) kullanılarak (23) nolu denklemden oksijen eksiklik oranları (r) hesaplanmış ve bu oksijen eksiklik oranları yardımıyla da (24) nolu denklemden oksijen transfer verimleri (E) elde edilmiştir. Çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonları (C_s) su sıcaklığına bağlı olarak Tablo 3.4.'den alınmış ve (47a) denklemini kullanılarak deney şartlarına göre çevrilmiştir. Daha sonra hesaplanan oksijen transfer verimleri (30) nolu denklem kullanılarak 20 °C'de normalize edilmiştir (EK-1.). Değişik tipteki savaklarda elde edilen oksijen transfer verimleri (E_{20}) aşağıda karşılaştırılmıştır:

Dikdörtgen savakta en düşük oksijen transfer verimi elde edilmiştir. Dikdörtgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi, 1 L/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.37 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.1.).

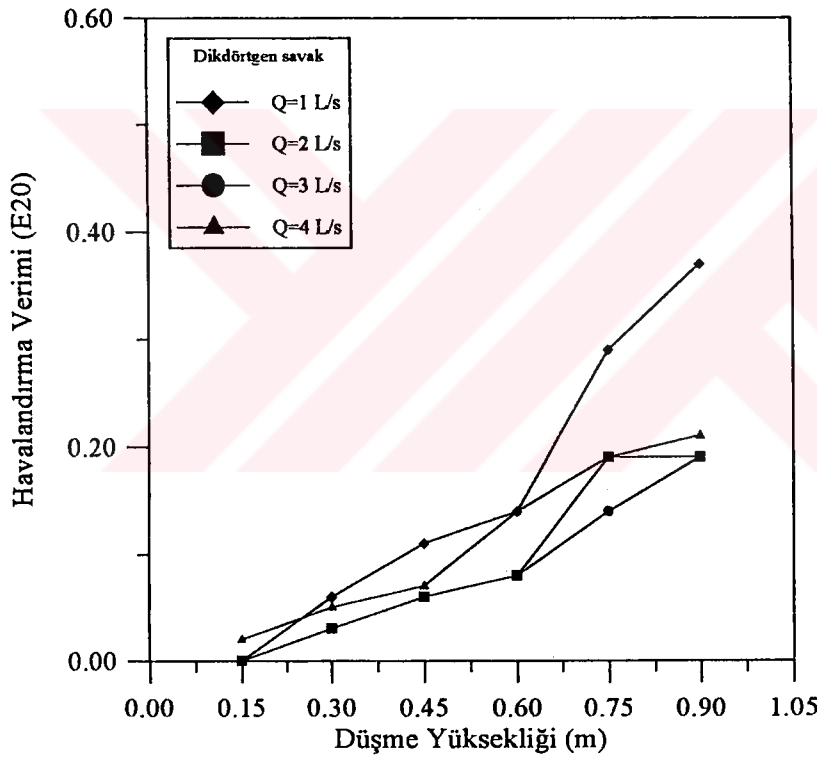
Dairesel savak ile trapez savakta elde edilen oksijen transfer verimi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Dairesel ve trapez savakta en yüksek oksijen transfer verimi, 1 L/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.41 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.2.-6.3.).

Üçgen savaklarda diğer savak tiplerinden daha iyi oksijen transfer verimi değerleri bulunmuştur. Tepe açının azalması ile oksijen transfer verimi artmıştır. Üçgen savaklarda suyun düşme yüksekliği ve debiye bağlı olarak açı değişiminin oksijen transfer verimi ile ilişkisi Şekil 6.12-6.17.'de verilmiştir. 45° üçgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi 1 L/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.50, 90° üçgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi 2 L/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.50 ve 135° üçgen savakta en yüksek oksijen transfer verimi 1 L/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde 0.46 elde edilmiştir (Şekil 6.4.-6.6.). Ayrıca lineer savakta (180°) ise 1 L/s debi ve 0.90 m düşme yüksekliğinde oksijen transfer verimi 0.46 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.7.).

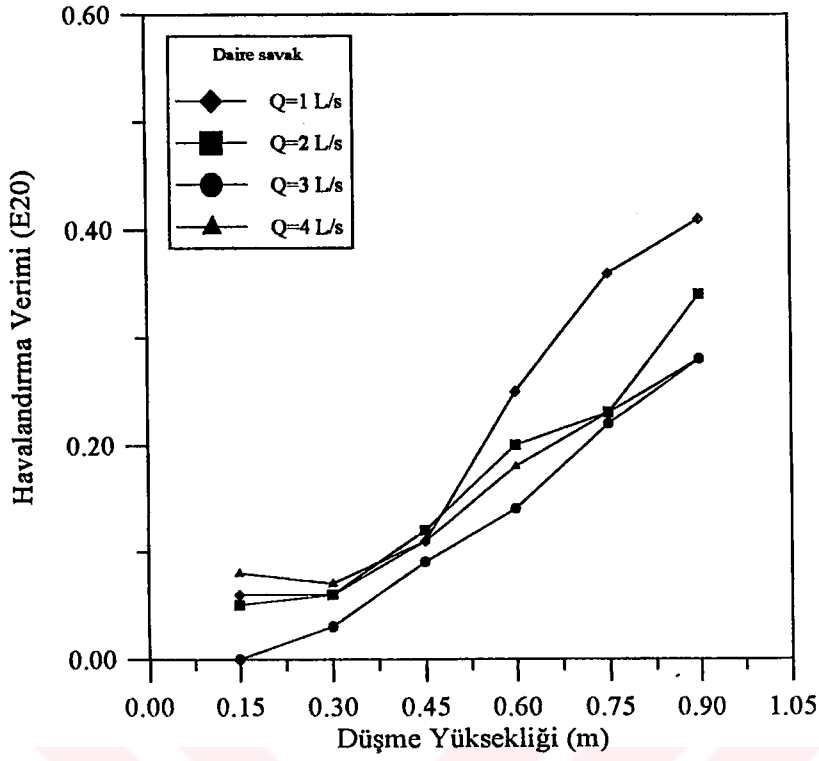
Şekil 6.1.-6.7.'den de görüldüğü gibi suyun düşme yüksekliği ve debinin değişimi ile oksijen transfer verimi de değişmiştir. Tüm savak tipleri için suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer verimi artmıştır. Genellikle debinin artması ile

oksijen transfer verimi azalmıştır. Bunun yanında debinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinin, suyun düşme yüksekliğinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinden daha az olduğu görülmektedir.

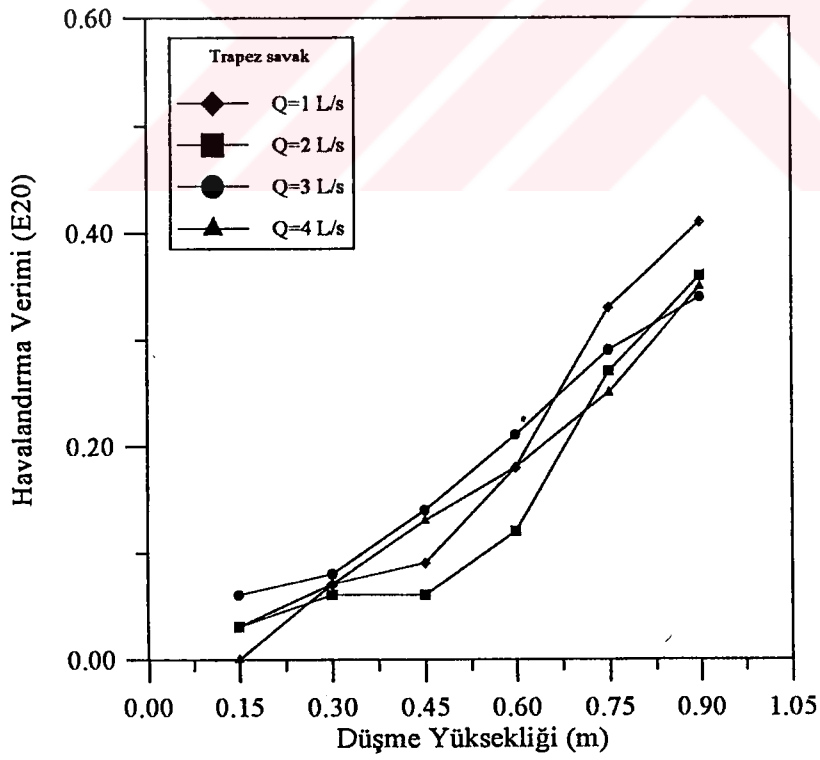
Savak tipinin geometrisinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisini görebilmek ve tüm savak tipleri arasında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, herbir debi için havalandırma verimi ile suyun düşme yüksekliğinin değişimi Şekil 6.8.-6.11.'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi üçgen savaklar ile en iyi oksijen transfer verimi elde edilmiştir. Genellikle 45° üçgen savağın tüm savak tipleri içinde en iyi savak tipi olduğu görülmektedir.



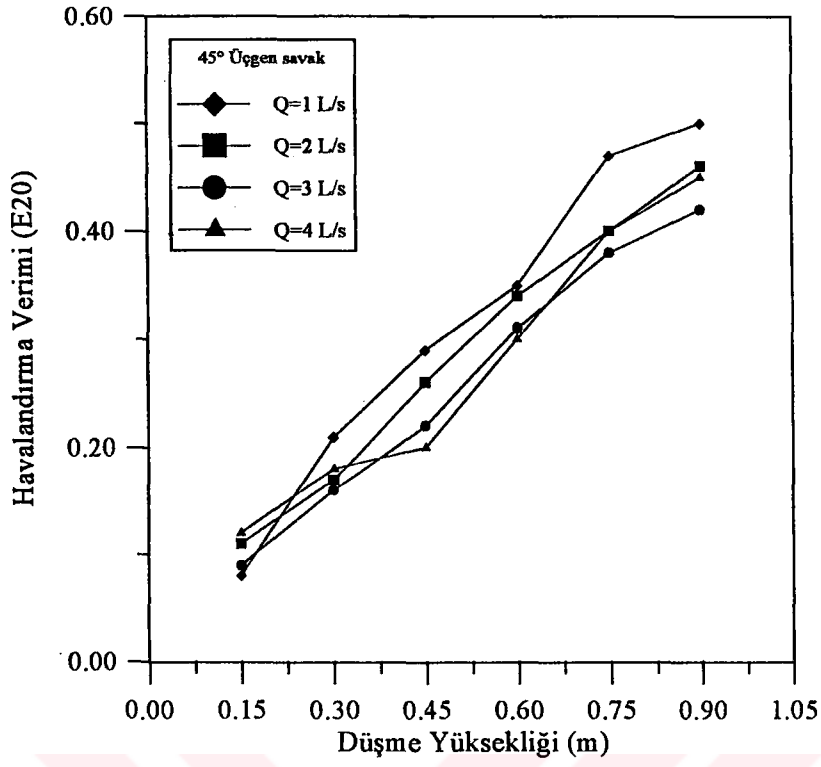
Şekil 6.1. Dikdörtgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



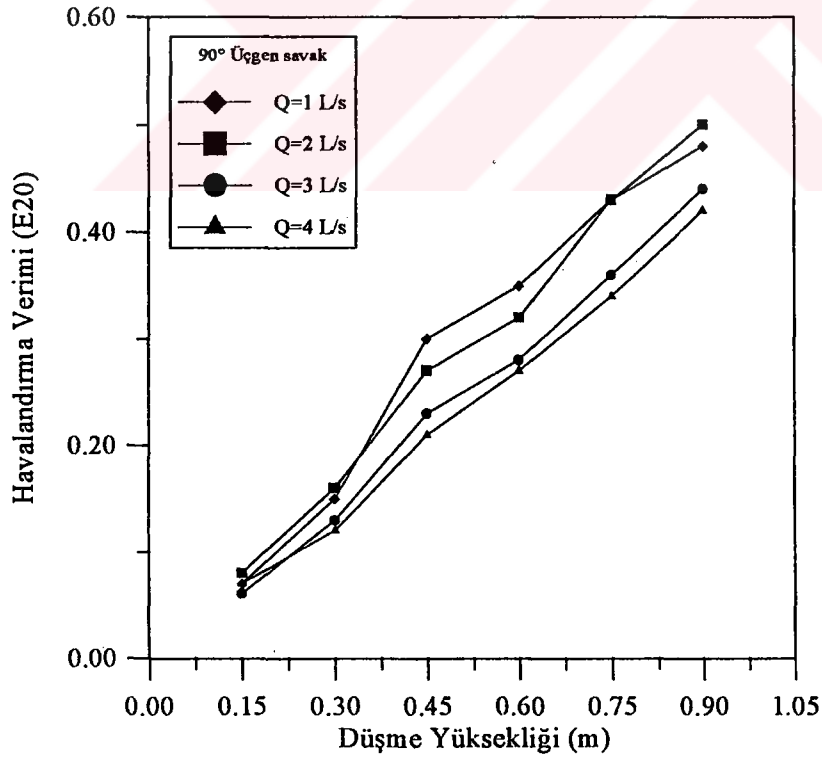
Şekil 6.2. Dairesel savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



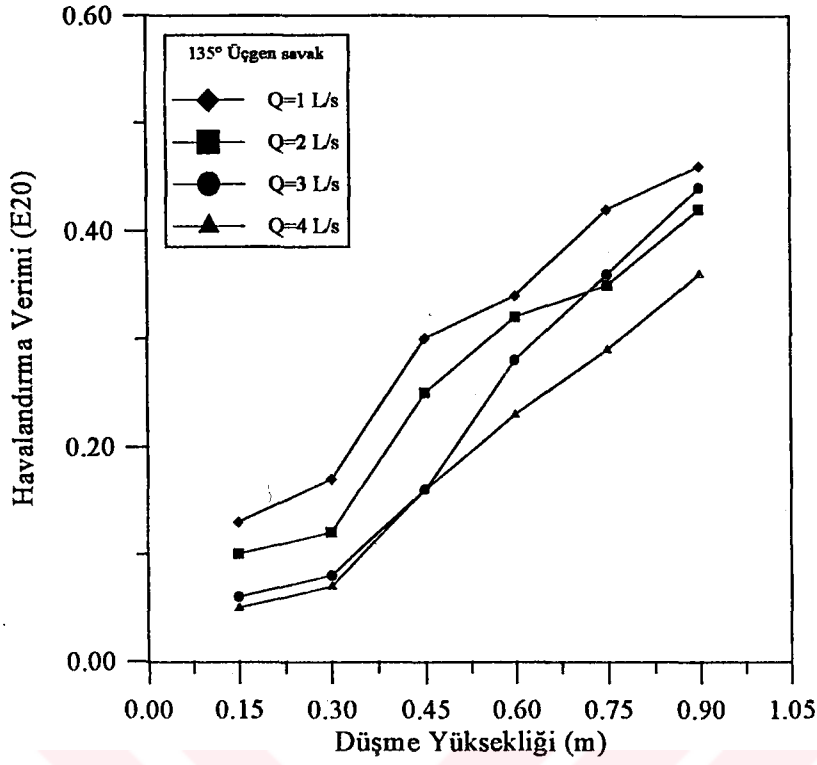
Şekil 6.3. Trapez savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



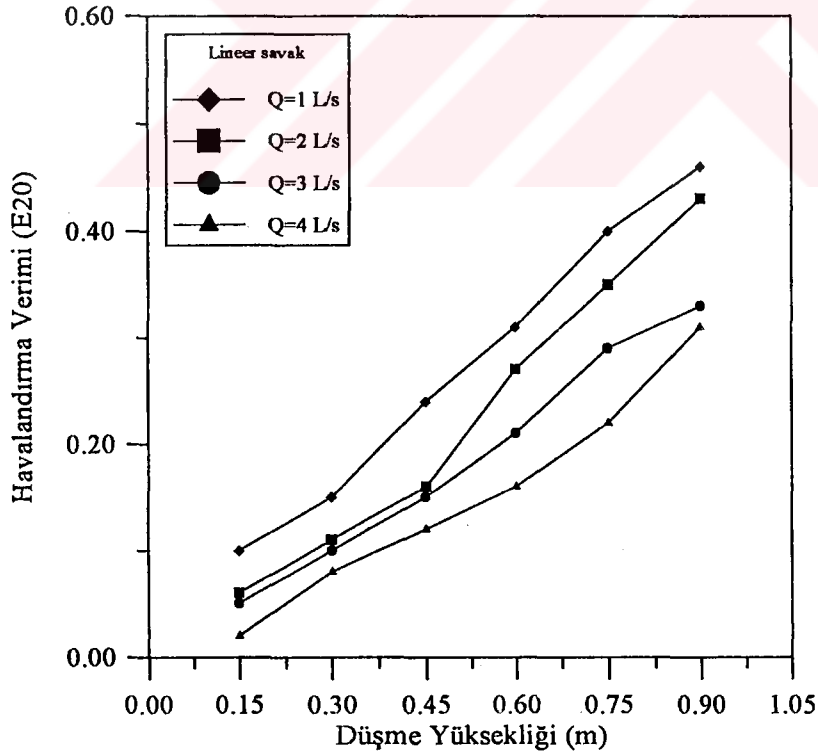
Şekil 6.4. 45° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



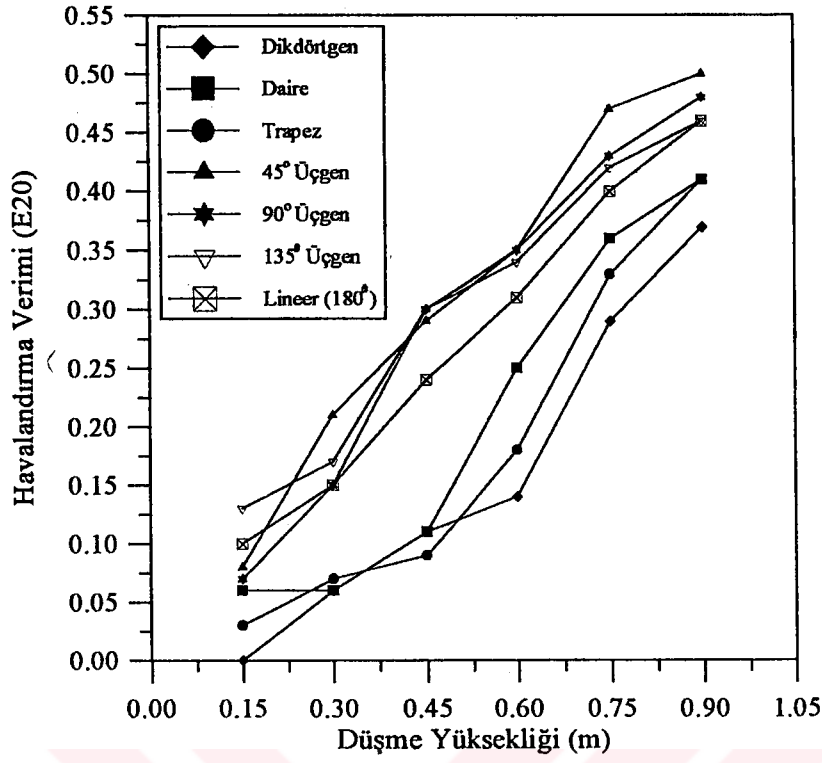
Şekil 6.5. 90° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



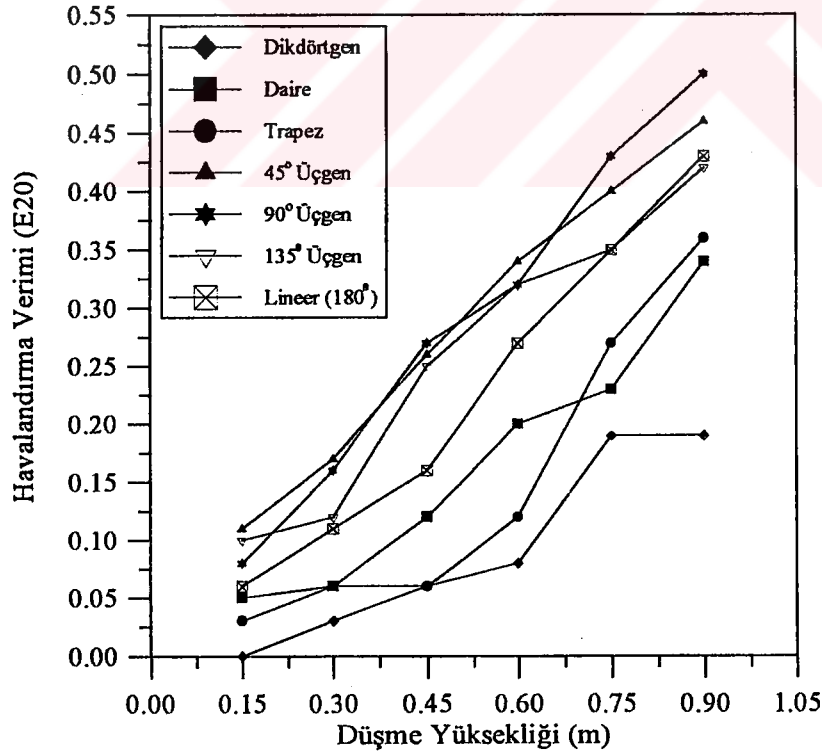
Şekil 6.6. 135° Üçgen savakta havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



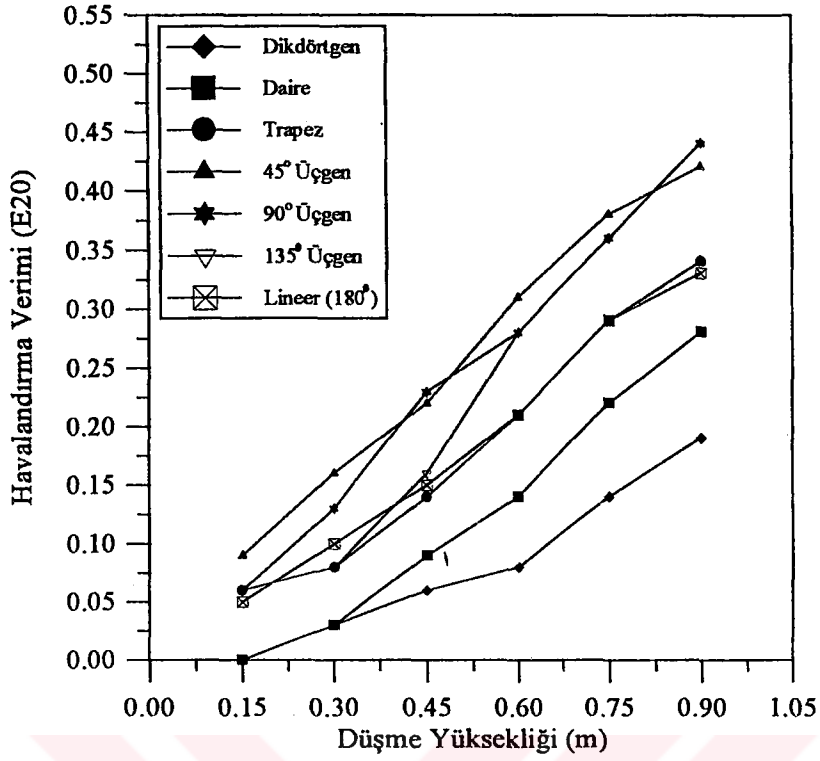
Şekil 6.7. Lineer savakta ($\theta=180^\circ$) havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



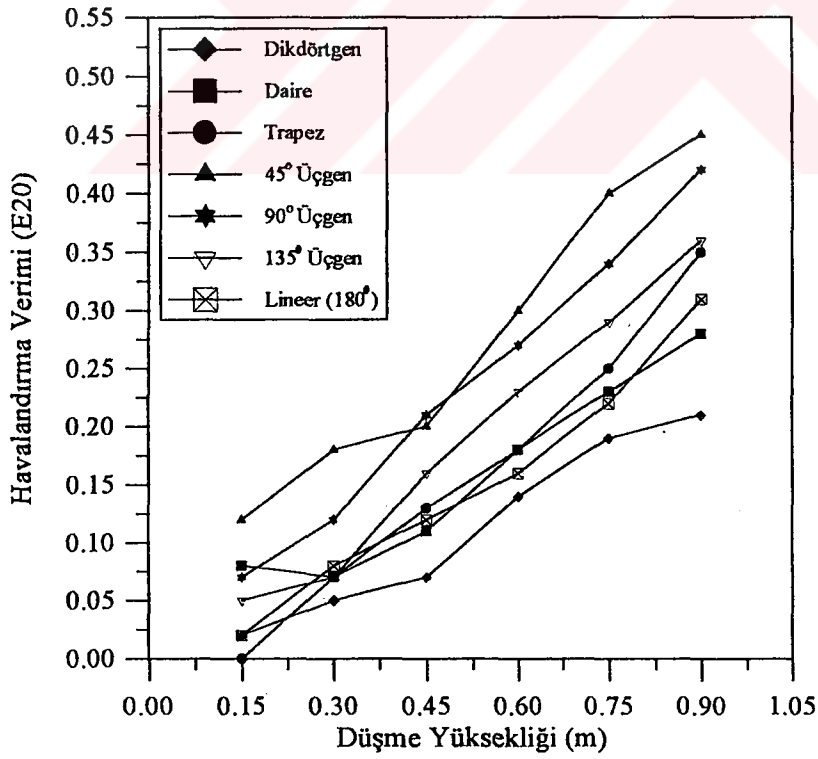
Şekil 6.8. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=1$ L/s)



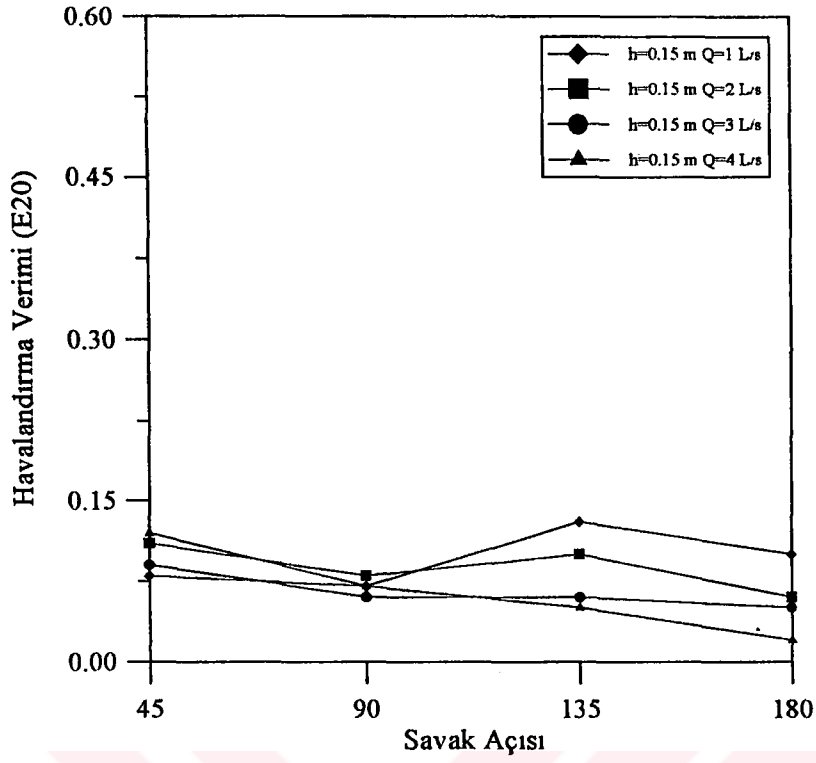
Şekil 6.9. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=2$ L/s)



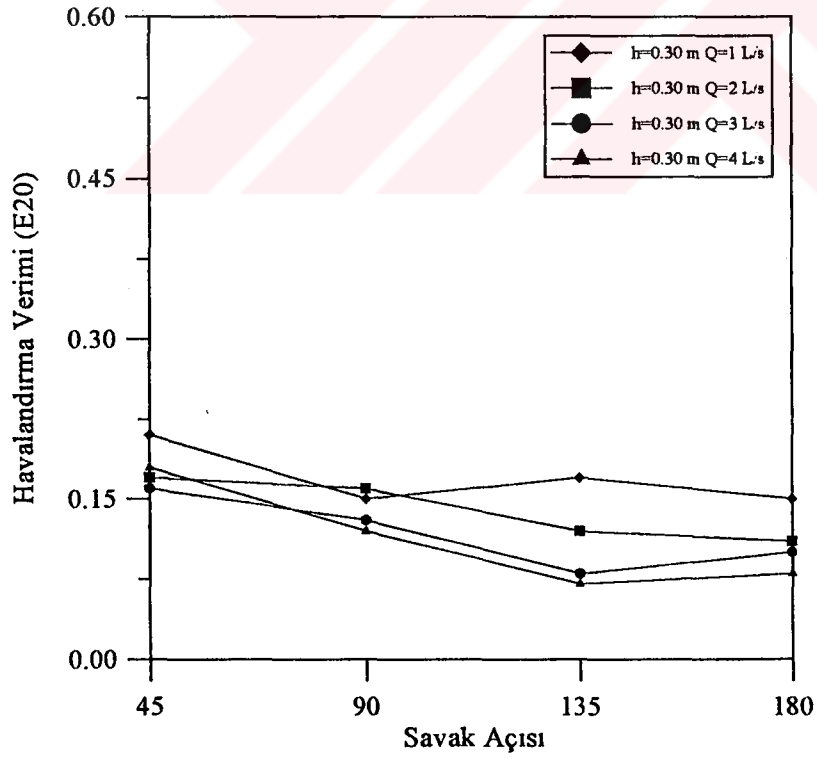
Şekil 6.10. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=3$ L/s)



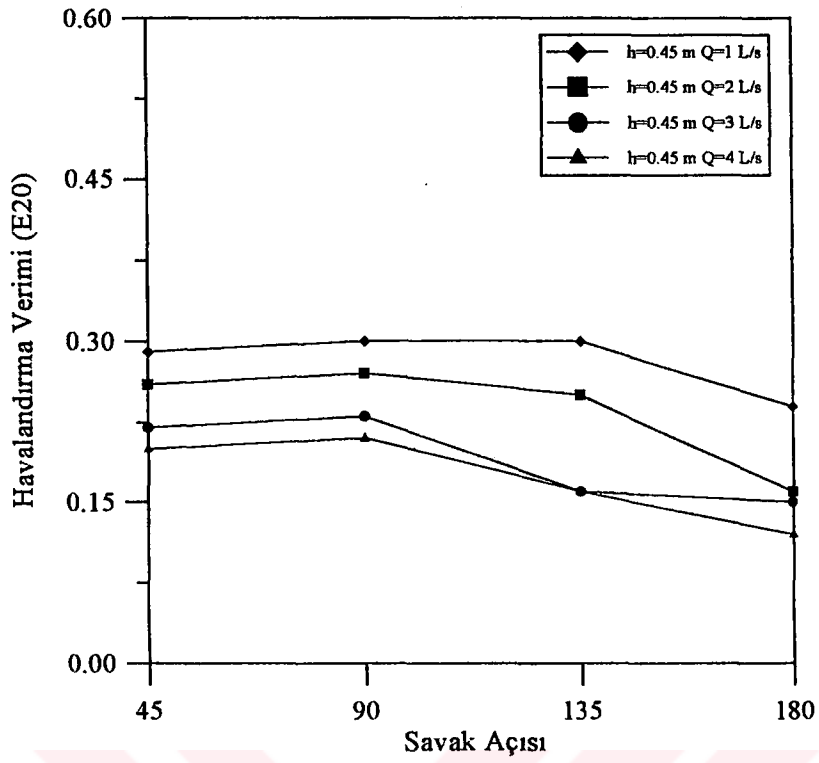
Şekil 6.11. Havalandırma veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=4$ L/s)



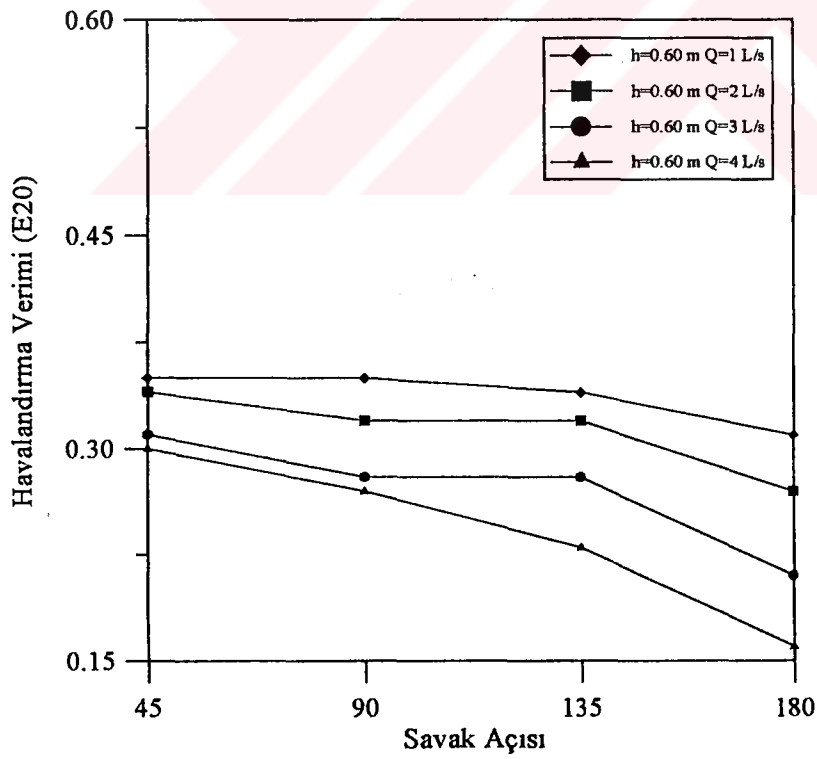
Şekil 6.12. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.15$)



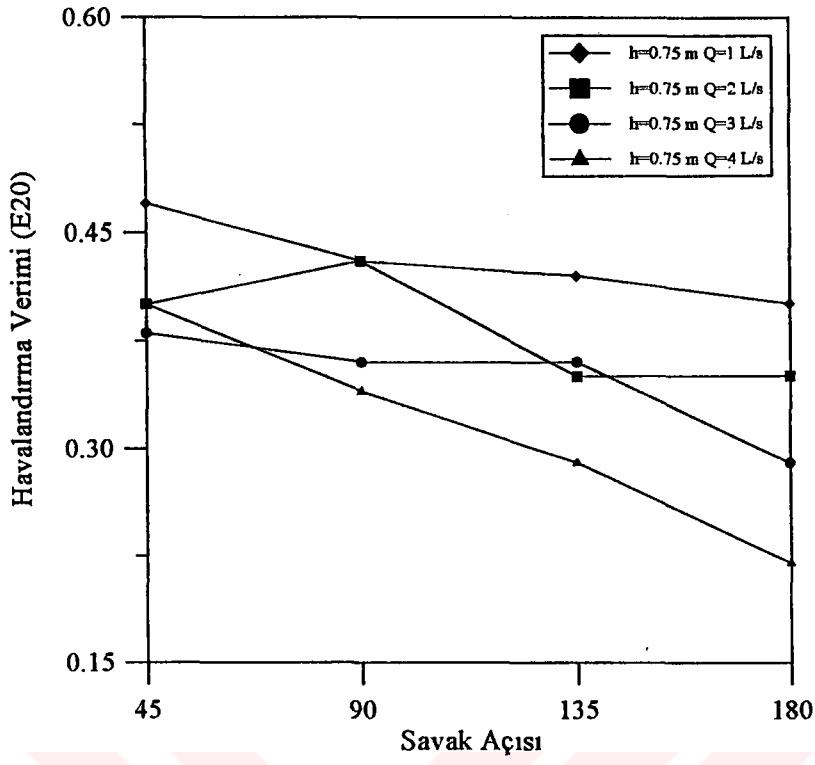
Şekil 6.13. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.30$)



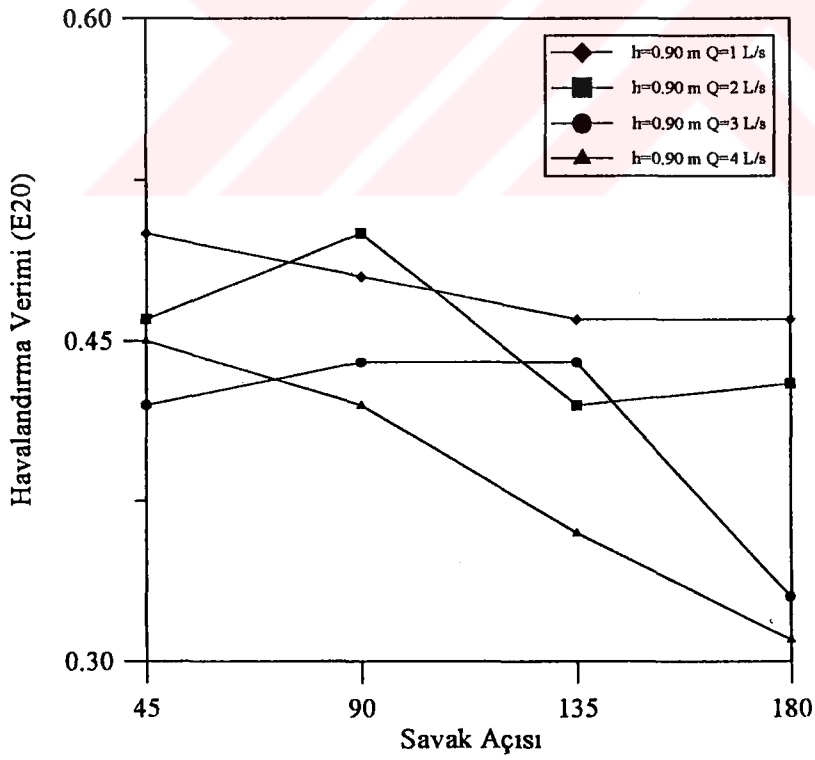
Şekil 6.14. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.45$)



Şekil 6.15. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.60$)



Şekil 6.16. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.75$)



Şekil 6.17. Üçgen savaklarda havalandırma veriminin savak açısı ile değişimi ($h=0.90$)

6.2. Geri Devirli Sistemde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

Geri devirli sistemdeki suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında oksijenmetre yardımıyla tespit edilmiştir. Yatay eksen zaman eksen (dakika), düşey eksen $-\ln \frac{(C_s - C_t)}{(C_s - C_o)}$ olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasından geçirilen doğrunun eğimi K_{La} değerini vermiştir. Bulunan K_{La} değeri (33) nolu denklem yardımıyla $(K_{La})_{20}$ '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 verimi (OE) elde edilmiştir. (EK-2.). Değişik tipteki savaklarda elde edilen oksijen transfer verimleri (E_{20}) aşağıda karşılaştırılmıştır:

Genellikle; dikdörtgen, dairesel, trapez, 45° üçgen, 90° üçgen ve 135° üçgen savaklarda suyun düşme yüksekliği ve debinin artışına bağlı olarak $(K_{La})_{20}$ değeri artmıştır. Dairesel savakta büyük debilerde ve 135° üçgen savakta ise en büyük debide $(K_{La})_{20}$ değeri suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar artmış ve daha sonra azalışa geçmiştir (Şekil 6.18.-6.23.).

Genellikle; dikdörtgen, dairesel ve trapez savaklarda oksijen transfer verimi belli bir değere kadar yüksekliğin artması ile artmış ve yüksekliğin daha da artması ile azalmaya başlamıştır (Şekil 6.24.-6.26.). Dikdörtgen savakta büyük debilerde oksijen transferinin azalmaya başladığı nokta 0.60-0.75 m, küçük debilerde ise yaklaşık olarak 0.90 m'den sonra başlamaktadır. Dairesel savaklarda büyük debilerde oksijen transferinin azalmaya başladığı nokta 0.45-0.60 m, en küçük debide ise yaklaşık olarak 0.90 m'den sonra başlamaktadır. Trapez savaklarda büyük debilerde oksijen transferinin azalmaya başladığı nokta yaklaşık olarak 0.75-0.90 m arasında değişmekte, küçük debilerde ise yüksekliğin artışı ile oksijen transfer verimi sürekli bir artış göstermektedir.

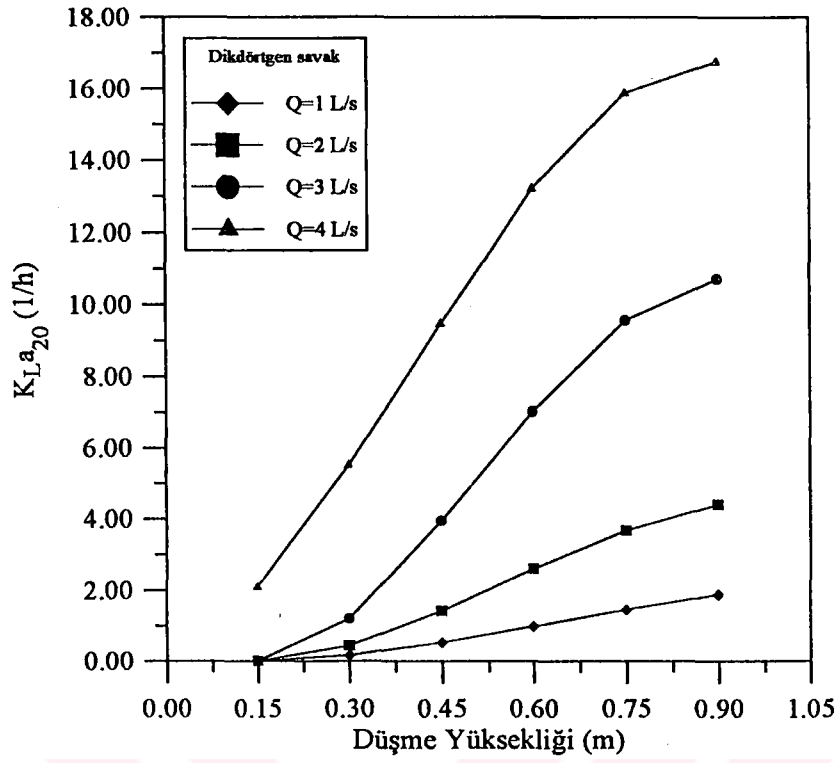
Küçük düşme yüksekliklerinde 90° üçgen savağın dikdörtgen, dairesel ve trapez savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.28.). 90° üçgen savakta büyük debilerde suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer verimi belli bir noktaya kadar azalmış ve daha sonra artışa geçmiştir. Küçük debilerde ise suyun düşme yüksekliğinin artışı ile oksijen transfer verimi sürekli olarak azalmıştır. 90°

üçgen savakta büyük debilerde oksijen transferinin artmaya başladığı nokta 0.60 m'den sonradır.

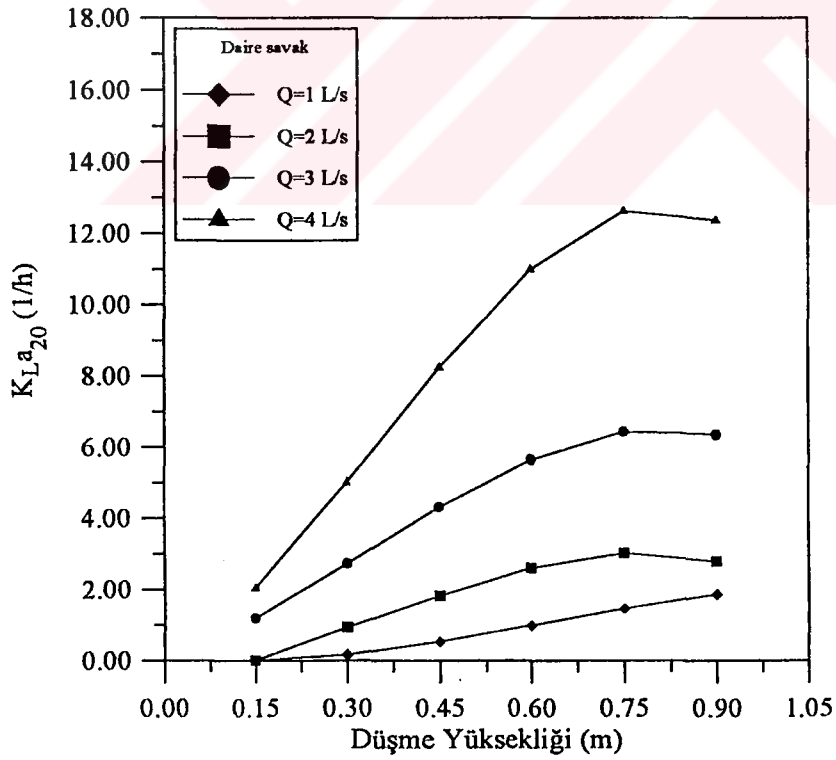
Üçgen savaklar içinde 90° üçgen savak en iyi oksijen transfer verimine sahiptir. 45° ve 135° üçgen savaklarda birbirine yakın oksijen transfer verimi değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.27. ve 6.29.). 45° üçgen savakta en büyük debide oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar azalmış ve daha sonra artışa geçmiştir. En küçük debide ise suyun düşme yüksekliğinin artması ile sürekli bir artış görülmektedir. 45° üçgen savakta en büyük debide oksijen transferinin artmaya başladığı nokta 0.60 m'den sonradır. En küçük debide ise yüksekliğin artışı ile oksijen transfer verimi yaklaşık olarak 0.90 m'ye kadar sürekli bir artış göstermiş ve bu noktadan sonra eğimi azalmıştır. 135° üçgen savakta büyük debilerde oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar artmış ve daha sonra azalışa geçmiştir. Küçük debilerde ise oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar azalmış ve daha sonra artışa geçmiştir. 135° üçgen savakta büyük debilerde oksijen transfer veriminin azalmaya başladığı nokta 0.45 m'den sonra, küçük debilerde ise artış 0.45-0.60 m'den sonra başlamaktadır.

Geri devirsiz sistemde yapılan deneylerde olduğu gibi, suyun düşme yüksekliği ve debinin değişimi ile oksijen transfer verimi de değişmiştir. Tüm savak tipleri için suyun düşme yüksekliği ve debinin artması ile oksijen transfer verimi artmıştır. Bunun yanında debinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinin, suyun düşme yüksekliğinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinden daha az olduğu görülmektedir (Şekil 6.24.-6.29.).

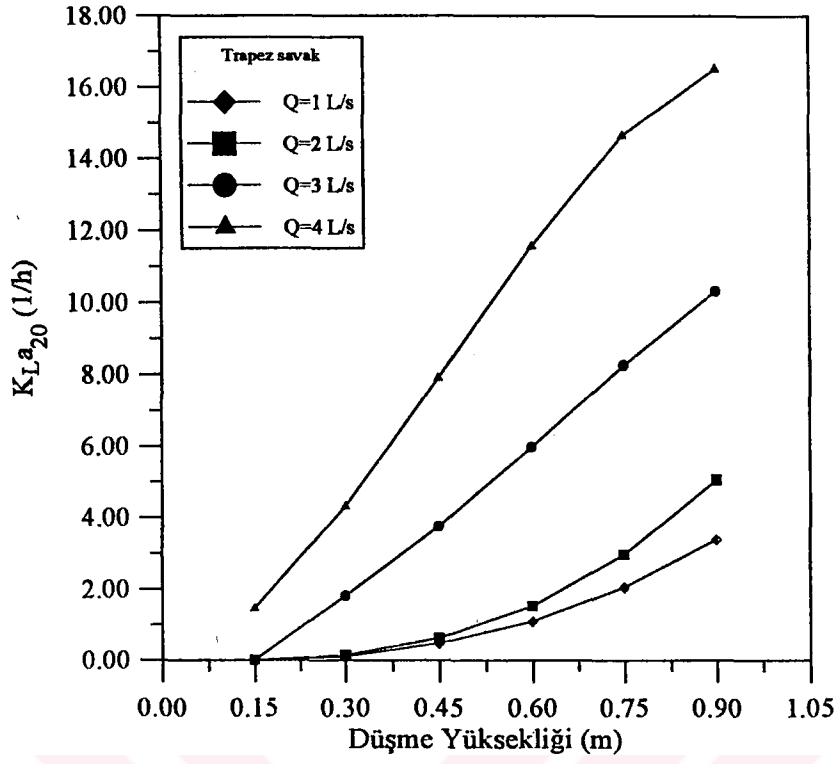
Savak tipinin geometrisinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisini görebilmek ve tüm savak tiplerinde daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, herbir debi için havalandırma verimi ile suyun düşme yüksekliğinin değişimi Şekil 6.30.-6.33.'de verilmiştir. Tüm savak tipleri için $(K_{La})_{20}$ değeri ile oksijen transfer verimi (OE) arasındaki ilişki Şekil 6.34.-6.39.'da, N_j (jet gücü) ile $(K_{La})_{20}$ arasındaki ilişki Şekil 6.40.-6.45.'de ve N_j ile oksijen transfer verimi arasındaki ilişki de Şekil 6.46.-6.51.'de görülmektedir.



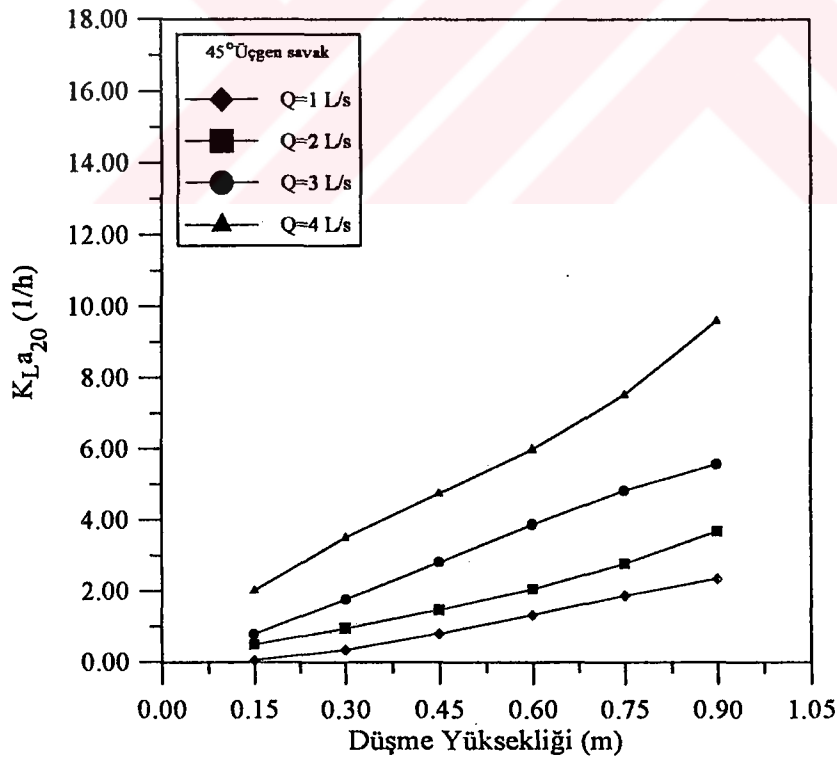
Şekil 6.18. Dikdörtgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



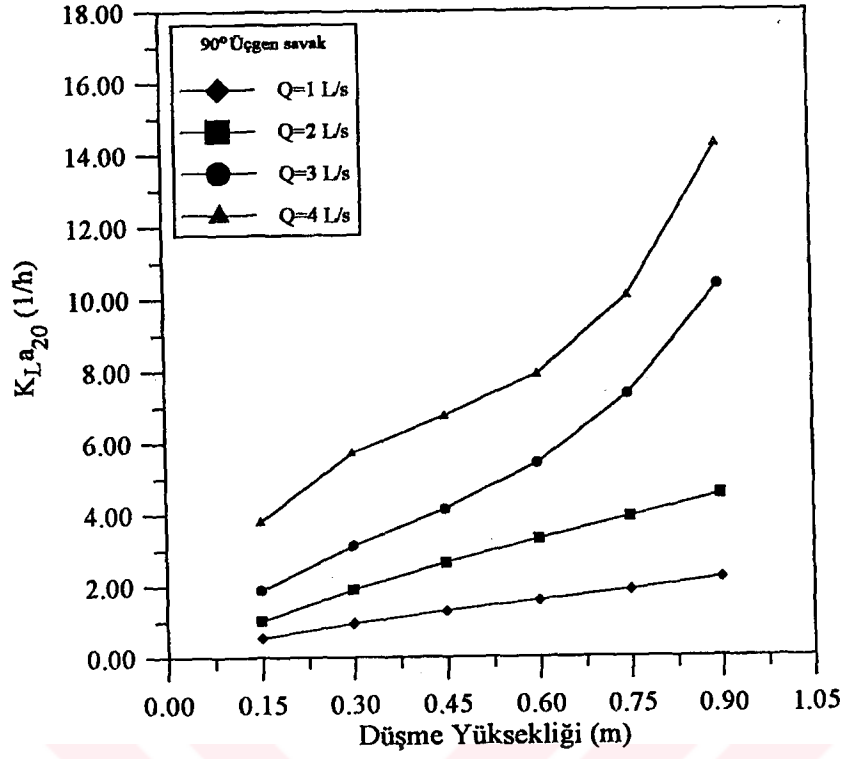
Şekil 6.19. Dairesel savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



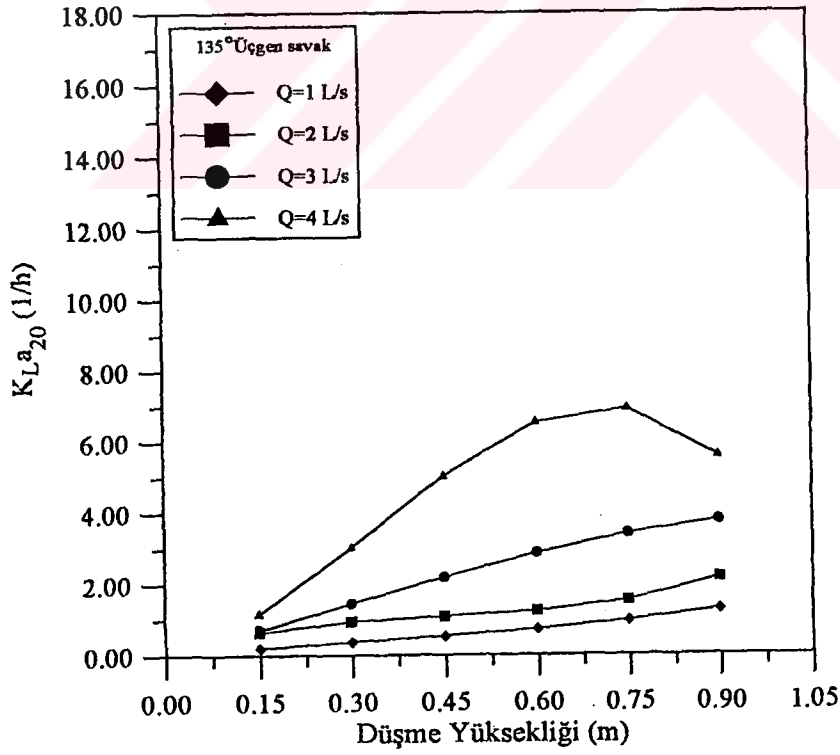
Şekil 6.20. Trapez savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



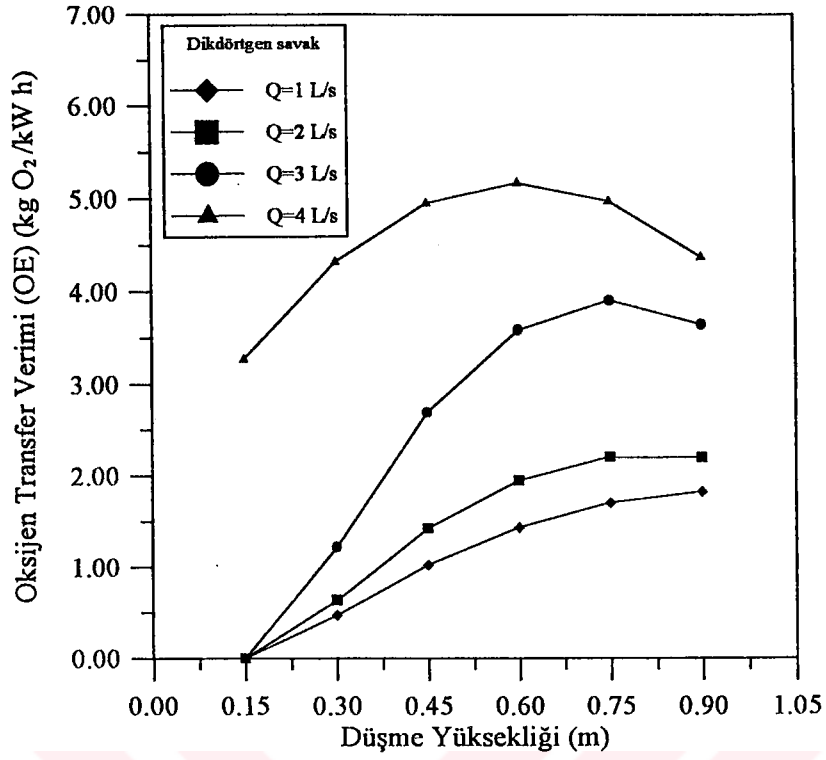
Şekil 6.21. 45° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



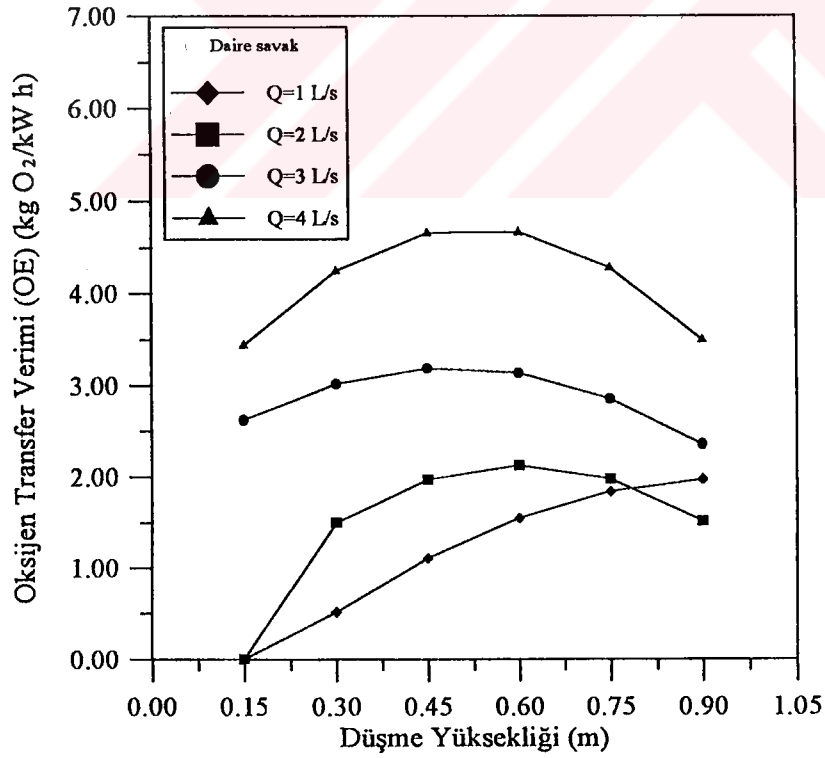
Şekil 6.22. 90° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



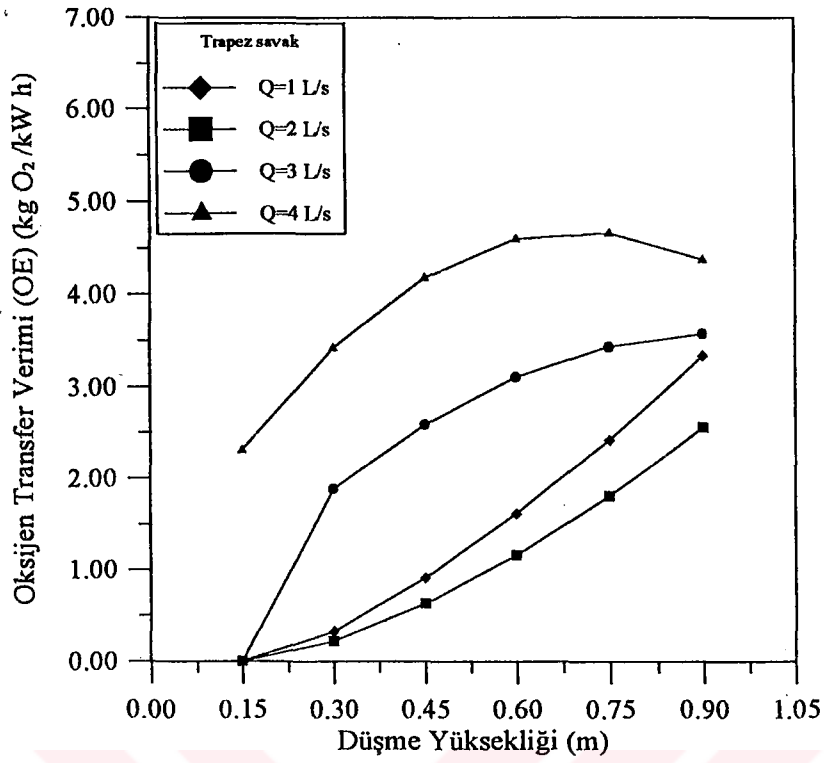
Şekil 6.23. 135° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



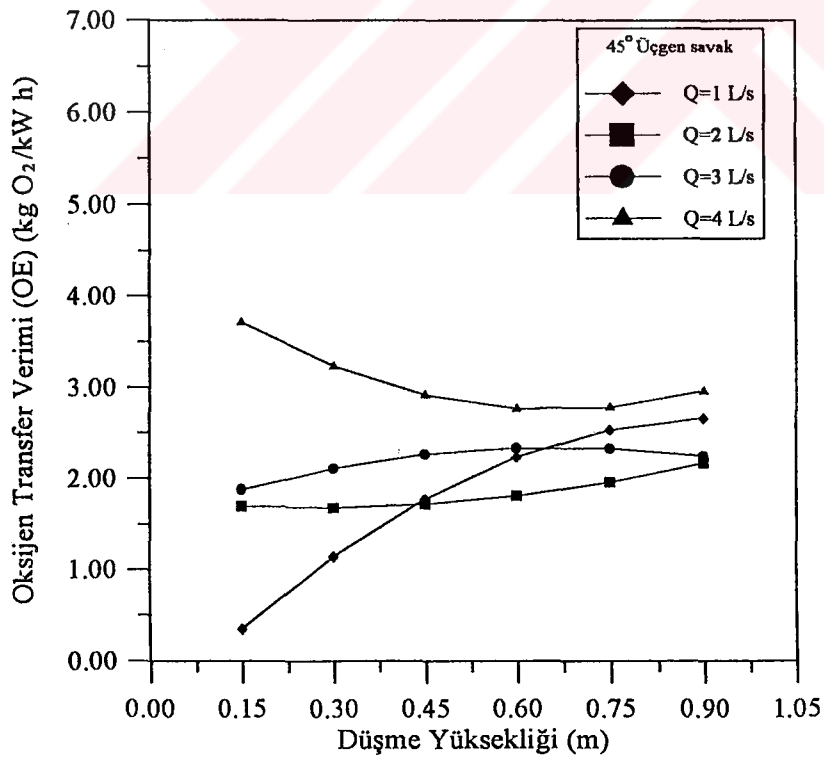
Şekil 6.24. Dikdörtgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



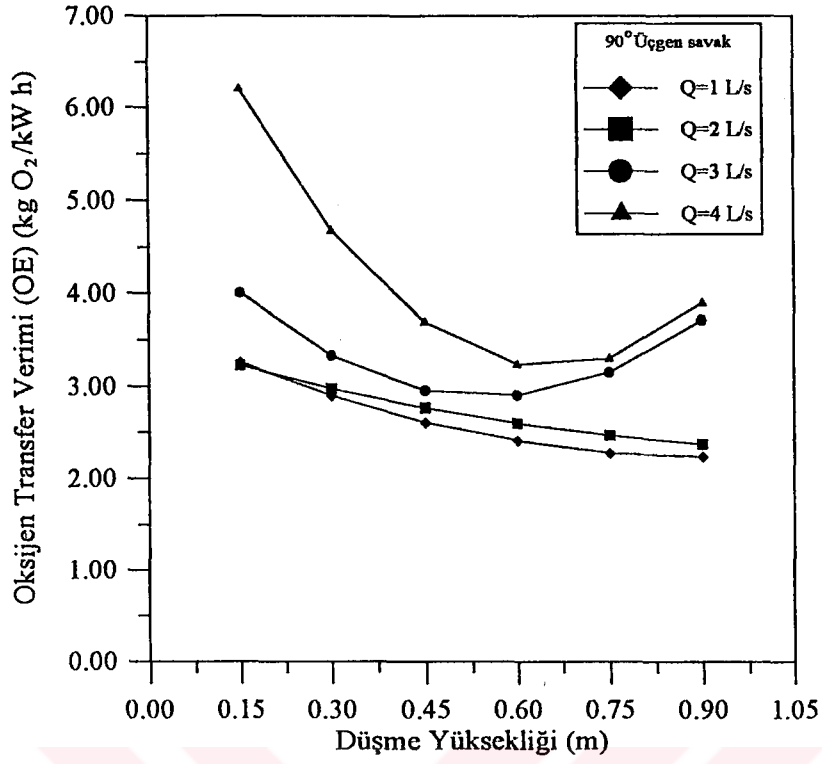
Şekil 6.25. Dairesel savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



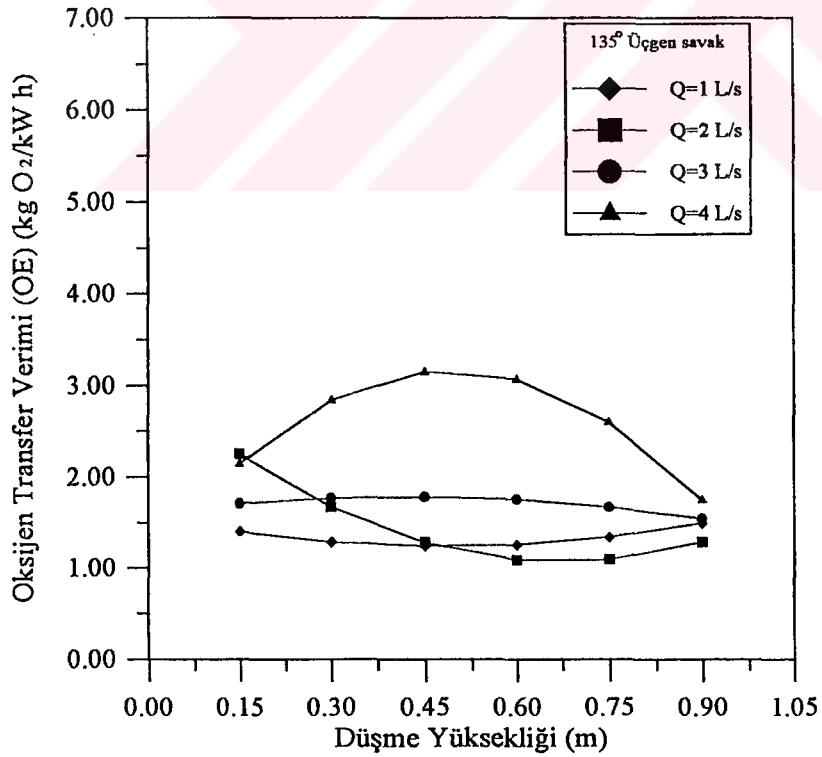
Şekil 6.26. Trapez savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



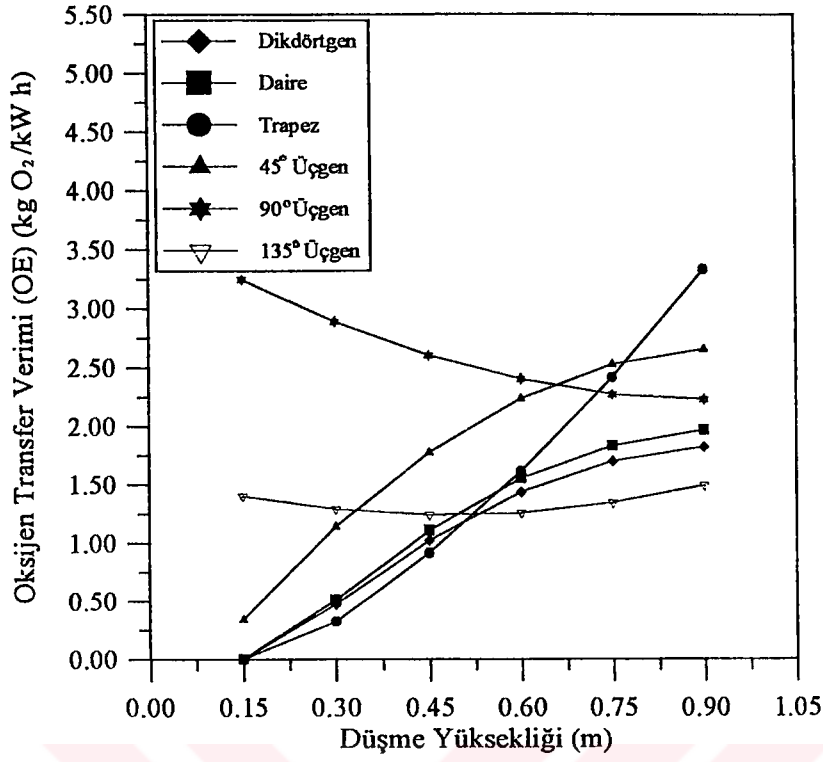
Şekil 6.27. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



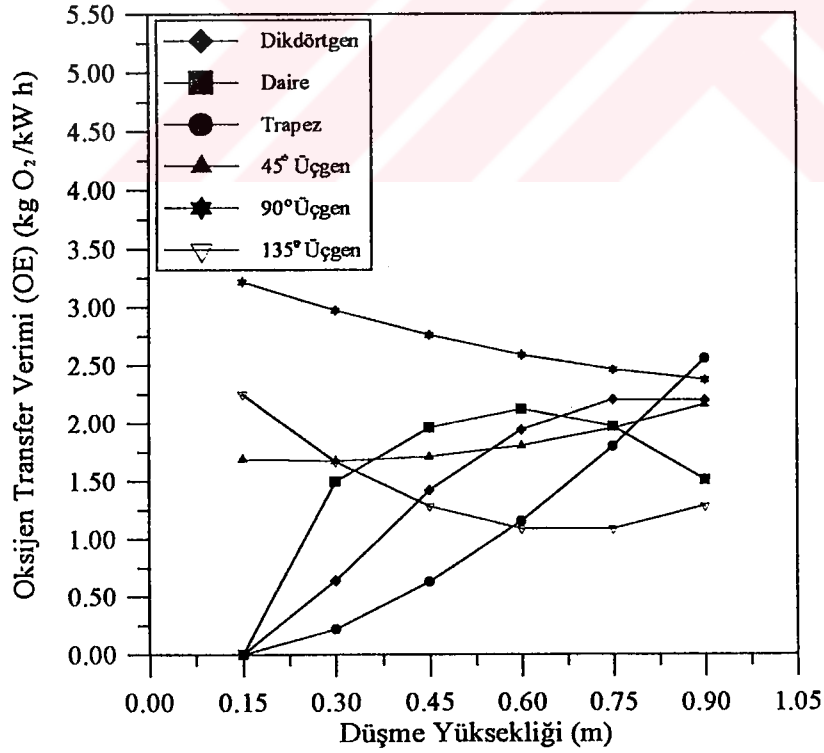
Şekil 6.28. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



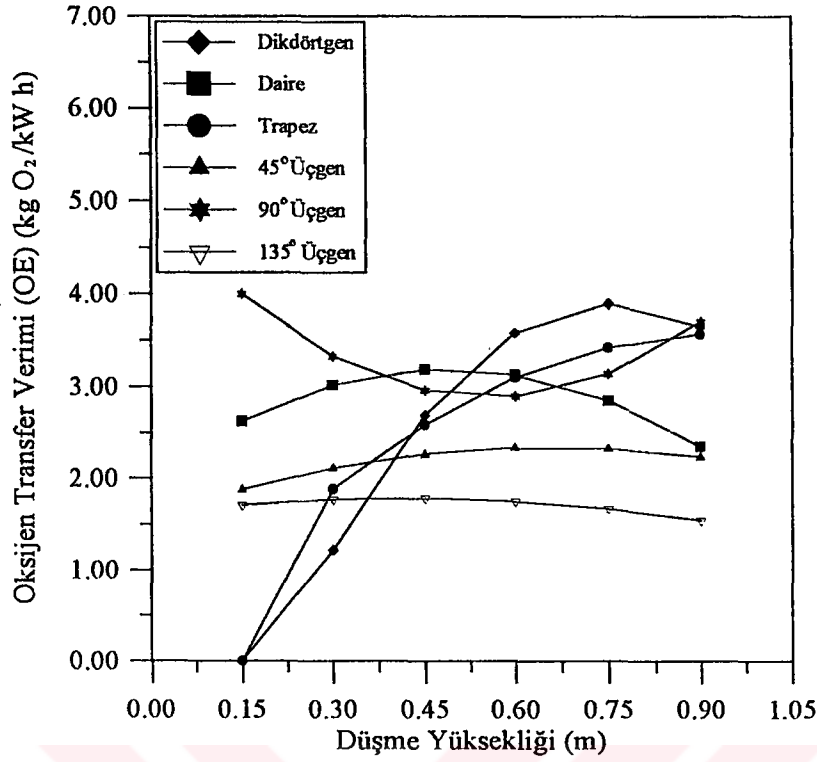
Şekil 6.29. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ve debi ile değişimi



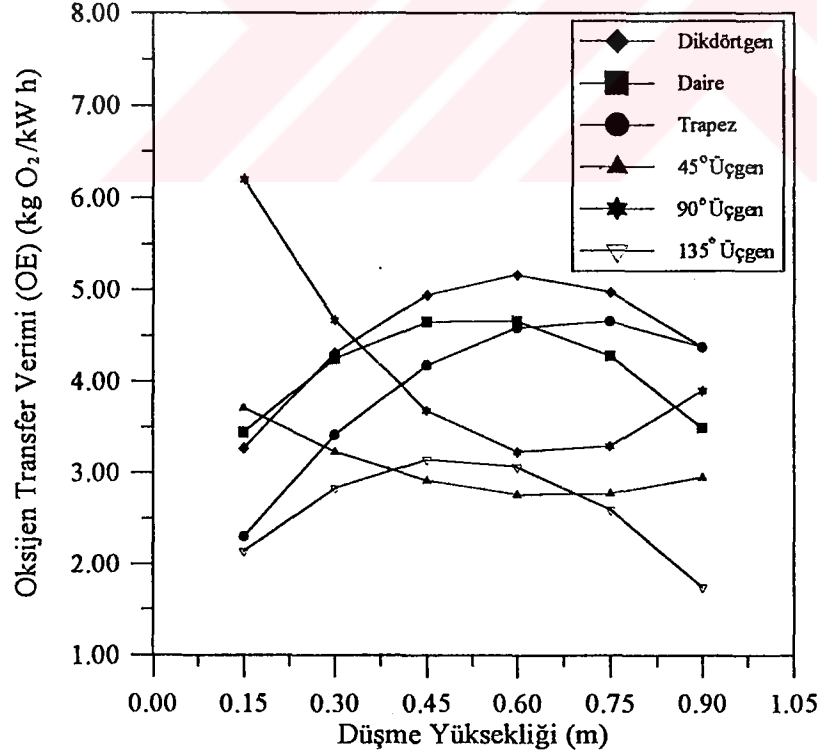
Şekil 6.30. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=1 \text{ L/s}$)



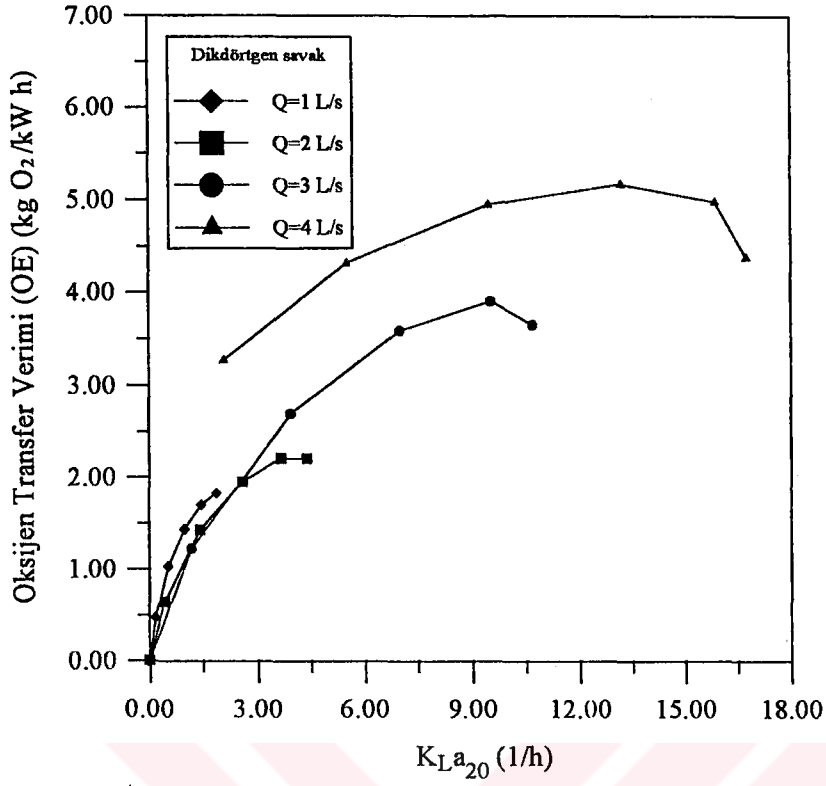
Şekil 6.31. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi ($Q=2 \text{ L/s}$)



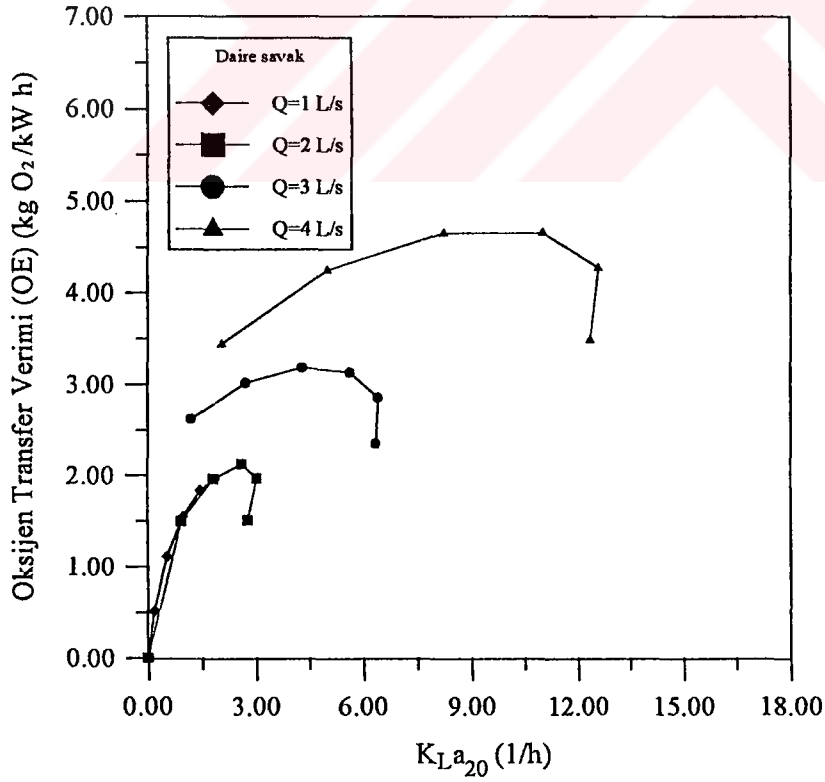
Şekil 6.32. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi (Q=3 L/s)



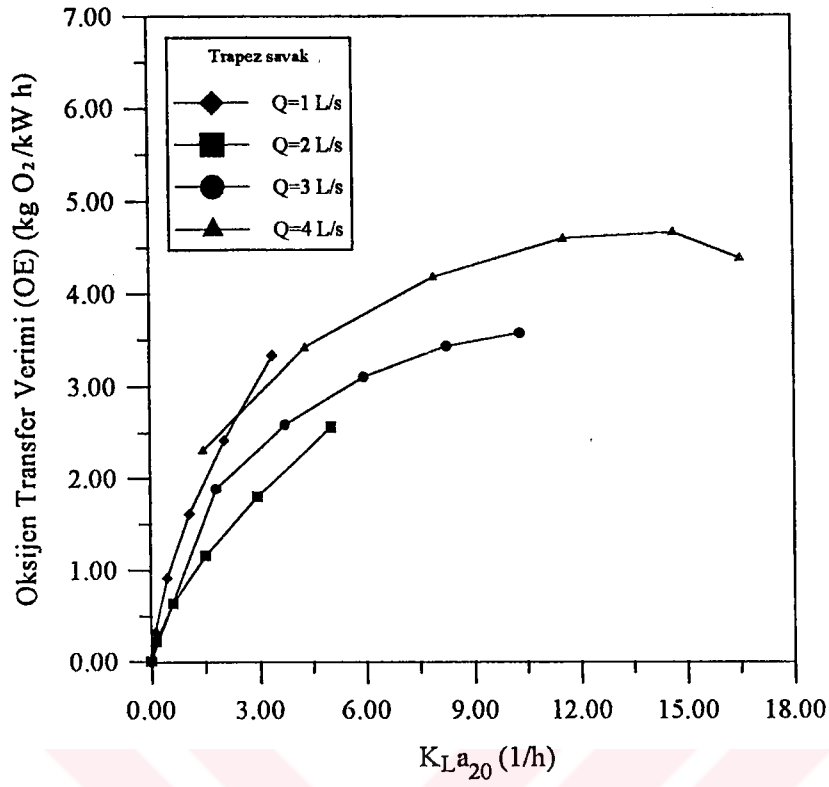
Şekil 6.33. Oksijen transfer veriminin suyun düşme yüksekliği ile değişimi (Q=4 L/s)



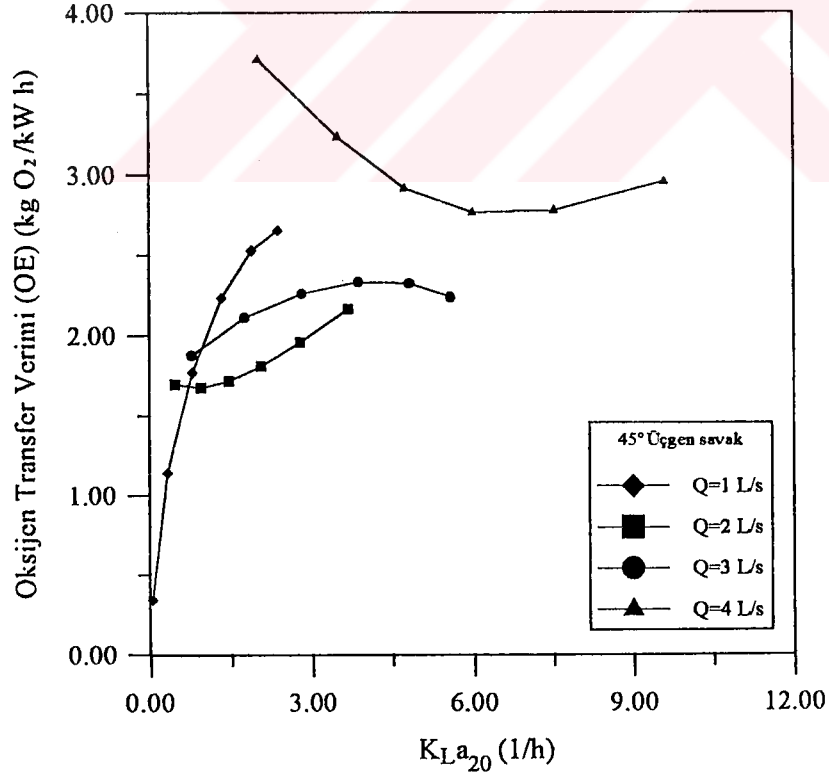
Şekil 6.34. Dikdörtgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_{La})_{20}$ ile değişimi



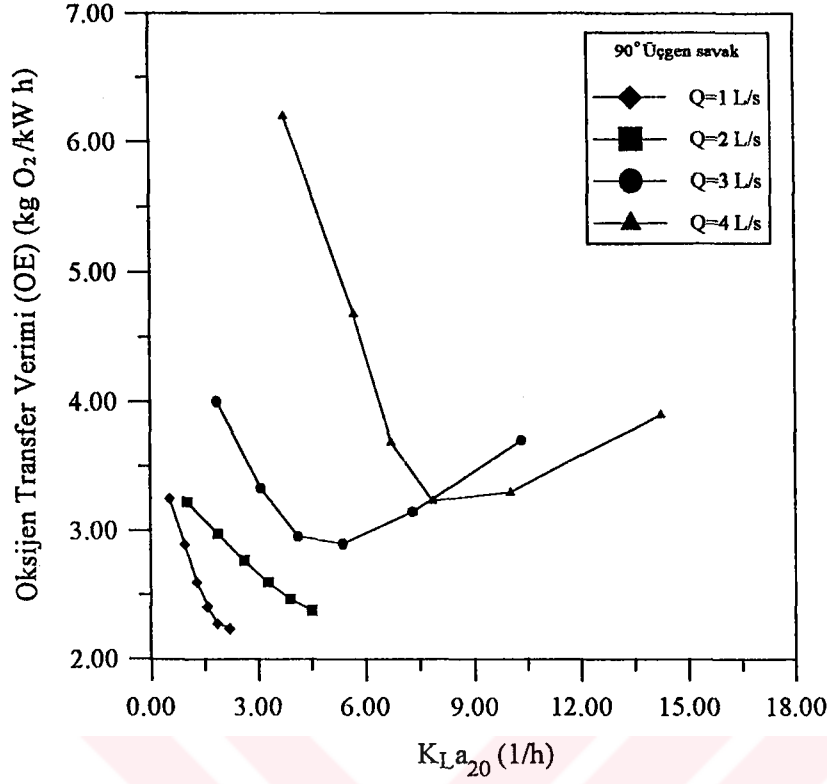
Şekil 6.35. Dairesel savakta oksijen transfer veriminin $(K_{La})_{20}$ ile değişimi



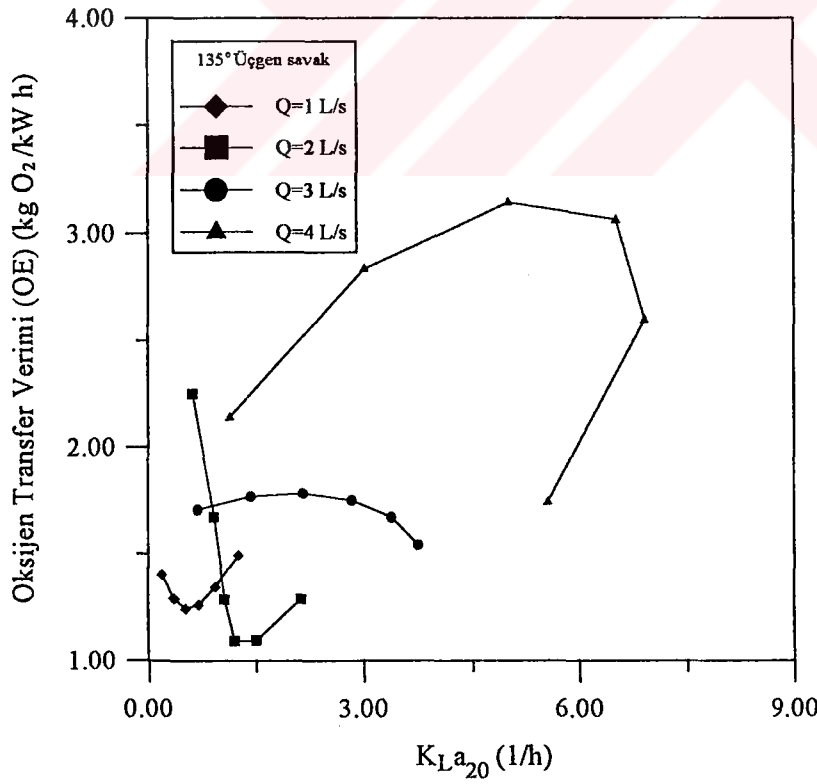
Şekil 6.36. Trapez savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi



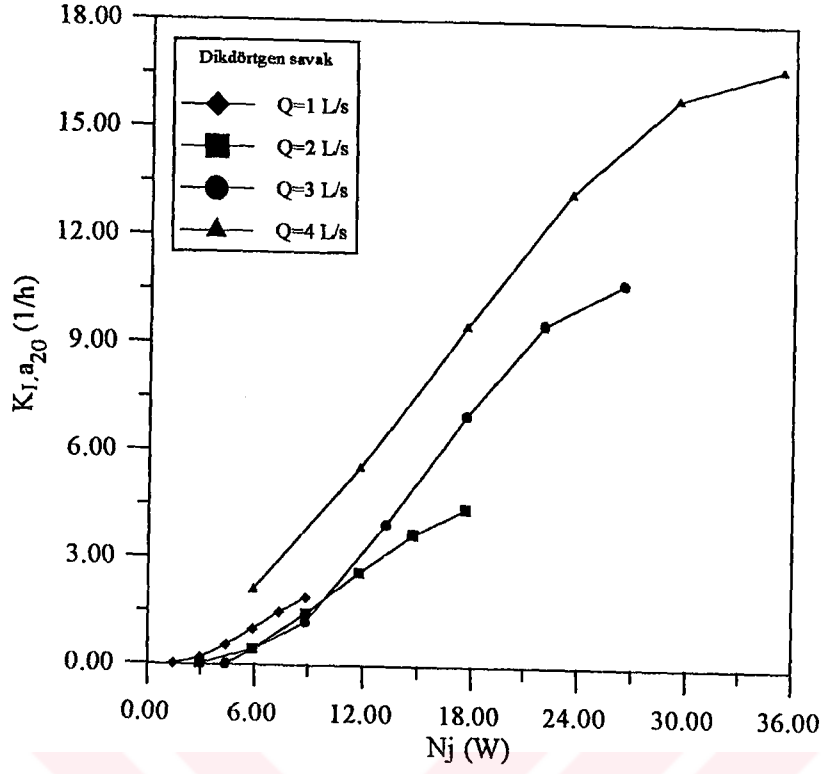
Şekil 6.37. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_L a)_{20}$ ile değişimi



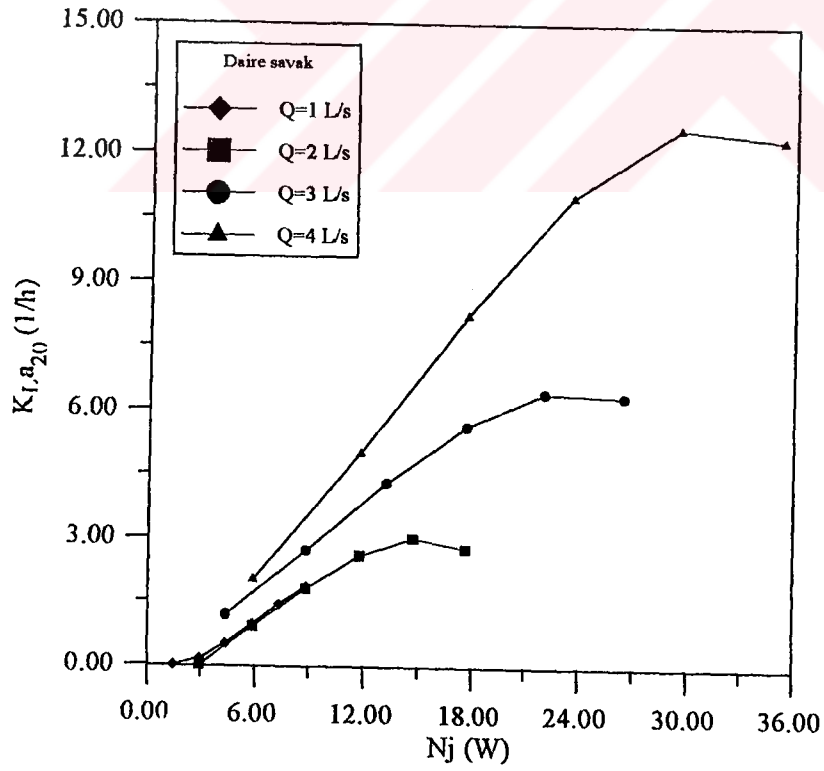
Şekil 6.38. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_{La})_{20}$ ile değişimi



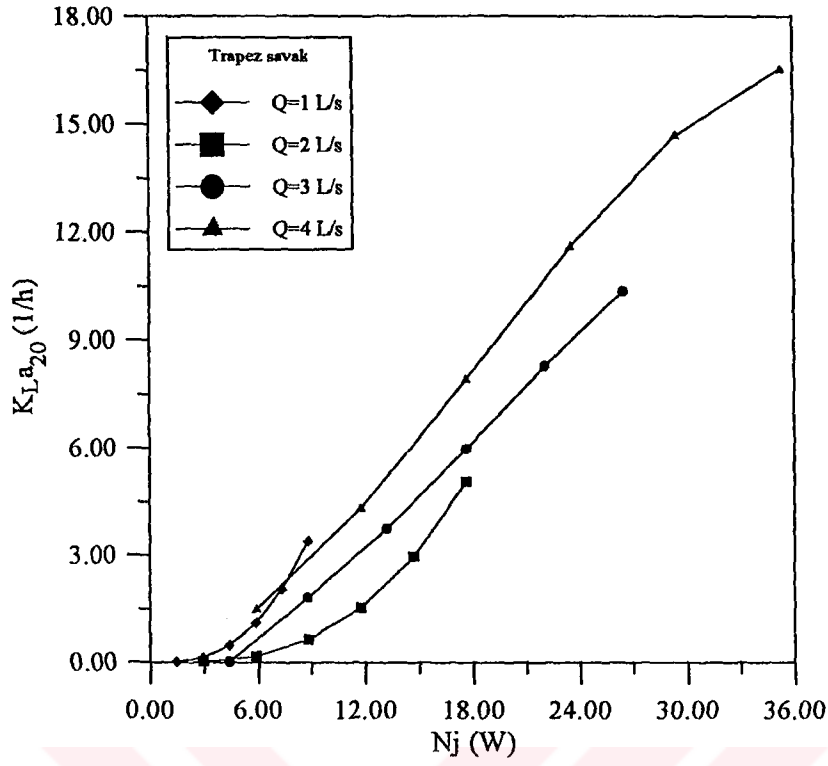
Şekil 6.39. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin $(K_{La})_{20}$ ile değişimi



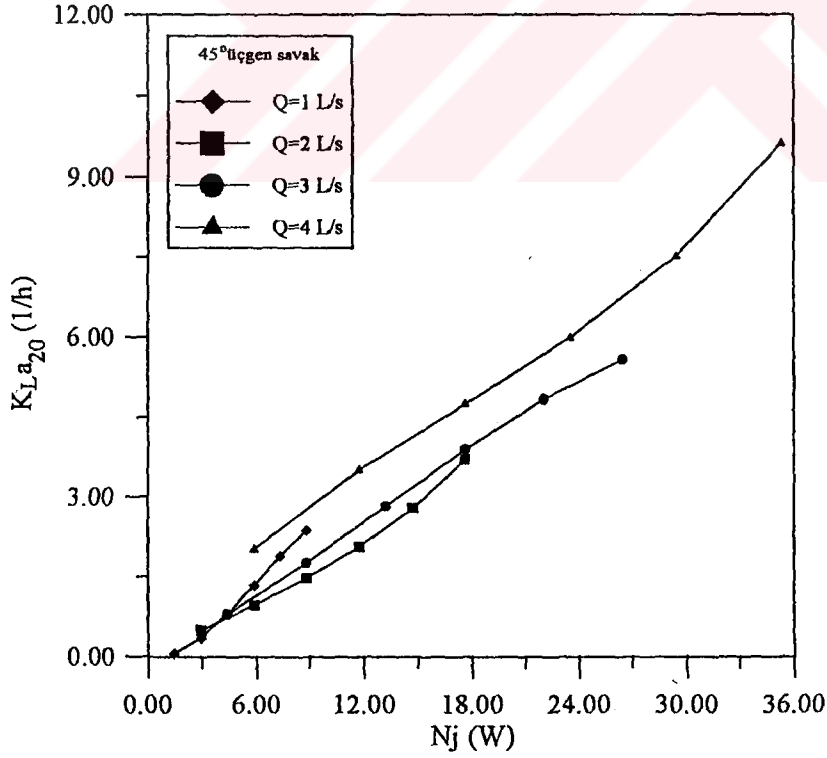
Şekil 6.40. Dikdörtgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi



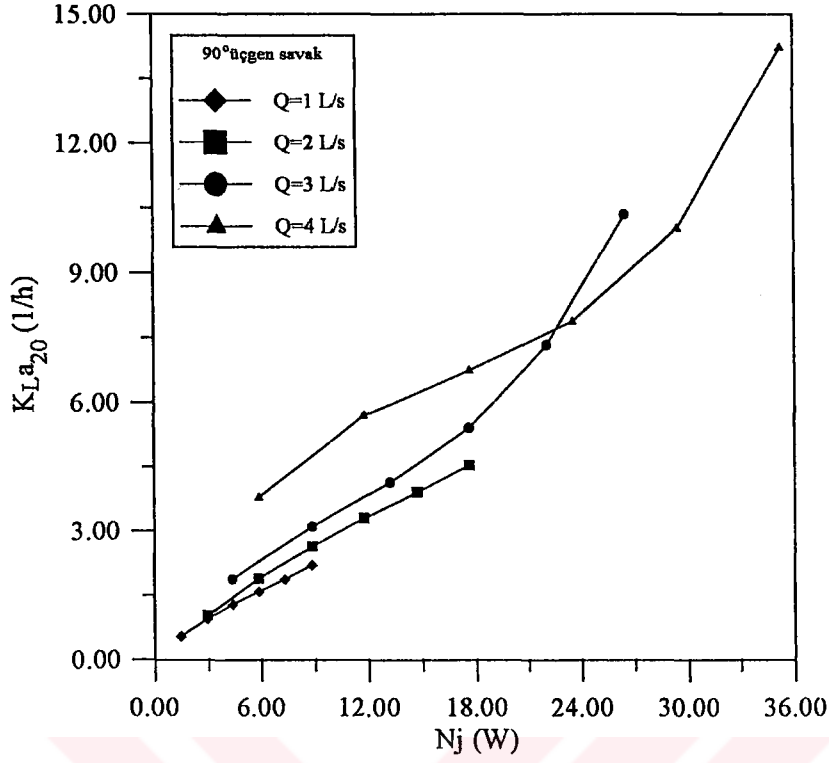
Şekil 6.41. Dairesel savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi



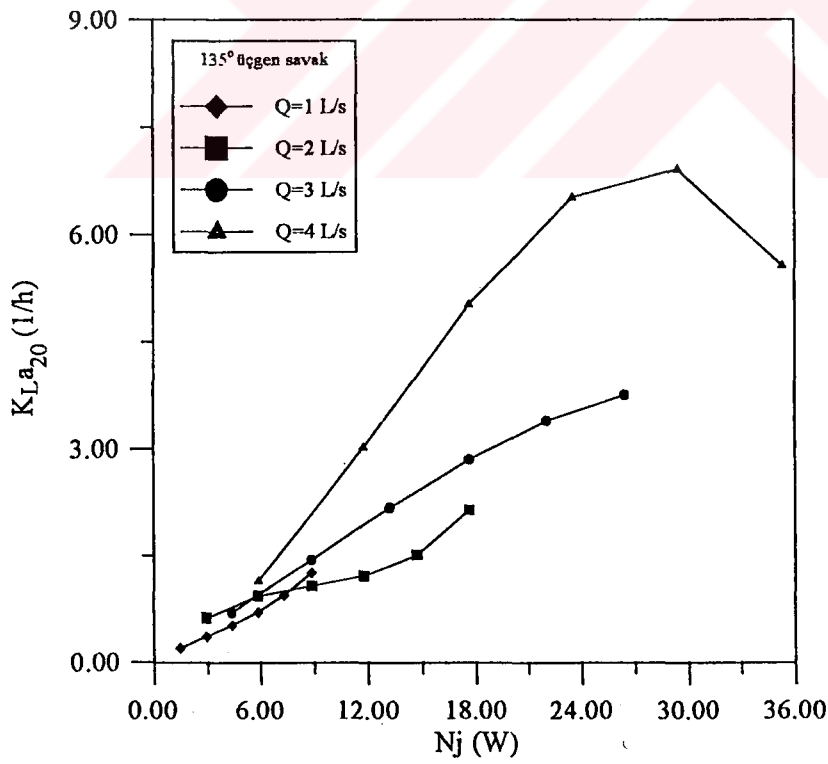
Şekil 6.42. Trapez savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi



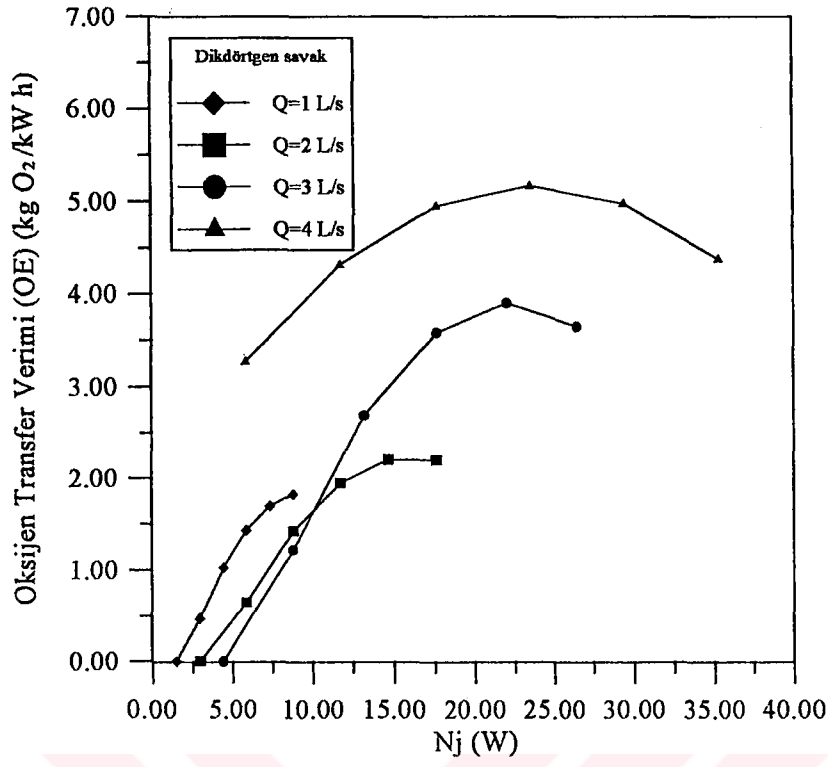
Şekil 6.43. 45° Üçgen savakta $(K_L a)_{20}$ 'nin N_j ile değişimi



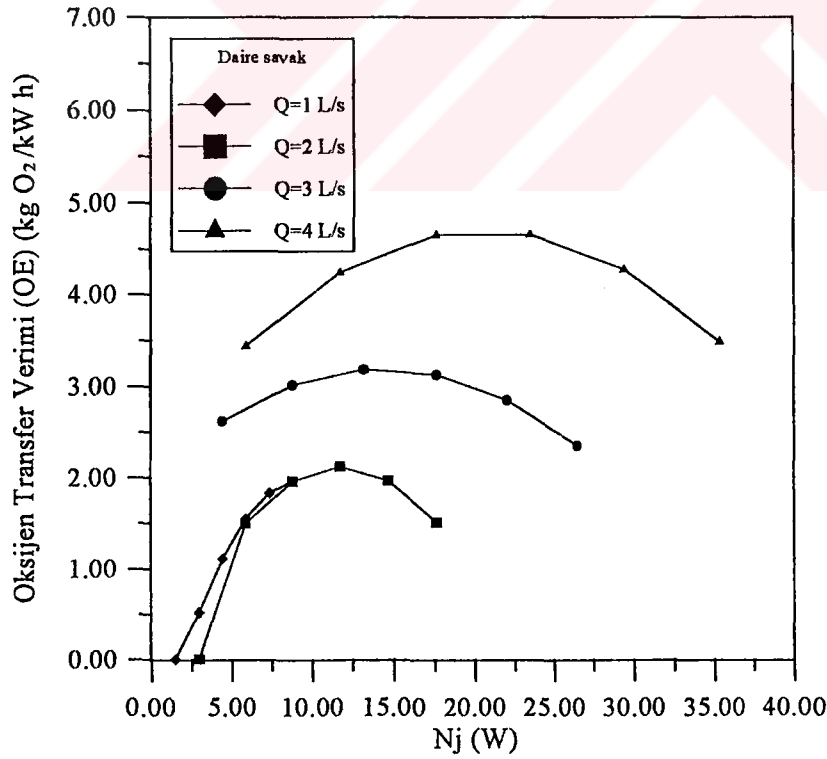
Şekil 6.44. 90° Üçgen savakta $(K_{La})_{20}$ 'nin N_j ile değişimi



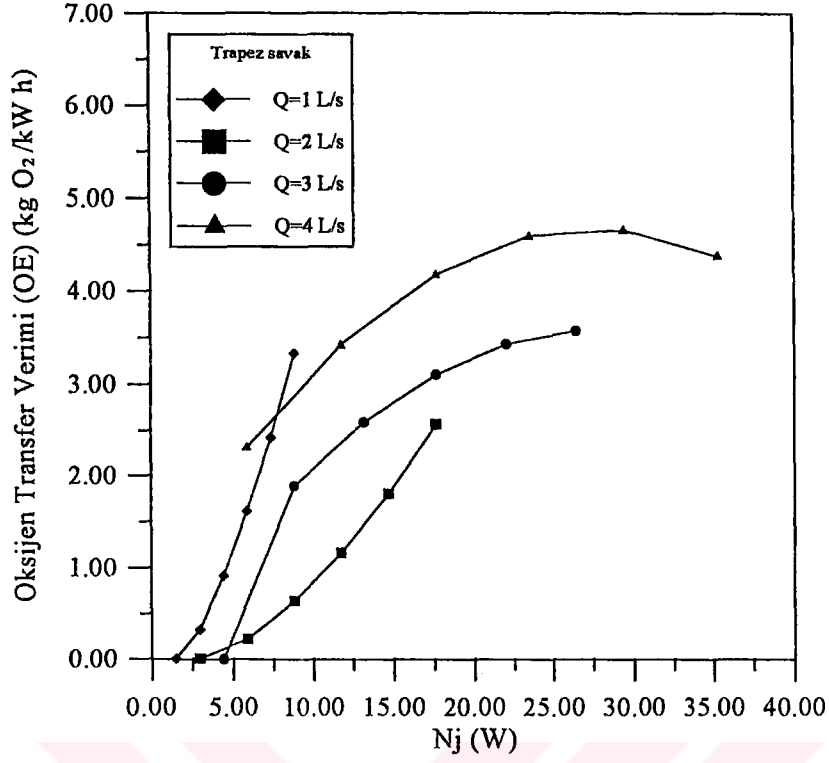
Şekil 6.45. 135° Üçgen savakta $(K_{La})_{20}$ 'nin N_j ile değişimi



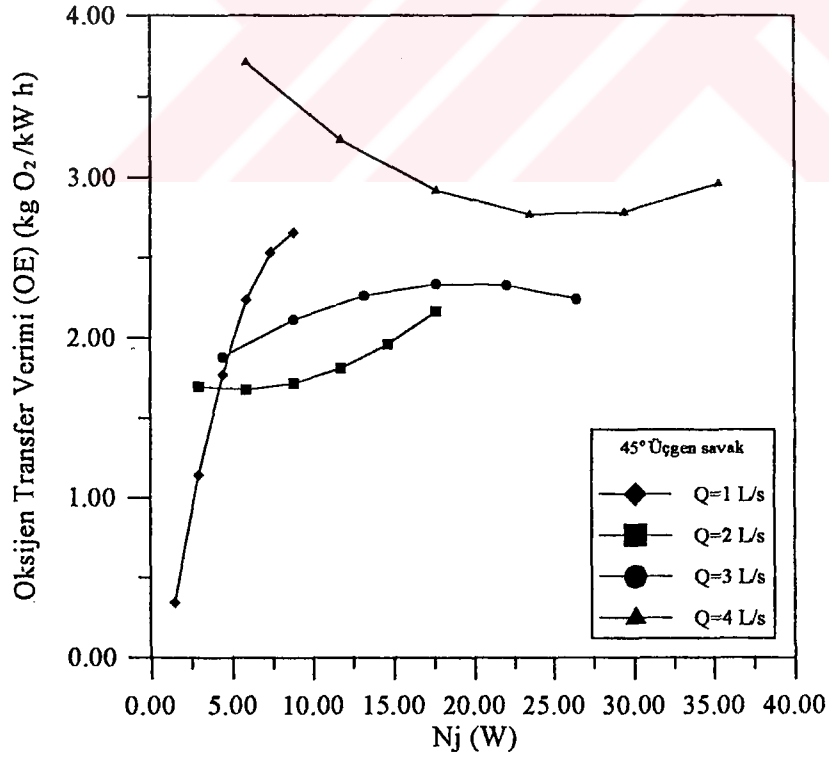
Şekil 6.46. Dikdörtgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi



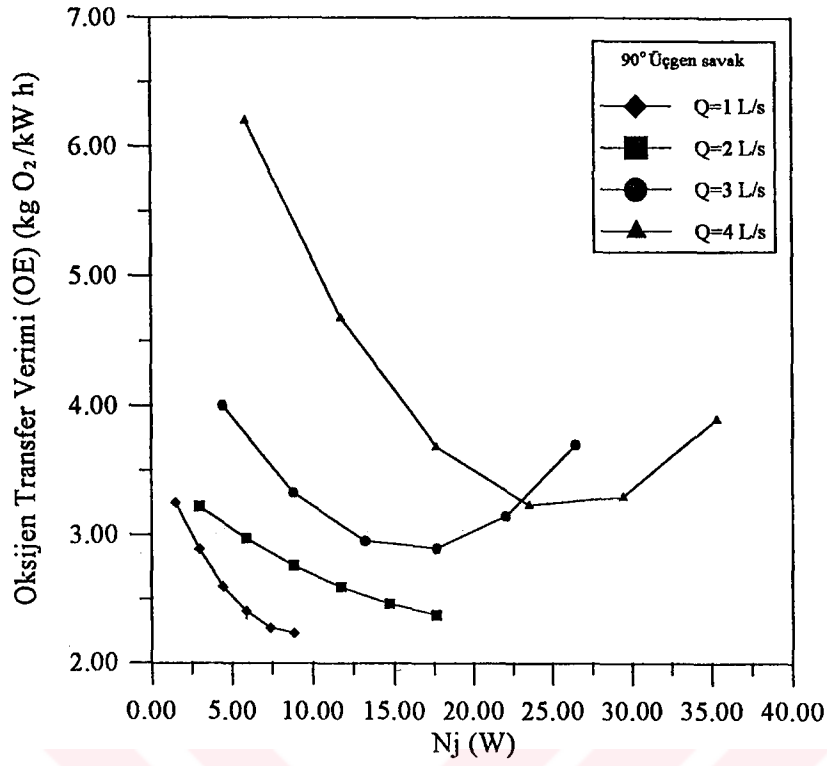
Şekil 6.47. Dairesel savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi



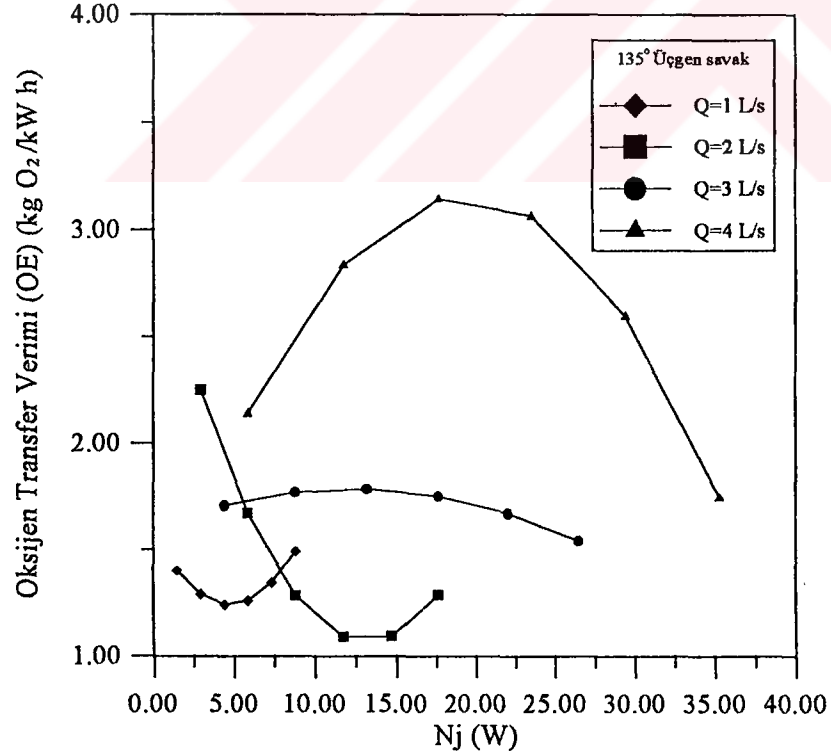
Şekil 6.48. Trapez savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi



Şekil 6.49. 45° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi



Şekil 6.50. 90° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi



Şekil 6.51. 135° Üçgen savakta oksijen transfer veriminin N_j ile değişimi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, geri devirsiz ve geri devirli sistemlerdeki çeşitli savak tipleri üzerinde oksijen transfer veriminin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bu incelemelerde savak havalandırıcılarda oksijen transfer verimini etkileyen parametreler olarak; su kalitesi, su sıcaklığı, mansap su derinliği, suyun savaktan düşme yüksekliği, hidrolik savak yükü, çözünmüş oksijen eksikliği ve savak tipi dikkate alınmıştır. Yapılmış olan çok sayıda deneyle çeşitli tipteki savakların oksijen transfer verimleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1-Geri devirsiz sistemler

- Savak şeklinin, oksijen transfer verimini etkileyen önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Savak şekline bağlı olarak su jeti tipi değişmiştir, yani her savak şekline özgü bir su jeti tipi oluşmuştur. Ayrıca her bir savakta debinin değişmesiyle de su jetinde genişlemeler veya daralmalar meydana gelmiştir. Böylece, su jeti tipinin değişmesi ile suya giren hava miktarı, dolayısıyla oksijen transfer verimi değişmiştir.

- Tüm savak tiplerinde oksijen transfer verimini etkileyen en önemli parametrenin, suyun düşme yüksekliği olduğu görülmüştür. Debinin ise oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinin, suyun düşme yüksekliğinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinden daha az olduğu görülmüştür.

- Büyük düşme yüksekliklerinden düşen su jetinin mansaptaki su tankında oluşturduğu hava kabarcıkları, küçük düşme yüksekliklerine göre daha fazla penetrasyon derinliğine ulaşmıştır. Böylelikle hava kabarcıklarının su ile temas süresi fazla olduğundan oksijen transfer verimi artmıştır. Fakat bunun yanında bilinmelidir ki, suyun düşme yüksekliğinin belli bir değerden daha fazla artması sonucu başlangıçta pürüzsüz olan su jeti pürüzlü hale gelecek, jette dalgalanmalar ve

kopmalar oluşacaktır. Dolayısıyla hava kabarcıklarının daha az derinliklere ulaşacak olması nedeniyle, su ile olan temas yüzeyleri azalacak ve oksijen transfer verimi düşecektir. Bu nedenle, suyun düşme yüksekliği seçilirken, savaktan düşecek su jetinin pürüzsüz olarak akmasını sağlayacak bir yükseklik seçilmesine dikkat edilmelidir.

- Genellikle tüm savak tipleri için debinin artması ile oksijen transfer verimi azalmıştır. Bununla beraber, belli bir değerden daha küçük olan debilerde suyun düşme yüksekliğinin artmasıyla su jetinde kırılmalar meydana gelecektir. Su jetindeki kırılmaların oluşmasıyla hava kabarcıkları daha az derinliklere ulaşacak ve su ile olan temas yüzeyleri azalacaktır. Dolayısıyla oksijen transfer verimi de düşecektir. Bu nedenle, suyun düşme yüksekliğinin artması ile jette kırılmaların oluşmayacağı bir debi değerinin seçilmesi gerekmektedir.

- Yapılan çalışmada, suyun savakla havalandırılmasında mansap su derinliğinin önemli bir faktör olduğu ve mansap su derinliğinin belli bir değere kadar artması ile oksijen transfer veriminin artacağı gözönüne alınarak yaklaşık olarak suyun maksimum düşme yüksekliğinin $2/3$ 'ü mansap su derinliği olarak seçilmiştir. İncelenen tüm savak tiplerinde su jetinin meydana getirdiği hava kabarcıklarının mansap su tankının tabanına çarpmadığı görülmüştür. Dolayısıyla, seçilen mansap su derinliğinin yeterli bir derinlik olduğu anlaşılmıştır.

- Dikdörtgen savakta, diğer savaklara göre daha düşük oksijen transfer verimi elde edilmiştir. Bu nedenle dikdörtgen savağın savak havalandırıcılarda kullanılması önerilmemektedir.

- Trapez savak (Cipolletti) ile dairesel savak, şekil olarak birbirine yakın enkesite sahip olmaları sebebiyle, bu iki savakta yaklaşık olarak benzer oksijen transfer verimleri elde edilmiştir.

- Üçgen savaklarda, diğer savaklardan daha iyi oksijen transfer verimi elde edilmiştir. Savak tepe açısı küçüldükçe oksijen transfer verimi artmıştır.

2-Geri devirli sistemler

- Geri devirsiz sistemlerde olduğu gibi, geri devirli sistemlerde de savak şekli ve suyun düşme yüksekliği oksijen transfer verimini etkileyen en önemli parametreler olarak görülmüştür. Debinin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinin ise, bu parametrelerin oksijen transfer verimi üzerindeki etkisinden daha az olduğu görülmüştür.

- Geri devirsiz sistemlerde belirtildiği gibi suyun düşme yüksekliğinin belli bir değeri aşması sonucu oksijen transfer veriminde azalma olacaktır. Bu nedenle suyun düşme yüksekliği seçilirken savaktan düşecek su jetinin pürüzsüz olarak akmasını sağlayacak bir yükseklik seçilmesine dikkat edilmelidir.

- Geri devirsiz sistemlerde bulunan deney sonuçlarının aksine, genellikle tüm savak tipleri için debinin artması ile oksijen transfer verimi artmıştır. Geri devirsiz sistemlerde bahsedildiği gibi belli bir değerden daha küçük debilerde suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer verimi azalacaktır. Bu nedenle, suyun düşme yüksekliğinin artmasıyla jette kırılmaların oluşmayacağı bir debi değerinin seçilmesi önerilmektedir.

- Genellikle tüm savak tipleri için suyun düşme yüksekliği ve debinin artmasıyla $(K_{La})_{20}$ değerinde bir artış görülmektedir.

- Genellikle; dikdörtgen, dairesel ve trapez savaklarda oksijen transfer verimi belli bir değere kadar suyun düşme yüksekliğinin artması ile artmış ve daha sonra suyun düşme yüksekliğinin artması ile azalmaya doğru bir eğilim göstermiştir.

- Trapez savaklarda küçük debilerde suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer verimi sürekli olarak bir artış göstermiştir. Bu, küçük debilerde trapez savağın diğer savaklara göre bir üstünlüğü olarak görülebilir.

- Küçük düşme yüksekliklerinde 90° üçgen savağın; dikdörtgen, dairesel ve trapez savaklardan daha iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu görülmüştür. 90° üçgen savakta büyük debilerde suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer

verimi belli bir noktaya kadar azalmış ve daha sonra artışa geçmiştir. Küçük debilerde ise oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artışı ile sürekli olarak azalmıştır.

- Üçgen savaklar içinde 90° üçgen savağın, en iyi oksijen transfer verimine sahip olduğu görülmüştür. 45° üçgen savakta en büyük debide oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar azalmış ve daha sonra artışa geçmiştir. En küçük debide ise suyun düşme yüksekliğinin artması ile oksijen transfer veriminde sürekli bir artış görülmüştür. 135° üçgen savakta büyük debilerde oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar artmış ve daha sonra azalmıştır. Küçük debilerde ise oksijen transfer verimi suyun düşme yüksekliğinin artması ile belli bir noktaya kadar azalmış ve daha sonra artmaya başlamıştır.



KAYNAKLAR

Albrecht, D., "Belüftung des Ruhrwassers am Wehr Spillenburg", Die Wasserwirtschaft, Vol. 11, 1968.

Albrecht, D., "Belüftungsversuche mit Frei Absturzendem Wasser", GWF Wasser/Abwasser, 112, 1971.

Albrecht, D., "Schätzung der Sauerstoffzufuhr durch Wehre und Kaskaden" Die Wasserwirtschaft, Vol. 11, 1969.

Amberg, H. R., Wise, D. W., and Aspitarle, T. R., "Aeration of Streams with Air and Molecular Oxygen", Proc., 6th Water and Air Conf. of Tech. Assn. of Pulp and Paper Industry, Jacksonville, Fla., 1969.

Apted, R. W., "The Mechanics of Aeration at Weirs with Special Reference to River Quality", MSc thesis, University of Newcastle-upon-Tyne, U.K., 1975.

Apted, R. W., and Novak, P., "Some Studies of Oxygen Uptake at Weirs", Proceedings of the XV Congress, IAHR paper B23, 1973.

ASCE Task Committee on Gas Transfer at Hydraulics Structures, "Gas Transfer at Hydraulics Structures", Air-Water Mass Transfer, Steven C. Wilhelms and John S. Gulliver, eds., ASCE, Reston, Va., 1991, pp. 460-493.

Avery, S., "The Transfer of Oxygen from Air Entrained by Jets Entering a Free Water Recipient", PhD thesis, University of Newcastle-upon-Tyne, U.K., 1976.

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.

Avery, S., and Novak, P., "Oxygen Transfer at Hydraulic Structures", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 104, HY11, 1978, pp. 1521-1540.

Avery, S., and Novak, P., "Oxygen Uptake in Hydraulic Jumps and at Owerfalls", Proceedings of the XVI Congress, IAHR C38, 1975.

Azbel, D., "Two Phase Flows in Chemical Engineering", Cambridge Univ. Press, Cambridge, England, 1981.

Barrett, M. J., Gameson, A. L. H., and Ogden, C. G., "Aeration Studies at Four Weir Systems", Water and Water Engineering, September, 1960.

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.

Bohac, C. E., and Ruane, R. J., "Solving the Dissolved Oxygen Problem", Hydro Rev., 10(1), 1990, pp. 62-73.

Boyle, W. C., "Development of Standard Procedures for Evaluating Oxygen Transfer Devices", EPA-600/2-83-102, U.S. Envir. Protection Agency, Washington, D.C., 1983.

Brater, E. H., and King, H. W., "Handbook of Hydraulics", 6th Ed., McGraw-Hill, New York, N.Y., 1976.

Butts, T. A., "Development of Design Criteria for Sidestream Elevated Pool Aeration Stations", Contract Rep. 452, Metropolitan Sanitary Dist. of Greater Chicago, Illinois State Water Survey (SWS) Div., Chicago, Ill, 1988.

Butts, T. A., and Evans, R. L., "Small Channel Dam Aeration Characteristics", J. Envir. Engrg., ASCE, 109(3), 1983, pp. 555-573.

Chanson, H., "Hydraulics Design of Stepped Cascades, Channels, Weirs and Spillways", Pergamon Press, Oxford, U.K., 1995.

Chanson, H., "Predicting Oxygen Content Downstream of Weirs, Spillways and Waterways", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Maritime and Energy, Vol. 112, No. 1, March, 1995, pp. 20-30.

Chennes, J. L., and Stephens, J. L., "A Model Study on Gravity Flow Aerators", Transactions, ASAE, 1971.

Chow V. T., "Open-Channel Hydraulics", McGRAW - HILL International Editions, Edition, 1959.

Cirpka, O., Reichert, R., Wanner, O., Müller, S. R., and Schwarzenbach, R., "Gas Exchange at River Cascades: Field Experiments and Model Calculations", Envir. Sci. and Technol., 27(10), 1993, pp. 2086-2097.

Daniil, E. I., and Gulliver, J. S., and Thene, J. R., "Water-Quality Impact Assessment for Hydropower", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 2, 1990, pp. 179-193.

Davis, J. E., Holland, J. D., Schneider, M. L., and Wilhelms, S. C., "SELECT: A Numerical One-Dimensional Model for Selective Withdrawal", Inst. Rep E-87-3, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss, 1987.

De Vries, A. H., "De Zoorstofverijking van der Water Door Overstorten", Literatuurrapport, RIZA, November, 1974, pp. 26-30.

Discharge Coefficients for Irregular Overfall Spillways, Engineering Monograph, No. 9, Bureau Reclamation, Denver, Colo., 1958.

Eckenfelder, W. W., "Process Design of Aeration Systems for Biological Waste Treatment", Chemical Engineering Progress, July, 1956.

Elmore, H. C., and West, W. F., "Effect of Water Temperature on Stream Reaeration", J. Sanit. Engrg. Div., ASCE, 87(6), pp. 59-71, 1961.

Elsawy, 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.

Eroğlu, V., "Su Tasfiyesi", T.C. İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1439, İstanbul, 1991.

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.

Ervine, D. A., McKeogh, E. J., and Elsayy, E. M., "Effect of Turbulence Intensity on the Rate of Air Entrainment by Plunging Water Jets", *Proc., ICE*, 69(2), 1980, pp. 425-445.

Essery, I. T. S., Tebbutt, T. H. Y., and Rasaratnam, S. K., "Design of Spillways for Re-aeration of Polluted Waters", *CIRIA Rep. No. 72*, CIRIA, London, U.K., 1978.

Falvey, H. T., "Air-Water Flow in Hydraulic Structures", *Engrg. Monograph No. 41*, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1980.

Falvey, H. T., "Discussion of Oxygen Transfer in Bubbly Shear Flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 6, June, 1994, pp. 774-776.

Fischer, H. G., List, E. J., Koh, R., and Imberger, J., "Mixing in Inland and Coastal Waters", *Academic Press*, San Diego, Calif., 1979, pp. 201-209.

Force, E. G., "Reaeration and Velocity Prediction for Small Streams", *Journal of Environmental Engineering Division*, ASCE, Vol. 102, No. 5, 1976, pp. 937-952.

French, R. H., "Open-Channel Hydraulics", *McGRAW - HILL International Editions*, Edition, 1986.

Gameson, A. L. H., "Weirs and Aeration of Rivers", *Journal of the Institution of Water Engineers*, Vol. 11, 1957.

Gameson, A. L. H., and Robertson, H. B., *J. Appl. Chem.*, 5, 503, 1955.

Gameson, A. L. H., Vandyke, K. G., and Ogden, C. G., "The Effect of Temperature on Aeration", *Water and Water Engineering*, November, 1958.

Gannon, J. J., "Aeration at Waste Treatment Plant Outfall Structures", *Water and Wastes Engineering*, April, 1967.

Grindrod, J., "British Research on Aeration at Weir", *Water and Sewage Works*, October, 1962.

Gulliver, J. S., and Rindels, A. J., "Measurement of Air-Water Oxygen Transfer at Hydraulics Structures", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 3, March, 1993, pp. 328-349.

Gulliver, J. S., and Wilhelms, S. C., "Discussion of 'Aeration at Ohio River Basin Navigation Dams,' by S. F. Railsback, J. M. Bownds, M. J. Sak, M. M. Stevens, and G. H. Taylor", *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 108, No. 3, March, 1992, pp. 444-446.

Gulliver, J. S., and Wilhelms, S. C., and Parkhill, K. L., "Predictive Capabilities in Oxygen Transfer at Hydraulics Structures", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 7, July, 1998, pp. 664-671.

Gulliver, J. S., Daniil, E. I., and Thene, J. R., "Assessing Hydro Project Effect on D. O. Concentration", *Hydro Rev.*, 9(6), 1990, pp. 74-87.

Gulliver, J. S., Hibbs, D. E., and McDonald, J. P., "Measurement of Effective Saturation Concentration for Gas Transfer", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 2, February, 1997, pp. 86-97.

Gulliver, J. S., Thene, J. R., and Rindels, A. J., "Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 3, March, 1990, pp. 503-523.

Hauser, G. E., Shane, R. M., Niznik, J. A., and Brock, W. G., "Innovative Reregulation Weirs for Dam Releases", *Proceedings of the 1991 National Conference on Hydraulic Engineering, Proceedings - National Conference on Hydraulic Engineering*, 1991, Publ. by ASCE, New York, NY, USA, pp. 178-183.

Hauser, Gary E., Morris, Doug I., "High - Performance Aerating Weirs for Dissolved Oxygen Improvement", *Proceedings of the 1995 International Conference on Hydropower, part 2 (of 3), Waterpower - Proceedings of the International Conference on Hydropower*, Vol. 2, 1995, ASCE, New York, NY, USA, pp. 1696-1705.

Hauser, Gary E., Proctor, William D., and Rizk, Tony A., "Performance of Prototype Aerating Weirs Downstream from TVA Hydropower Dams", *Proceedings of the 1993 National Conference on Hydraulic Engineering, part 1 (of 2), Proceedings - National Conference on Hydraulic Engineering*, pt 1, 1993, Publ. by ASCE, New York, NY, USA, pp. 99-103.

Hibbs, D. E., and Gulliver, J. S., "Prediction of Effective Saturation Concentration at Spillway Plunge Pools", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 123, No. 11, November, 1997, pp. 940-949.

Hinze, J. O., "Fundamentals of the Hydrodynamic Mechanism of Splitting in Dispersion Processes", *Am. Inst. of Chem. Engrg. J.*, 1 (3), 1955, pp. 289-295.

Hitchman, M. L., "Measurement of Dissolved Oxygen", John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y., 1978.

Holler, A. G., "Reaeration of Discharge through Hydraulic Structures", PhD Thesis, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, 1970.

Holler, A. G., "The Mechanism Describing Oxygen Transfer from the Atmosphere to Discharge Through Hydraulic Structures", *Proc., XIV Congr., International Association for Hydraulic Research*, Paris, France, 1971, pp. 373-382.

Hua, H., "Accurate Method For Calculation of Saturation DO", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 5, September/October, 1990, pp. 988-990.

Hydraulic Design Criteria, U. S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, 1970.

Isaacs, W. P., and Gaudy, A. F., Jr., "Atmospheric oxidation in a simulated stream", *J. Sanit. Engrg. Div., ASCE* 94 (2), 319, 1968.

Jarvis, P. J., "A Study of the Mechanics of Aeration at Weirs", MSc thesis, University of Newcastle-upon-Tyne, U.K., 1970.

Johnson, P. L., and King, D. L., "Prediction of Dissolved Gas at Hydraulic Structures", *Symp. on Reaeration Res., ASCE*, New York, N. Y., 1975, pp. 76-90.

Jun, K. S., and Jain, S. C., "Oxygen Transfer in Bubbly Turbulent Shear Flow", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 119, No. 1, January, 1993, pp. 21-36.

Kashiwaya, Murakami, and Yuasa, "Aeration of the Weir", Proceedings of the XXVII. Congress, JSCE, 1972.

Kayser, R., and Braunschweig, R. S., "Sauerstoffeintag an Wehren mit geringen Beaufschlagungen", Wasser und Boden, No.2, 1975, pp. 21-24.

Khudenko, B. M., discussion of "Oxygen Transfer at Hydraulic Structures", Journal of by S. T. Avery and P. Novak, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. 9, 1979, pp. 1213-1216.

King, D. L., "Reaeration of Stream and Reservoirs Analysis and Bibliography", PB Report, Bureau of Recramation, Denver, Colo., REC 7055, 1971.

Kline, S. J., "The Purposes of Uncertainty Analysis", J. Fluids Engrg., 107 (2), 1985, pp. 153-160.

Knowlton, R. J., Garver, R. J., Gulliver, J. S., and Renaud, R., "Hydropower Feasibility at the St. Cloud Dam", Project Report No. 204, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, Minn, 1982.

Kothandaraman, V., "Effect of Contaminants on Reaeration Rates in River Water", J. Water Pollution Control Federation, 5 (43), 1970, pp. 806-817.

Labocha, M., Corsi, R. L., and Zytner, R. G., "Parameters Influencing Oxygen Uptake at Clarifier Weirs", Water Environmental Research, Vol. 68, No. 6, September/October, 1996, pp. 988-994.

Levich, V. G., "Physicochemical Hydrodynamics", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1962.

Lewis, W. K., and Whitman, W. G., "Principles of Gas Absorption", Ind. and Engrg. Chem., 16 (12), 1924, pp. 1215-1220.

Londong, G., "Flubwasserbelftungen an der Lippe", Gewässerschutz, Wasser Abwasser, Vol. 1, 1968.

Macaitis, B., "Sidestream Elevated Pool Aeration Station Design", Proc., Air-Water Mass Transfer, S. C. Wilhelms and J. S. Gulliver, eds., ASCE, New York, N.Y., 1991, pp. 670-681.

Markofsky, M., and Kobus H., "Unified Presentation of Weir-Aeration Data", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 104, 1978, pp. 562.

Mastropietro, M. A., "Effect of Dam Reaeration on Waste Assimilation Capacities of Mohawk River", Proceedings of the 23rd International Waste Conference, 1968.

McCutcheon, S. C. "Water Quality Modeling", Volume I, Transport and Surface Exchange in Rivers. CRC Press, Boca Raton, Fla, 1989.

McDonald, J., and Gulliver, J. S., "Methane Tracer Technique for Gas Transfer at Hydraulic Structures", Proc., Air-Water Mass Transfer, S. C. Wilhelms and J. S. Gulliver, eds., ASCE, New York, N.Y., 1991, pp. 267-277.

McGhee, T. J., "Water Supply and Sewerage", McGRAW - HILL International Editions, 6th Edition, 1991.

McKeogh, E. J., and Elsaway, E. M., "Air Entrained in Pool by Plunging Jet", J. Hydr. Div., ASCE, 106 (10), 1980, pp. 1577-1593.

Muslu, Y., "Su Temini ve Çevre Sağlığı Cilt II", T.C. İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1302, İstanbul, 1985.

Nakasone, H., "Applicable Scope of Equation of Aeration and the Region for Aeration", Transactions, JSIDRE, Vol. 59, 1975.

Nakasone, H., "Comparison of Falls and Spillways at River with Results of Experimental Channels", Transactions, JSIDRE, Vol. 83, 1979.

Nakasone, H., "Derivation of Aeration Equation and its Verification Study on the Aeration at Falls and Spillways", Transactions, JSIDRE, 1975, pp. 42-48.

Nakasone, H., "Experimental Study on Entrained Air at Falls and Spillways", Transactions, JSIDRE, Vol. 51, 1974.

Nakasone, H., "Study of Aeration at Weirs and Cascades", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 1, February, 1987, pp. 64-81.

Nakasone, H., et al., "Study on the Effect of Pollutant Materials for Oxygen Transfer of Falling Water", Journal of Water and Waste, Vol. 17, No. 6, 1976, pp. 13-18.

Parkhill, K. L., "Measurement of Air-Water Mass Transfer at Hydraulic Structures", Ms Thesis, Univ. of Minnesota, Minneapolis, Minn., 1994.

Parkhill, K. L., and Gulliver, J. S., "Indirect Measurement of Oxygen Solubility" Water Res., 31 (10), 1997, pp. 2564-2572.

Peavy, H. S., Rowe, D. R., and Tchobanoglous, G., "Environmental Engineering", McGRAW - HILL International Editions, 1st Edition, 1985.

Pincince, A. B., "Transfer of Oxygen and Emissions of Volatile Organic Compounds at Clarifier Weirs" J. Water Pollut. Control Fed., 63, 114, 1991.

Pöpel, H. J., "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, 1974, pp. 61-64.

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.

Railsback, S. F., "Dissolved Oxygen Strategies for Hydro Licensing", Hydro. Rev., 7 (3), 1988, pp. 52-64.

Rindels, A. J., "Gas Transfer at Spillways, Hydraulic Jumps and Overfalls", PhD Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, Minn., 1990.

Rindels, A. J., and Gulliver, J. S., "Measurements of Oxygen Transfer at Spillways and Overfalls", St. Anthony Falls Hydr. Lab. Proj. Rep. No. 266, Univ. of Minnesota, Minneapolis, Minn., 1989.

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,

Robinson, R., "Chicago's Waterfalls", Civ. Engrg., ASCE, 64 (7), 1994, 36-39.

Schultz, D. J., Pankow, J. F., Tai, D. Y., Stephen, D. W., and Rathbun, R. E., "Determination, Storage and Preservation of Low Molecular Weight Gases in Aqueous Solutions", U. S. Geological Survey J. Res., 4 (2), 1976, pp. 247-251.

Sığner, A., "Hidrolik El Kitabı", İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 781, Arkadaşlar Matbaası, İstanbul, 1970.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1980.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1985.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1989.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, AWWA, and WPCF, 1992.

Taner, N., "Hidrolik II", İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 458, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1961.

Tang, N. H., Nirmalakhandan, N., and Speece, R. E., "Weir Aeration: Models and Unit Energy Consumption", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 2, February, 1995, pp. 196-199.

Tebbutts, T. H. Y., "Some Study on Aeration in Cascade", Water Research, Vol. 6, 1972.

Tebbutts, T. H. Y., A Discussion of "Small Stream Channel Dam Aeration Characteristics", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 3, 1984, pp. 730-733.

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.

Thene, J. R., "Gas Transfer at Weirs Using Hydrocarbon Gas Tracer Method with Head-Space Analysis", PhD Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, Minn., 1988.

Thene, J. R., and Gulliver, J. S., "Gas-Transfer Measurements Using Head-Space Analysis of Propane", Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 6, 1990, pp. 1107-1124.

Thene, J. R., Daniil, E., and Stefan, H. G., "Low-Head Hydropower Impacts on Stream Dissolved Oxygen", Water Res. Bull., 25 (6), 1989, pp. 1189-1198.

Thene, J. R., Daniil, E., and Stefan, H., "Effect of Hastings Hydropower Project at Lock and Dam no. 2 on Dissolved Oxygen in the Mississippi River", Project Report No. 281, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, Minn, 1989.

Thompson, E. J., and Gulliver, J. S., "Oxygen Transfer Similitude for Vented Hydroturbine", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 6, June, 1997, pp. 529-538.

Tracy, H. J., "Discharge Characteristics of Broad-Crested Weirs", U. S. Geological Survey Circular 397, U. S. Geological Survey, Washington, D. C., 1957.

Tsang, C. C., "Hydraulic and Aeration Performance of Labyrinth Weirs", PhD thesis , University of London, U.K., 1987.

TSE 2777, "İnce Kenarlı Savaklar ve Venturi Kanalları Kullanılarak Açık Kanallardaki Sıvı Akımının Ölçülmesi", Nisan, 1977.

Tsivoglou, E. C., and Wallace, J. R., "Characterization of Stream Reaeration Capacity", USEPA Rep. No. R3-72-012, U.S. Envir. Protection Agency., Washington, D. C., 1972.

Twort, A. C., Law, F. M., Crowley, F. W., and Ratnayaka, D. D. "Water Supply", Edward Arnold International Student Edition, 4th Edition, 1994.

Valsaraj, K. T., "Hydrophobic Compounds in the Environment. Adsorption Equilibrium at the Air-water Interface", Water Res., 28 (4), 1994, pp. 819-830.

Van der Kroon, G. T. N., and Schram, A. H., "Weir Aeration - Part I", H₂O, No.22, 1969, pp.528-537.

Van der Kroon, G. T. N., and Schram, A. H., "Weir Aeration - Part II", H₂O, No.22, 1969, pp.538-545.

Water Research Laboratory (WRL), "Notes on Water Pollution-Aeration of Weirs", Report. No.61, Department of the Environment, Stevenage, U.K., 1973.

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.

White, E. M., "Fluid Mechanics", McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y., 1979, pp. 63-65.

Wilhelms, S. C. "Measurement of Dissolved Gases at Corps of Engineers Projects", T. P. E-84-6, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, 1984.

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.

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.

Wilhelms, S. C., Gulliver, J. S., and Parkhill, K., "Reaeration at Low-Head Hydraulic Structures", Tech. Rep. HL-91, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, 1992.

Wilke, C. R., and Chang, P., "Correction of Diffusion Coefficient in Dilute Solutions", J. Am. Inst. Chem. Engrg., 1 (2), 1955, pp. 264-270.

Wood, I. R., "Air Entrainment in Free-Surface Flows", IAHR Hydr. Struct. Des. Manual No. 4, Hydraulic Design Considerations. A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1991.

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.

EKLER

EK-1. Geri Devirsiz Sistemde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

Tablo E.1.1. Yanal büzülmeli dikdörtgen şekilli savak

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _s (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	23.2	4.2	4.2	7.52	1.00	0.00	0.00
2.	2	0.15	0.50	21.7	4.3	4.3	7.75	1.00	0.00	0.00
3.	3	0.15	0.50	21.1	4.3	4.3	7.84	1.00	0.00	0.00
4.	4	0.15	0.50	21.1	3.5	3.6	7.84	1.02	0.02	0.02
5.	1	0.30	0.50	23.0	4.2	4.4	7.55	1.06	0.06	0.06
6.	2	0.30	0.50	21.5	4.3	4.4	7.78	1.03	0.03	0.03
7.	3	0.30	0.50	20.9	4.3	4.4	7.88	1.03	0.03	0.03
8.	4	0.30	0.50	21.0	3.5	3.7	7.85	1.05	0.05	0.05
9.	1	0.45	0.50	22.9	4.2	4.6	7.57	1.13	0.12	0.11
10.	2	0.45	0.50	21.4	4.3	4.5	7.79	1.06	0.06	0.06
11.	3	0.45	0.50	20.8	4.3	4.5	7.90	1.06	0.06	0.06
12.	4	0.45	0.50	21.0	3.5	3.8	7.85	1.07	0.07	0.07
13.	1	0.60	0.50	22.9	4.2	4.7	7.57	1.17	0.15	0.14
14.	2	0.60	0.50	21.4	4.3	4.6	7.79	1.09	0.08	0.08
15.	3	0.60	0.50	20.9	4.3	4.6	7.88	1.09	0.08	0.08
16.	4	0.60	0.50	21.0	3.5	4.1	7.85	1.16	0.14	0.14
17.	1	0.75	0.50	22.9	4.2	5.2	7.57	1.42	0.30	0.29
18.	2	0.75	0.50	21.4	4.3	5.0	7.79	1.25	0.20	0.19
19.	3	0.75	0.50	20.8	4.3	4.8	7.90	1.16	0.14	0.14
20.	4	0.75	0.50	21.0	3.5	4.3	7.85	1.23	0.19	0.19
21.	1	0.90	0.50	22.9	4.2	5.5	7.57	1.63	0.39	0.37
22.	2	0.90	0.50	21.4	4.3	5.0	7.79	1.25	0.20	0.19
23.	3	0.90	0.50	20.8	4.3	5.0	7.90	1.24	0.19	0.19
24.	4	0.90	0.50	21.0	3.5	4.4	7.85	1.26	0.21	0.21

Tablo E.1.2. ½ Dairesel şekilli savak

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _s (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	21.3	4.0	4.2	7.81	1.06	0.06	0.06
2.	2	0.15	0.50	24.2	3.5	3.7	7.39	1.05	0.05	0.05
3.	3	0.15	0.50	22.7	4.2	4.2	7.60	1.00	0.00	0.00
4.	4	0.15	0.50	21.9	3.9	4.2	7.72	1.09	0.08	0.08
5.	1	0.30	0.50	21.3	4.0	4.2	7.81	1.06	0.06	0.06
6.	2	0.30	0.50	24.1	3.5	3.8	7.41	1.08	0.07	0.06
7.	3	0.30	0.50	22.6	4.2	4.3	7.61	1.03	0.03	0.03
8.	4	0.30	0.50	21.7	3.9	4.2	7.75	1.08	0.07	0.07
9.	1	0.45	0.50	21.3	4.0	4.4	7.81	1.12	0.11	0.11
10.	2	0.45	0.50	24.0	3.5	4.0	7.41	1.15	0.13	0.12
11.	3	0.45	0.50	22.5	4.2	4.5	7.63	1.10	0.09	0.09
12.	4	0.45	0.50	21.7	3.9	4.3	7.75	1.12	0.11	0.11
13.	1	0.60	0.50	21.3	4.0	5.0	7.81	1.36	0.26	0.25
14.	2	0.60	0.50	24.0	3.5	4.3	7.41	1.26	0.21	0.20
15.	3	0.60	0.50	22.4	4.2	4.7	7.64	1.17	0.15	0.14
16.	4	0.60	0.50	21.7	3.9	4.6	7.75	1.22	0.18	0.18
17.	1	0.75	0.50	21.3	4.0	5.4	7.81	1.58	0.37	0.36
18.	2	0.75	0.50	24.0	3.5	4.5	7.41	1.34	0.25	0.23
19.	3	0.75	0.50	22.4	4.2	5.0	7.64	1.30	0.23	0.22
20.	4	0.75	0.50	21.7	3.9	4.8	7.75	1.31	0.24	0.23
21.	1	0.90	0.50	21.3	4.0	5.6	7.81	1.72	0.42	0.41
22.	2	0.90	0.50	24.0	3.5	4.9	7.41	1.56	0.36	0.34
23.	3	0.90	0.50	22.2	4.2	5.2	7.67	1.40	0.29	0.28
24.	4	0.90	0.50	21.7	3.9	5.0	7.75	1.40	0.29	0.28

Tablo E.1.3. 4/1 trapez şekilli savak

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _s (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	23.0	4.4	4.5	7.55	1.03	0.03	0.03
2.	2	0.15	0.50	21.5	4.5	4.6	7.78	1.03	0.03	0.03
3.	3	0.15	0.50	21.4	4.1	4.3	7.79	1.06	0.06	0.06
4.	4	0.15	0.50	21.0	4.0	4.0	7.85	1.00	0.00	0.00
5.	1	0.30	0.50	22.7	4.4	4.6	7.60	1.07	0.07	0.07
6.	2	0.30	0.50	21.3	4.5	4.7	7.81	1.06	0.06	0.06
7.	3	0.30	0.50	21.3	4.1	4.4	7.81	1.09	0.08	0.08
8.	4	0.30	0.50	20.8	4.0	4.3	7.90	1.08	0.07	0.07
9.	1	0.45	0.50	22.5	4.4	4.7	7.63	1.10	0.09	0.09
10.	2	0.45	0.50	21.3	4.5	4.7	7.81	1.06	0.06	0.06
11.	3	0.45	0.50	21.2	4.1	4.6	7.82	1.16	0.14	0.14
12.	4	0.45	0.50	20.8	4.0	4.5	7.90	1.15	0.13	0.13
13.	1	0.60	0.50	22.4	4.4	5.0	7.64	1.23	0.19	0.18
14.	2	0.60	0.50	21.4	4.5	4.9	7.79	1.14	0.12	0.12
15.	3	0.60	0.50	21.2	4.1	4.9	7.82	1.27	0.21	0.21
16.	4	0.60	0.50	20.8	4.0	4.7	7.90	1.22	0.18	0.18
17.	1	0.75	0.50	22.4	4.4	5.5	7.64	1.51	0.34	0.33
18.	2	0.75	0.50	21.5	4.5	5.4	7.78	1.38	0.28	0.27
19.	3	0.75	0.50	21.2	4.1	5.2	7.82	1.42	0.30	0.29
20.	4	0.75	0.50	20.8	4.0	5.0	7.90	1.34	0.25	0.25
21.	1	0.90	0.50	22.4	4.4	5.8	7.64	1.76	0.43	0.41
22.	2	0.90	0.50	21.6	4.5	5.7	7.76	1.58	0.37	0.36
23.	3	0.90	0.50	21.2	4.1	5.4	7.82	1.54	0.35	0.34
24.	4	0.90	0.50	20.1	4.0	5.4	7.85	1.57	0.36	0.35

Tablo E.1.4. 45° üçgen şekilli savak

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _s (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	23.7	4.3	4.6	7.46	1.10	0.09	0.08
2.	2	0.15	0.50	23.6	4.2	4.6	7.47	1.14	0.12	0.11
3.	3	0.15	0.50	23.9	4.5	4.8	7.43	1.11	0.10	0.09
4.	4	0.15	0.50	24.5	4.3	4.7	7.35	1.15	0.13	0.12
5.	1	0.30	0.50	23.3	4.3	5.0	7.51	1.28	0.22	0.21
6.	2	0.30	0.50	23.4	4.2	4.8	7.50	1.22	0.18	0.17
7.	3	0.30	0.50	23.7	4.5	5.0	7.46	1.20	0.17	0.16
8.	4	0.30	0.50	24.1	4.3	4.9	7.41	1.24	0.19	0.18
9.	1	0.45	0.50	23.2	4.3	5.3	7.52	1.45	0.31	0.29
10.	2	0.45	0.50	23.2	4.2	5.1	7.52	1.37	0.27	0.26
11.	3	0.45	0.50	23.6	4.5	5.2	7.47	1.31	0.24	0.22
12.	4	0.45	0.50	24.0	4.3	5.0	7.42	1.29	0.22	0.20
13.	1	0.60	0.50	23.1	4.3	5.5	7.54	1.59	0.37	0.35
14.	2	0.60	0.50	23.2	4.2	5.4	7.52	1.57	0.36	0.34
15.	3	0.60	0.50	23.5	4.5	5.5	7.49	1.50	0.33	0.31
16.	4	0.60	0.50	23.9	4.3	5.3	7.43	1.47	0.32	0.30
17.	1	0.75	0.50	23.1	4.3	5.9	7.54	1.98	0.49	0.47
18.	2	0.75	0.50	23.2	4.2	5.6	7.52	1.73	0.42	0.40
19.	3	0.75	0.50	23.5	4.5	5.7	7.49	1.67	0.40	0.38
20.	4	0.75	0.50	23.9	4.3	5.6	7.43	1.71	0.42	0.40
21.	1	0.90	0.50	23.1	4.3	6.0	7.54	2.10	0.52	0.50
22.	2	0.90	0.50	23.2	4.2	5.8	7.52	1.93	0.48	0.46
23.	3	0.90	0.50	23.5	4.5	5.8	7.49	1.77	0.44	0.42
24.	4	0.90	0.50	23.8	4.3	5.8	7.45	1.91	0.48	0.45

Tablo E.1.5. 90° üçgen şekilli savak

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _s (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	23.6	3.7	4.0	7.47	1.09	0.08	0.07
2.	2	0.15	0.50	22.4	4.0	4.3	7.64	1.09	0.08	0.08
3.	3	0.15	0.50	21.7	4.0	4.2	7.75	1.06	0.06	0.06
4.	4	0.15	0.50	21.5	3.8	4.1	7.78	1.08	0.07	0.07
5.	1	0.30	0.50	23.4	3.7	4.3	7.50	1.19	0.16	0.15
6.	2	0.30	0.50	22.3	4.0	4.6	7.66	1.20	0.17	0.16
7.	3	0.30	0.50	21.6	4.0	4.5	7.76	1.15	0.13	0.13
8.	4	0.30	0.50	21.4	3.8	4.3	7.79	1.14	0.12	0.12
9.	1	0.45	0.50	23.3	3.7	4.9	7.51	1.46	0.32	0.30
10.	2	0.45	0.50	22.3	4.0	5.0	7.66	1.38	0.28	0.27
11.	3	0.45	0.50	21.6	4.0	4.9	7.76	1.31	0.24	0.23
12.	4	0.45	0.50	21.4	3.8	4.7	7.79	1.29	0.22	0.21
13.	1	0.60	0.50	23.3	3.7	5.1	7.51	1.58	0.37	0.35
14.	2	0.60	0.50	22.2	4.0	5.2	7.67	1.49	0.33	0.32
15.	3	0.60	0.50	21.6	4.0	5.1	7.76	1.41	0.29	0.28
16.	4	0.60	0.50	21.4	3.8	4.9	7.79	1.38	0.28	0.27
17.	1	0.75	0.50	23.3	3.7	5.4	7.51	1.81	0.45	0.43
18.	2	0.75	0.50	22.2	4.0	5.6	7.67	1.77	0.44	0.43
19.	3	0.75	0.50	21.6	4.0	5.4	7.76	1.59	0.37	0.36
20.	4	0.75	0.50	21.4	3.8	5.2	7.79	1.54	0.35	0.34
21.	1	0.90	0.50	23.2	3.7	5.6	7.52	1.99	0.50	0.48
22.	2	0.90	0.50	22.2	4.0	5.9	7.67	2.07	0.52	0.50
23.	3	0.90	0.50	21.6	4.0	5.7	7.76	1.83	0.45	0.44
24.	4	0.90	0.50	21.5	3.8	5.5	7.78	1.75	0.43	0.42

Tablo E.1.6. 135° üçgen şekilli savak

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _s (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	20.7	5.6	5.9	7.91	1.15	0.13	0.13
2.	2	0.15	0.50	20.5	4.8	5.1	7.94	1.11	0.10	0.10
3.	3	0.15	0.50	22.2	4.2	4.4	7.67	1.06	0.06	0.06
4.	4	0.15	0.50	21.2	3.5	3.7	7.82	1.05	0.05	0.05
5.	1	0.30	0.50	20.6	5.6	6.0	7.93	1.21	0.17	0.17
6.	2	0.30	0.50	20.3	4.8	5.2	7.97	1.14	0.12	0.12
7.	3	0.30	0.50	22.1	4.2	4.5	7.69	1.09	0.08	0.08
8.	4	0.30	0.50	21.2	3.5	3.8	7.82	1.07	0.07	0.07
9.	1	0.45	0.50	20.5	5.3	6.1	7.94	1.43	0.30	0.30
10.	2	0.45	0.50	20.5	4.8	5.6	7.94	1.34	0.25	0.25
11.	3	0.45	0.50	22.0	4.2	4.8	7.70	1.21	0.17	0.16
12.	4	0.45	0.50	21.0	3.5	4.2	7.85	1.19	0.16	0.16
13.	1	0.60	0.50	20.5	5.3	6.2	7.94	1.52	0.34	0.34
14.	2	0.60	0.50	20.5	4.8	5.8	7.94	1.47	0.32	0.32
15.	3	0.60	0.50	21.9	4.2	5.2	7.72	1.40	0.29	0.28
16.	4	0.60	0.50	21.0	3.5	4.5	7.85	1.30	0.23	0.23
17.	1	0.75	0.50	20.6	5.3	6.4	7.93	1.72	0.42	0.42
18.	2	0.75	0.50	20.5	4.8	5.9	7.94	1.54	0.35	0.35
19.	3	0.75	0.50	21.9	4.2	5.5	7.72	1.59	0.37	0.36
20.	4	0.75	0.50	21.0	3.5	4.8	7.85	1.43	0.30	0.29
21.	1	0.90	0.50	20.6	5.3	6.5	7.93	1.84	0.46	0.46
22.	2	0.90	0.50	20.5	4.8	6.1	7.94	1.71	0.42	0.42
23.	3	0.90	0.50	21.9	4.2	5.8	7.72	1.83	0.45	0.44
24.	4	0.90	0.50	21.0	3.5	5.1	7.85	1.58	0.37	0.36

Tablo E.1.7. Lineer şekilli savak (180°) (Yanal büzülmesiz dikdörtgen şekilli savak)

Sıra No	Q (L/s)	h (m)	H (m)	T (°C)	C _u (mg/L)	C _d (mg/L)	C _t (mg/L)	r (-)	E (-)	E ₂₀ (-)
1.	1	0.15	0.50	21.7	4.6	4.9	7.75	1.11	0.10	0.10
2.	2	0.15	0.50	20.7	4.2	4.4	7.91	1.06	0.06	0.06
3.	3	0.15	0.50	20.2	3.8	4.0	7.98	1.05	0.05	0.05
4.	4	0.15	0.50	20.1	3.1	3.2	8.00	1.02	0.02	0.02
5.	1	0.30	0.50	21.7	4.6	5.1	7.75	1.19	0.16	0.15
6.	2	0.30	0.50	20.7	4.2	4.6	7.91	1.12	0.11	0.11
7.	3	0.30	0.50	20.2	3.8	4.2	7.98	1.11	0.10	0.10
8.	4	0.30	0.50	20.1	3.1	3.5	8.00	1.09	0.08	0.08
9.	1	0.45	0.50	21.5	4.6	5.4	7.78	1.34	0.25	0.24
10.	2	0.45	0.50	20.6	4.2	4.8	7.93	1.19	0.16	0.16
11.	3	0.45	0.50	20.2	3.8	4.4	7.98	1.17	0.15	0.15
12.	4	0.45	0.50	20.0	3.1	3.7	8.01	1.14	0.12	0.12
13.	1	0.60	0.50	21.5	4.6	5.6	7.78	1.46	0.32	0.31
14.	2	0.60	0.50	20.6	4.2	5.2	7.93	1.37	0.27	0.27
15.	3	0.60	0.50	20.2	3.8	4.7	7.98	1.27	0.21	0.21
16.	4	0.60	0.50	20.0	3.1	3.9	8.01	1.19	0.16	0.16
17.	1	0.75	0.50	21.5	4.6	5.9	7.78	1.69	0.41	0.40
18.	2	0.75	0.50	20.6	4.2	5.5	7.93	1.53	0.35	0.35
19.	3	0.75	0.50	20.2	3.8	5.0	7.98	1.40	0.29	0.29
20.	4	0.75	0.50	20.0	3.1	4.2	8.01	1.29	0.22	0.22
21.	1	0.90	0.50	21.5	4.6	6.1	7.78	1.89	0.47	0.46
22.	2	0.90	0.50	20.6	4.2	5.8	7.93	1.75	0.43	0.43
23.	3	0.90	0.50	20.2	3.8	5.2	7.98	1.50	0.33	0.33
24.	4	0.90	0.50	20.0	3.1	4.6	8.01	1.44	0.31	0.31

EK-2. Geri Devirli Sistemde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

Tablo E.2.1. Yanal büzölmeli dikdörtgen şekilli savak

Sıra No	Q (m ³ /s)	h (m)	H (m)	(K _L a) ₂₀ (1/saat)	C _s * (mg/L)	OR (mg/L/saat)	V (m ³)	N _j (W)	OE (kg/kW saat)
1.	0.001	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	0.936	1.472	0.000
2.	0.002	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	0.964	2.943	0.000
3.	0.003	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	0.984	4.415	0.000
4.	0.004	0.15	0.50	2.086	9.17	19.129	1.005	5.886	3.266
5.	0.001	0.30	0.50	0.162	9.17	1.486	0.936	2.943	0.472
6.	0.002	0.30	0.50	0.424	9.17	3.888	0.964	5.886	0.637
7.	0.003	0.30	0.50	1.191	9.17	10.921	0.984	8.829	1.217
8.	0.004	0.30	0.50	5.507	9.17	50.499	1.005	11.772	4.311
9.	0.001	0.45	0.50	0.527	9.17	4.833	0.936	4.415	1.025
10.	0.002	0.45	0.50	1.420	9.17	13.021	0.964	8.829	1.422
11.	0.003	0.45	0.50	3.942	9.17	36.148	0.984	13.244	2.686
12.	0.004	0.45	0.50	9.471	9.17	86.849	1.005	17.658	4.943
13.	0.001	0.60	0.50	0.983	9.17	9.014	0.936	5.886	1.433
14.	0.002	0.60	0.50	2.590	9.17	23.750	0.964	11.772	1.945
15.	0.003	0.60	0.50	7.006	9.17	64.245	0.984	17.658	3.580
16.	0.004	0.60	0.50	13.193	9.17	120.980	1.005	23.544	5.164
17.	0.001	0.75	0.50	1.458	9.17	13.370	0.936	7.358	1.701
18.	0.002	0.75	0.50	3.669	9.17	33.645	0.964	14.715	2.204
19.	0.003	0.75	0.50	9.540	9.17	87.482	0.984	22.073	3.900
20.	0.004	0.75	0.50	15.881	9.17	145.629	1.005	29.430	4.973
21.	0.001	0.90	0.50	1.877	9.17	17.212	0.936	8.829	1.825
22.	0.002	0.90	0.50	4.395	9.17	40.302	0.964	17.658	2.200
23.	0.003	0.90	0.50	10.691	9.17	98.036	0.984	26.487	3.642
24.	0.004	0.90	0.50	16.750	9.17	153.598	1.005	35.316	4.371

Tablo E.2.2. ½ Dairesel şekilli savak

Sıra No	Q (m ³ /s)	h (m)	H (m)	(K _L a) ₂₀ (1/saat)	C _s * (mg/L)	OR (mg/L/saat)	V (m ³)	N _j (W)	OE (kg/kW saat)
1.	0.001	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	1.019	1.472	0.000
2.	0.002	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	1.047	2.943	0.000
3.	0.003	0.15	0.50	1.181	9.17	10.830	1.068	4.415	2.620
4.	0.004	0.15	0.50	2.027	9.17	18.588	1.088	5.886	3.436
5.	0.001	0.30	0.50	0.162	9.17	1.486	1.019	2.943	0.514
6.	0.002	0.30	0.50	0.917	9.17	8.409	1.047	5.886	1.496
7.	0.003	0.30	0.50	2.716	9.17	24.906	1.068	8.829	3.013
8.	0.004	0.30	0.50	5.006	9.17	45.905	1.088	11.772	4.243
9.	0.001	0.45	0.50	0.524	9.17	4.805	1.019	4.415	1.109
10.	0.002	0.45	0.50	1.805	9.17	16.552	1.047	8.829	1.963
11.	0.003	0.45	0.50	4.304	9.17	39.468	1.068	13.244	3.183
12.	0.004	0.45	0.50	8.233	9.17	75.497	1.088	17.658	4.652
13.	0.001	0.60	0.50	0.976	9.17	8.950	1.019	5.886	1.549
14.	0.002	0.60	0.50	2.601	9.17	23.851	1.047	11.772	2.121
15.	0.003	0.60	0.50	5.642	9.17	51.737	1.068	17.658	3.129
16.	0.004	0.60	0.50	11.004	9.17	100.907	1.088	23.544	4.663
17.	0.001	0.75	0.50	1.446	9.17	13.260	1.019	7.358	1.836
18.	0.002	0.75	0.50	3.019	9.17	27.684	1.047	14.715	1.970
19.	0.003	0.75	0.50	6.426	9.17	58.926	1.068	22.073	2.851
20.	0.004	0.75	0.50	12.613	9.17	115.661	1.088	29.430	4.276
21.	0.001	0.90	0.50	1.859	9.17	17.047	1.019	8.829	1.967
22.	0.002	0.90	0.50	2.775	9.17	25.447	1.047	17.658	1.509
23.	0.003	0.90	0.50	6.353	9.17	58.257	1.068	26.487	2.349
24.	0.004	0.90	0.50	12.354	9.17	113.286	1.088	35.316	3.490

Tablo E.2.3. 4/1 trapez şekilli savak

Sıra No	Q (m ³ /s)	h (m)	H (m)	(K _L a) ₂₀ (1/saat)	C _i * (mg/L)	OR (mg/L/saat)	V (m ³)	N _j (W)	OE (kg/kW saat)
1.	0.001	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	0.950	1.472	0.000
2.	0.002	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	0.977	2.943	0.000
3.	0.003	0.15	0.50	0.000	9.17	0.000	0.998	4.415	0.000
4.	0.004	0.15	0.50	1.452	9.17	13.315	1.019	5.886	2.305
5.	0.001	0.30	0.50	0.109	9.17	1.000	0.950	2.943	0.323
6.	0.002	0.30	0.50	0.142	9.17	1.302	0.977	5.886	0.216
7.	0.003	0.30	0.50	1.814	9.17	16.634	0.998	8.829	1.880
8.	0.004	0.30	0.50	4.300	9.17	39.431	1.019	11.772	3.413
9.	0.001	0.45	0.50	0.463	9.17	4.246	0.950	4.415	0.914
10.	0.002	0.45	0.50	0.619	9.17	5.676	0.977	8.829	0.628
11.	0.003	0.45	0.50	3.737	9.17	34.268	0.998	13.244	2.582
12.	0.004	0.45	0.50	7.888	9.17	72.333	1.019	17.658	4.174
13.	0.001	0.60	0.50	1.089	9.17	9.986	0.950	5.886	1.612
14.	0.002	0.60	0.50	1.518	9.17	13.920	0.977	11.772	1.155
15.	0.003	0.60	0.50	5.976	9.17	54.800	0.998	17.658	3.097
16.	0.004	0.60	0.50	11.558	9.17	105.987	1.019	23.544	4.587
17.	0.001	0.75	0.50	2.043	9.17	18.734	0.950	7.358	2.419
18.	0.002	0.75	0.50	2.956	9.17	27.107	0.977	14.715	1.800
19.	0.003	0.75	0.50	8.261	9.17	75.753	0.998	22.073	3.425
20.	0.004	0.75	0.50	14.655	9.17	134.386	1.019	29.430	4.653
21.	0.001	0.90	0.50	3.379	9.17	30.985	0.950	8.829	3.334
22.	0.002	0.90	0.50	5.042	9.17	46.235	0.977	17.658	2.558
23.	0.003	0.90	0.50	10.324	9.17	94.671	0.998	26.487	3.567
24.	0.004	0.90	0.50	16.520	9.17	151.488	1.019	35.316	4.371

Tablo E.2.4. 45° üçgen şekilli savak

Sıra No	Q (m ³ /s)	h (m)	H (m)	(K _L a) ₂₀ (1/saat)	C _i * (mg/L)	OR (mg/L/saat)	V (m ³)	N _j (W)	OE (kg/kW saat)
1.	0.001	0.15	0.50	0.051	9.17	0.464	1.081	1.472	0.341
2.	0.002	0.15	0.50	0.481	9.17	4.407	1.130	2.943	1.692
3.	0.003	0.15	0.50	0.780	9.17	7.149	1.158	4.415	1.875
4.	0.004	0.15	0.50	2.009	9.17	18.423	1.185	5.886	3.709
5.	0.001	0.30	0.50	0.338	9.17	3.104	1.081	2.943	1.140
6.	0.002	0.30	0.50	0.951	9.17	8.725	1.130	5.886	1.675
7.	0.003	0.30	0.50	1.753	9.17	16.072	1.158	8.829	2.108
8.	0.004	0.30	0.50	3.499	9.17	32.087	1.185	11.772	3.230
9.	0.001	0.45	0.50	0.789	9.17	7.233	1.081	4.415	1.771
10.	0.002	0.45	0.50	1.460	9.17	13.392	1.130	8.829	1.714
11.	0.003	0.45	0.50	2.820	9.17	25.859	1.158	13.244	2.261
12.	0.004	0.45	0.50	4.737	9.17	43.437	1.185	17.658	2.915
13.	0.001	0.60	0.50	1.326	9.17	12.164	1.081	5.886	2.234
14.	0.002	0.60	0.50	2.054	9.17	18.835	1.130	11.772	1.808
15.	0.003	0.60	0.50	3.879	9.17	35.575	1.158	17.658	2.333
16.	0.004	0.60	0.50	5.986	9.17	54.896	1.185	23.544	2.763
17.	0.001	0.75	0.50	1.877	9.17	17.214	1.081	7.358	2.529
18.	0.002	0.75	0.50	2.780	9.17	25.497	1.130	14.715	1.958
19.	0.003	0.75	0.50	4.833	9.17	44.318	1.158	22.073	2.325
20.	0.004	0.75	0.50	7.518	9.17	68.943	1.185	29.430	2.776
21.	0.001	0.90	0.50	2.366	9.17	21.693	1.081	8.829	2.656
22.	0.002	0.90	0.50	3.686	9.17	33.800	1.130	17.658	2.163
23.	0.003	0.90	0.50	5.580	9.17	51.167	1.158	26.487	2.237
24.	0.004	0.90	0.50	9.597	9.17	88.007	1.185	35.316	2.953

Tablo E.2.5. 90° üçgen şekilli savak

Sıra No	Q (m ³ /s)	h (m)	H (m)	(K _{La}) ₂₀ (1/saat)	C _s * (mg/L)	OR (mg/L/saat)	V (m ³)	N _j (W)	OE (kg/kW saat)
1.	0.001	0.15	0.50	0.534	9.17	4.897	0.977	1.472	3.250
2.	0.002	0.15	0.50	1.020	9.17	9.353	1.012	2.943	3.216
3.	0.003	0.15	0.50	1.864	9.17	17.093	1.033	4.415	3.999
4.	0.004	0.15	0.50	3.776	9.17	34.626	1.054	5.886	6.200
5.	0.001	0.30	0.50	0.950	9.17	8.712	0.977	2.943	2.892
6.	0.002	0.30	0.50	1.885	9.17	17.285	1.012	5.886	2.972
7.	0.003	0.30	0.50	3.097	9.17	28.399	1.033	8.829	3.323
8.	0.004	0.30	0.50	5.689	9.17	52.168	1.054	11.772	4.671
9.	0.001	0.45	0.50	1.281	9.17	11.747	0.977	4.415	2.599
10.	0.002	0.45	0.50	2.627	9.17	24.090	1.012	8.829	2.761
11.	0.003	0.45	0.50	4.129	9.17	37.863	1.033	13.244	2.953
12.	0.004	0.45	0.50	6.727	9.17	61.687	1.054	17.658	3.682
13.	0.001	0.60	0.50	1.579	9.17	14.479	0.977	5.886	2.403
14.	0.002	0.60	0.50	3.287	9.17	30.142	1.012	11.772	2.591
15.	0.003	0.60	0.50	5.393	9.17	49.454	1.033	17.658	2.893
16.	0.004	0.60	0.50	7.861	9.17	72.085	1.054	23.544	3.227
17.	0.001	0.75	0.50	1.868	9.17	17.130	0.977	7.358	2.274
18.	0.002	0.75	0.50	3.902	9.17	35.781	1.012	14.715	2.461
19.	0.003	0.75	0.50	7.321	9.17	67.134	1.033	22.073	3.142
20.	0.004	0.75	0.50	10.030	9.17	91.975	1.054	29.430	3.294
21.	0.001	0.90	0.50	2.199	9.17	20.165	0.977	8.829	2.231
22.	0.002	0.90	0.50	4.515	9.17	41.403	1.012	17.658	2.373
23.	0.003	0.90	0.50	10.346	9.17	94.873	1.033	26.487	3.700
24.	0.004	0.90	0.50	14.236	9.17	130.544	1.054	35.316	3.896

Tablo E.2.6. 135° üçgen şekilli savak

Sıra No	Q (m ³ /s)	h (m)	H (m)	(K _{La}) ₂₀ (1/saat)	C _s * (mg/L)	OR (mg/L/saat)	V (m ³)	N _j (W)	OE (kg/kW saat)
1.	0.001	0.15	0.50	0.197	9.17	1.804	1.144	1.472	1.402
2.	0.002	0.15	0.50	0.624	9.17	5.718	1.158	2.943	2.250
3.	0.003	0.15	0.50	0.693	9.17	6.356	1.185	4.415	1.706
4.	0.004	0.15	0.50	1.138	9.17	10.440	1.206	5.886	2.139
5.	0.001	0.30	0.50	0.362	9.17	3.316	1.144	2.943	1.289
6.	0.002	0.30	0.50	0.925	9.17	8.483	1.158	5.886	1.669
7.	0.003	0.30	0.50	1.437	9.17	13.173	1.185	8.829	1.768
8.	0.004	0.30	0.50	3.017	9.17	27.663	1.206	11.772	2.834
9.	0.001	0.45	0.50	0.522	9.17	4.789	1.144	4.415	1.241
10.	0.002	0.45	0.50	1.066	9.17	9.774	1.158	8.829	1.282
11.	0.003	0.45	0.50	2.172	9.17	19.916	1.185	13.244	1.782
12.	0.004	0.45	0.50	5.017	9.17	46.005	1.206	17.658	3.142
13.	0.001	0.60	0.50	0.706	9.17	6.473	1.144	5.886	1.258
14.	0.002	0.60	0.50	1.207	9.17	11.071	1.158	11.772	1.089
15.	0.003	0.60	0.50	2.844	9.17	26.077	1.185	17.658	1.750
16.	0.004	0.60	0.50	6.521	9.17	59.797	1.206	23.544	3.063
17.	0.001	0.75	0.50	0.941	9.17	8.632	1.144	7.358	1.342
18.	0.002	0.75	0.50	1.512	9.17	13.864	1.158	14.715	1.091
19.	0.003	0.75	0.50	3.390	9.17	31.088	1.185	22.073	1.669
20.	0.004	0.75	0.50	6.908	9.17	63.350	1.206	29.430	2.596
21.	0.001	0.90	0.50	1.256	9.17	11.515	1.144	8.829	1.492
22.	0.002	0.90	0.50	2.140	9.17	19.625	1.158	17.658	1.287
23.	0.003	0.90	0.50	3.756	9.17	34.444	1.185	26.487	1.541
24.	0.004	0.90	0.50	5.566	9.17	51.041	1.206	35.316	1.743

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1993 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisansa başladı. 1995 yılında **“Geçirimli Temel Üzerindeki Toprak Dolgu Barajların Stabilitate Analizleri”** adlı tez çalışmasını yaparak yüksek lisansını tamamladı. 1995 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl doktora çalışmalarına başladı ve 2002 yılında **“Savak Havalandırıcılarda Tıp Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin İncelenmesi”** başlıklı tez çalışması ile doktorasını tamamladı. Yayınlanmış makale ve bildirileri bulunmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Ahmet BAYLAR