

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASAMAKLI DOLUSAVAKLARDA OKSİJEN TRANSFERİ

ERTUĞRUL İLÇİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASAMAKLI DOLUSAVAKLARDA OKSİJEN TRANSFERİ

ERTUĞRUL İLÇİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 24./01./2006 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile başarılı/~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Prof. Ahmet TUNA

Üye :Doç.Dr.M.Emin EMİROĞLU

Üye :Doç.Dr.Ayhan ÜNLÜ

Bu tezin kabulü, Fen bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03./02./2006 tarihi ve 2006/14.7.3 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BASAMAKLI DOLUSAVAKLARDA OKSİJEN TRANSFERİ

Ertuğrul İLÇİN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2005, Sayfa : 54

Basamaklı dolusavaklar, son yıllarda oldukça popüler olmuştur. Bunun en önemli nedeni, silindire sıkıştırılmış beton (RCC) barajların inşaat tekniklerindeki ilerlemelerdir. Basamaklı dolusavaklar, RCC barajların mansap yüzüne yerleştirilebilmekte ve dolgu barajlarda da taşkın dolusavağı olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada basamaklı dolusavaklarda oksijen transferi incelenmiştir. Bu nedenle bir çok alternatif üzerinden bir dizi deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde trapez ve dikdörtgen en kesitli eşikler basamaklarda, farklı şekiller de yerleştirilmiştir. Bu çalışma, yedi bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde, giriş kısmı sunulmuştur ve çalışmanın amacı açıklanmıştır. İkinci bölümde, literatür özeti, üçüncü bölümde gaz transferi, dördüncü bölümde basamaklı dolusavakların hidroliği, beşinci bölümde deney düzeneği anlatılmış. Altıncı bölümde deneylerin yapılışı anlatılmış, elde edilen sonuçlara ait grafikler çizilerek, açıklanmıştır.

Yapılan bu çalışmanın deney sonuçlarından bulunmuştur ki, eşikli basamaklı dolusavaklar, klasik dolusavaklara göre oksijen transfer verimi açısından oldukça etkindir. Özellikle basamakların bir dolu bir boş yerleştirilmesiyle en yüksek oksijen transfer verimi değerleri elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Basamaklı dolusavaklar, Oksijen transferi, Çözünmüş oksijen, Oksijen transferi, RCC, Eşitlik.

ABSTRACT

MSc Thesis

OXYGEN TRANSFER OF STEPPED SPILLWAYS

Ertuğrul İLÇİN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil engineering

2005, Page : 54

Over the last years, stepped spillways have regained popularity. The evolution of the roller compacted concrete (RCC) dam construction technique is the most important reason. Stepped spillways can be integrated into the downstream face of a RCC dam and use of stepped overlays on the downstream face of embankment dam as emergency spillways.

This paper, oxygen transfer of the stepped spillways are examined. In this reason, over the lots of alternative, there were making many experiments. In this experiments, rectangular and trapeze sills are placed in the stepped on different forms. This study includes seven section. In the first section, introduction is presented and the aim of this study is explained. In the second section, summary of literature, third section gas transfer, fourth section hydraulic of the stepped spillways, fifth section experimental setup are explained. In the sixth section, experiments are explained, according to obtained experimental results, graphs are plotted and explained.

It was found the experimental results that stepped spillways with end sill have a significantly highest oxygen transfer efficiency according to conventional spillways. Especially, In condition with end sill in one step and without end sill in the other step was obtained the highest oxygen transfer values.

KEY WORDS: Stepped spillways, Oxygen transfer, Dissolved oxygen, Oxygen transfer efficiency, RCC, Sill.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Prof. Ahmet TUNA'ya, tezimin oluşmasında bilgi ve ilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Doç.Dr. M. Emin EMİROĞLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA' ya ve de başta ailem olmak üzere bana destek olan tüm sevdiklerime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VI
TABLOLARIN LİSTESİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. GAZ TRANSFERİ	6
3.1 Çift Film Teorisi	6
3.2 Oksijen Transfer Verimi	8
3.3 Kütle Transfer Katsayısının Tayini	8
3.4 Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi	10
3.5 Oksijen Transfer Veriminin Belirlenmesinde Gerekli Olan Bilgiler	11
3.6 Çözünmüş Oksijen Doygunluk Konsantrasyonu	12
4. BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN HİDROLİĞİ	13
4.1. Genel Bilgiler	13
4.2 Basamaklı Dolusavakların Projelendirilmesi	13
4.2.1 Ön plan hazırlanması	16
4.2.2 Savak genişliğinin seçimi	16
4.2.3 Savak kretinin tayini	16
4.2.4 Maksimum çıkış debisinin meydana gelmesi	17
4.2.5 Optimum basamak yüksekliğinin seçimi	17
4.2.6 Basamak uzunluğu ve kanal eğim açısının seçimi	17
4.2.7 Mansapta açığa çıkan çözünmüş gaz miktarının hesabı	17
4.2.8 Hava girişi	17
4.2.9 Yapısal dizayn dahil son şeklin tespiti	18
4.3 Basamaklı Dolusavak Uygulaması	18
4.4 Geleneksel Olmayan Dolusavak Karakteristikleri	20
4.5 Maliyet Araştırmaları	20
4.6 Dünyadan Örnekler	21
5. DENEY DÜZENEGİ	26
6. DENEYLERİN YAPILIŞI VE DENEY SONUÇLARI	29

6.1.1	Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak Kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtma ile yapılan deneyler (Alternatif 1)	30
6.1.2	Eşik Yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler, basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde şaşırtma ile yapılan deneyler (Alternatif 2)	34
6.1.3	Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler, basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı iki sağa, bir boş basamak ve iki sola gelecek şekilde şaşırtma ile yapılan deneyler (Alternatif 3)	37
6.1.4	Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiğin bir basamak dolu, bir basamak boş olacak şekilde yerleştirilmesi ile yapılan deneyler (Alternatif 4)	40
6.1.5	Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiğin tüm basamaklara yerleştirilmesi ile yapılan deneyler (Alternatif 5)	44
6.1.6	Basamaklı , eşiksiz dolusavak için yapılan deneyler (Alternatif 6)	45
6.1.7	Klasik basamaksız dolusavak ile yapılan deneyler (Alternatif 7)	46
6.2	Alternatiflerin Karşılaştırılması	47
6.2.1	Havalanmayan bölge uzunluğu bakımından alternatiflerin karşılaştırılması	48
7.	SONUÇ	50
	KAYNAKLAR	52
	ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1	Gaz transferine ait çift film teorisinin a) mekanizması b) grafiksel gösterişi.....	6
Şekil 3.2	K_L 'nın grafik yolla tayini.....	9
Şekil 4.1	Basamaklı dolusavaktaki sıçramalı, nap ve geçiş akımı.....	15
Şekil 4.2	Basamaklı dolusavaklardaki nap akım.....	15
Şekil 4.3	Sıçramalı akım örneği.....	15
Şekil 4.4	Pilchowice Barajı.....	19
Şekil 4.5	Pilchowice barajı dolusavak en kesiti.....	19
Şekil 4.6	Les Olivettes barajı-Fransa.....	21
Şekil 4.7	Malmsbury Barajı - Avustralya.....	22
Şekil 4.8	Le Pont Barajı - Fransa.....	23
Şekil 4.9	Khaju Barajı - İran.....	24
Şekil 4.10	Goulburn Barajı - Avustralya.....	24
Şekil 4.11	Joe Sippel Barajı - Avustralya.....	25
Şekil 5.1	Deney düzeneğinin kesiti.....	27
Şekil 5.2	a) Dikdörtgen en kesitli eşik b) Trapez en kesitli eşik.....	27
Şekil 5.3	Deney düzeneği.....	28
Şekil 6.1	Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak.....	31
Şekil 6.2	Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi.....	32
Şekil 6.3	Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi.....	32
Şekil 6.4	Oksijen transfer verimi ile h_c/h ın değişimi.....	33
Şekil 6.5	Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarına 4 cm olan tarafı bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak.....	34
Şekil 6.6	Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi.....	35
Şekil 6.7	Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi.....	35
Şekil 6.8	Oksijen transfer verimi ile h_c/h ın değişimi.....	36
Şekil 6.9	Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarına 4 cm olan tarafı iki sağa, bir boş basamak ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak.....	37
Şekil 6.10	Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi.....	38
Şekil 6.11	Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi.....	38
Şekil 6.12	Oksijen transfer verimi ile h_c/h ın değişimi.....	39

Şekil 6.13	Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiğin bir basamak dolu, bir basamak boş olacak şekilde yerleştirilmesi ile elde edilen dolusavak41
Şekil 6.14	Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi.....42
Şekil 6.15	Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi.....42
Şekil 6.16	Oksijen transfer verimi ile h_c/h ın değişimi43
Şekil 6.17	Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiğin tüm basamaklara yerleştirilmesi ile elde ilen dolusavak.....44
Şekil 6.18	Basamak, eşiksiz dolusavak.....45
Şekil 6.19	Basamaksız klasik dolusavak.....46
Şekil 6.20	Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi.....47
Şekil 6.21	Havalanmayan bölge uzunluğu ile q 'nun değişimi.....48



TABLoların LİSTESİ

Tablo 4.1	Dolusavak maliyetleri.....	20
Tablo 6.1	Eşik yüksekliği 4 cm den 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarına 4 cm olan tarafı bir sağa, bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak için elde edilen değerler.....	30
Tablo 6.2	Eşik yüksekliği 4 cm den 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler, 4 cm'lik kenarı bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavaklar için elde edilen değerler.....	34
Tablo 6.3	Eşik yüksekliği 4 cm'den 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşiklerde, 4 cm'lik kenarın iki basamakta sağa, bir boş basamak ve iki basamakta da sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan dolusavaklar için elde edilen değerler.....	37
Tablo 6.4	Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiklerin bir dolu, bir boş şekilde yerleştirilmesiyle elde edilen değerler.....	40
Tablo 6.5	4 cm'lik dikdörtgen en kesitli eşiğin tüm basamaklara yerleştirilmesiyle elde edilen akım tipi ve mansap su yüksekliği değerleri.....	44
Tablo 6.6	Basamaklı, eşiksiz dolusavaklarda akım tipleri ve mansap su yükseklikleri.....	45
Tablo 6.7	Klasik, basamaksız dolusavaklarda debi değerlerine göre mansap su yüksekliklerinin değişimi.....	46

SİMGELER LİSTESİ

dc/dt	: Konsantrasyon değişme hızı (mg/L/s)
A/V	: Özgül ara kesit yüzeyi
dm/dt	: Madde Transfer hızı (g/s)
A	: Oksijen transferinin meydana geldiği yerdeki alan (m^2)
a	: Su kalite parametresi (kirli sularda 0,65 ve temiz sularda 1,8)
aw	: Su kalitesi faktörü (temiz su için 1,8)
b	: Savak tipine bağlı katsayı (kalın kenarlı savaklarda 0,6 ve ince kenarlı savaklarda 1,05)
b	: Basamak genişliği (m)
C	: Sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C_d	: Standart Şartlarda mansapta bulunan çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C_{ds}	: Klorür konsantrasyonu (g/L)
C_g	: Gazın gaz ortamındaki konsantrasyonu (mg/L)
C_o	: Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg)
C_s	: Standart şartlardaki çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu (mg/L)
C_t	: Mansaptaki suyun t dakika sonraki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L)
C_u	: Standart şartlarda membada bulunan çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg)
E	: Oksijen transfer verimi (T °C de)
E_{15}	: 15 °C deki oksijen transfer verimi
E_{20}	: 20 °C deki oksijen transfer verimi
F	: Froude Sayısı
f	: Kuru havada gazın hacim yüzdesi
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	: Basamak yüksekliği (m)
h_c	: Kritik akım derinliği (m)
h_2, H	: Mansap su yüksekliği (m)
K_g	: Oksijen için difüzyon katsayısı
$K_L a_T$	: T °C deki kütle transfer katsayısı (1/saat)
L	: Kanal uzunluğu (m)
La	: Kanal toplam uzunluğu ile havalanmayan akım bölgesi arasındaki fark
L_i	: Havalanmayan akım bölgesi
P	: Gaz basıncı (Pa)
q	: Birim genişlikten geçen debi ($m^3/s/m$)
Q	: Debi (m^3/s)
R	: Reynolds Sayısı

- r : Oksijen eksiklik oranı (T °C deki)
 r_{15} : 15 °C'deki oksijen eksiklik oranı
 r_{20} : 20 °C deki oksijen eksiklik oranı
 s : Basamak yüksekliği
 T : Su sıcaklığı (°C)
 t : Zaman (s)
 t_u ve t_d : Kontrol hacminin memba ve mansap yerlerinden geçtiği süreler
 V : Hız (m/s)
 θ : Bir katsayı (hidrolik yapılardaki oksijen tranferi için $\theta = 1,0241$)



1. GİRİŞ

Oksijen canlıların hayatlarını devam ettirebilmeleri için gerekli olan en önemli parametredir. Oksijen havada bulunabileceği gibi su içerisinde de çözülmüş halde bulunabilir. Çözülmüş oksijen konsantrasyonu; akarsu, göl ve rezervuarlarda en önemli su kalite unsurudur. Çözülmüş oksijen konsantrasyonu azaldıkça, ekolojik denge bozulmaktadır. Bu doğrultuda akarsulardaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu için 5 mg/L değeri sağlanmalıdır. Bu değeri sağlamak için akarsular üzerine inşa edilecek hidrolik yapılar kullanılır. Çeşitli geometrilere sahip savak ve eşikler ile havalandırma kolay ve fazla bir maliyet gerektirmeden sağlanabilir. Havalandırma, yani oksijen transfer işlemi oksijenin atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılması olarak ifade edilir. Bunun yanında farklı havalandırma yöntemleri de vardır. Örneğin su ve basınçlı hava pompalamak için elektrik enerjisi kullanmak bu yöntemlerden biridir. Fakat bu yöntem işletme maliyetini artırır.

Ayrıca birçok akarsuda doğal yollarla oksijen transferi için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç vardır. Bununla beraber akarsu üzerine yapılacak bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok kısa bir mesafede sağlanabilir.

Yukarıda bahsedilen hidrolik yapılardan biri olan basamaklı dolusavaklar, özellikle küçük barajların dolusavaklarından mansaba bırakılan akımın enerjisini sönmölemek ve oksijen transferini gerçekleştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır[1].

Basamaklar; dolusavak boyunca çok büyük oranda enerjiyi sönmömler ve mansapta ihtiyaç duyulan enerji kırıcı yapıların boyutlarını ve maliyetlerini önemli derecede azaltır. Klasik dolusavaklar ile kıyaslandığında; basamaklı dolusavaklarda, toplam enerjinin % 70-80'inin sönmömlenebileceği ve kalan enerjinin sönmömlenmesi için mansapta küçük bir yapıya ihtiyaç olacağı ortaya çıkmaktadır.

İnşaat malzemeleri ve inşaat tekniğindeki gelişmelerin paralelinde, basamaklı dolusavaklara ilgi giderek artmıştır. Yine bunun neticesinde arıtma tesislerinde akımın havalandırılmasında da basamaklı dolusavaklar kullanılmaktadır. Akımın havalandırılması aşağıdaki durumlarda söz konusudur [2]:

- Suyun CO₂ miktarının azaltılmasında,
- Sudaki organik bileşiklerin uzaklaştırılmasında,
- Biyolojik tasfiyede gerekli oksijenin verilmesinde,
- Su içindeki çözülmüş gazların neden olduğu tat ve kokuların giderilmesinde,
- Akarsularda çözülmüş oksijen standardına ulaşabilmek için, sisteme oksijen verilmesi gerektiği durumlarda.

Bu çalışmada basamaklı dolusavaklarda oksijen transferi incelenmiştir. Bu amaca ulaşmak için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnaaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bir deney düzeneği kurulmuştur.

Bu çalışmada oksijen transferi değerlerini tespit etmek için bir çok alternatif üzerinden bir dizi deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde trapez ve dikdörtgen en kesitli eşikler, basamaklara farklı diziliş biçimlerine göre yerleştirilmişlerdir.

Yapılan deney sonuçlarına göre basamaklı dolusavakların bir dolu bir boş şekilde eşiklerle düzenlenmesindeki oksijen transfer verimleri, tüm basamakların eşiklerle dolu olmasından daha yüksektir. Özellikle trapez kesitte basamakların bir dolu bir boş şekilde eşiklerle düzenlenmesinde oksijen transfer verimi değerleri daha yüksek çıkmaktadır.



2. LİTARATÜR ÖZETİ

Aşağıda bazı hidrolik yapılarda oksijen transfer verimini tayin etmek için geliştirilen denklemler ve hidrolik yapılardaki basamaklı dolusavaklar hakkında yapılmış olan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Verilen denklemler, 20 °C deki oksijen transfer verimi (E_{20}) cinsinden ifade edilmiştir.

- Tsivoglou ve Wallace [3]; akarsular ve hidrolik yapılar için;

$$E_{20}=1-\exp(-0,18 h) \quad \text{denklemini önermektedir.} \quad (1)$$

- Foree [4]; küçük su yapılarında hava girişinin dikkate alınması için Tsivoglou ve Wallace (1972)'nin denklemini aşağıdaki şekilde düzenlemiştir.

$$E_{20}=1-\exp(-0,48 h) \quad (2)$$

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

$$E_{20}=1-[1+0,693.aw.bw.h]^{-1} \quad (3)$$

denklemini önermektedir. Burada; E_{20} : 20 °C'deki oksijen transfer verimi,

aw: su kalitesi faktörü (temiz su için 1,8), bw: havalandırma katsayısı (0,79-1,3) ve h: basamak yüksekliğidir (m).

- The U.K Water Research Laboratory (WRL) [6]; Gameson'un denklemini aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$E_{20}=1-[1+0,073.aw.bw.h(1-0,011.h)]^{-1} \quad (4)$$

- Avery ve Novak [7] ; Froude sayısı ve Reynolds sayısına bağlı olarak savak ve kaskatlar için;

$$E_{20}=1-\left(\frac{1}{1+0,24 \times 10^{-4} F^{1,78} R^{0,53}}\right)^{1,115} \quad (5)$$

denklemini önermişlerdir. Burada ; F: Froude sayısı ve R: Reynolds sayısıdır.

- Thene [8]; Avery ve Novak (1978)'ın geliştirdikleri denklemde mansap suyu yüksekliğini de dikkate alarak;

$$E_{20} = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0,32 \times 10^{-5} \cdot F^{2,08} \cdot R^{0,63} (1 - 0,6 \exp(-3,7 \frac{H}{h}))} \right)^{1,115} \quad (6)$$

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

- Butts ve Evans [9]; 54 adet küçük baraj üzerinde yaptıkları araştırmaları sonucu ;

$$E_{20} = 1 - (1 + 0,73 \cdot a \cdot b \cdot h (1 - 0,11h))^{-1} \quad (7)$$

denklemini geliştirmişlerdir. Burada; a: su kalite parametresi (kirli 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).

- Gameson [10]; oksijen transfer verimi için aşağıdaki denklemi kullanmıştır.

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} = 1 - \frac{1}{r} \quad (8)$$

Burada; E: oksijen transfer verimi, r: oksijen eksiklik oranı, C_d : standart şartlarda mansapta bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), C_u : standart şartlarda membada bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L), C_s : standart şartlardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L).

- Gulliver ve diğ. [11] ; oksijen transferinin sıcaklıkla değişimi için

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/f} \quad (9)$$

bağıntısını kullanmışlardır. Burada;

$$f = 1 + 0,02103 (T - 20) + 8,261 \times 10^{-5} (T - 20)^2 \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; f: kuru havada gazın hacim yüzdesini ifade eder.

- Boes ve Hager [12] ; basamaklı dolusavakların hidrolik dizaynı hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, farklı eğim ve basamak yüksekliklerinde basamaklı dolusavaklarda meydana gelen akım tipleri ve özelliklerini incelemişlerdir.
- Rice ve Kadavy [13]; RCC barajlardaki basamaklı dolusavaklarda model çalışmaları hakkında bir çalışma yapmışlardır. RCC barajlarda dizayn kolaylığı ve hidrolik performans bakımından dolusavakların önerilebilecek iyi bir çözüm olduğunu göstermişlerdir.
- James, Main ve Moon [14]; basamaklı düşülerde enerji sönümlenmesinin artırılması hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, nap akımın küçük debi ve büyük basamaklarda, sıçramalı akımın ise büyük debi ve küçük basamaklarda görüldüğünü tespit etmişlerdir.

- Boes ve Minor [15]; basamaklı dolusavakların hidrolik dizaynı hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada nap akımının düşük debi ve büyük basamaklarda meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca nap akımından sıçramalı akıma geçişi ifade etmek için aşağıdaki formülleri kullanmışlardır.

$$h_c/s = 0,91-0,14.\tan \theta \quad (11)$$

Burada; h_c : kritik derinlik, s : basamak yüksekliğidir. Nap akımı, $h_c/s = 0,20$ ve $\theta = 34^\circ$ Urft Barajı basamaklı dolusavağında meydana gelmiştir. Ayrıca $s = 92,4$ mm yüksekliğindeki basamak üzerinde $\theta = 30^\circ$ için de sıçramalı akım görülmüştür.

- Emiroğlu ve Baylar [16]; eşiklerle düzenlenmiş açık kanal düşülerinde havalandırma verimi tespiti üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada eşikli basamaklı dolusavaklarda oksijen transfer veriminin, eşiksiz basamaklı dolusavaklardan kat kat fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle basamaklı dolusavaklarda eşikli yapılan düzenlemeler, havalandırma verimini artırmada çok önemli bir yere sahiptir.
- Emiroğlu ve Baylar [17]; basamaklı dolusavaklarda havalandırma verimi yani oksijen transfer verimi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, havalandırma veriminin; şut açısı (α), basamak yüksekliği (h) ve birim debi (q) değerlerine bağlı olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, bütün L/h değerlerinde basamak yüksekliğinin artmasıyla, havalanmayan bölge uzunluğunun azaldığını belirtmişlerdir. Yine bu çalışmada, havalanmayan bölge uzunluğunun artmasının, h_c/h değerinin artmasına, şut açısının azalmasına ve birim debinin de artmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir.
- Emiroğlu ve Baylar [18]; yapmış oldukları bir başka çalışmada da, sıçramalı akımın büyük debilerde meydana geldiğini tespit etmişlerdir.
- Rogala ve Redowicz [19]; Pilchowice barajının iyileştirilmesi hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, Pilchowice barajının iyileştirme yöntemleri ve ortaya çıkan sorunlar anlatılmıştır.
- Pinheiro ve Relvas [20]; Dolgu barajlar üzerinde geleneksel olmayan dolusavaklar hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada dolgu barajlar üzerinde yapılabilecek olan dolusavaklar ve bunların maliyet analizlerini incelemişlerdir.

3. GAZ TRANSFERİ

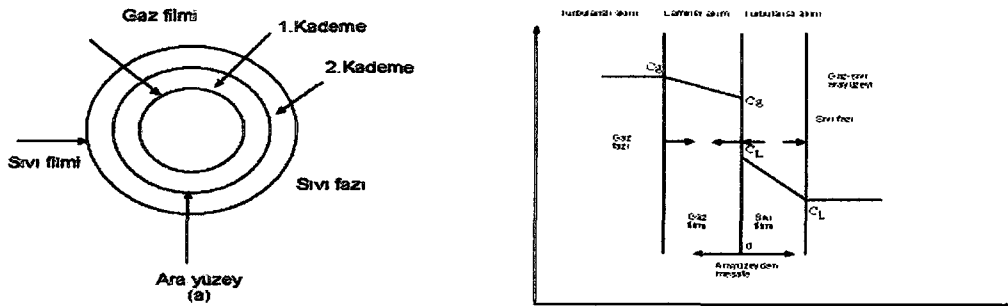
Sularda gaz transferi; suya klor, çözülmüş oksijen v.b. gazları vermek veya H_2S , CO_2 gibi gazları uzaklaştırmak amacıyla yapılır. Bir gazın sudaki çözünürlüğü; gazın cinsine, basıncına, suyun sıcaklığına ve sudaki kirleticilerin konsantrasyonuna bağlıdır. Gaz transferi sıvı ve gaz fazlar arasındaki ara yüzeyde meydana gelir. Bu transfer bu iki faz arasında denge oluşuncaya kadar sürer. Denge oluşunca sıvı içindeki gaz konsantrasyonu doygunluğa ulaşmış olur.

Gaz transferinin mekanizmasına teorik bir yaklaşım getirilmesi konusunda çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Çift film teorisi, penetrasyon teorisi, yüzey yenilenmesi teorisi v.b. Bunlardan en çok yaygın olan Lewis-Whitman'ın çift film teorisidir.

3.1 Çift Film Teorisi

Bu teoriye göre, gaz ve sıvı fazların birbirleriyle temas ettiği ara yüzeyin her iki tarafında da iki tabaka gaz ve sıvı film mevcuttur. Bu tabakaların dışında sıvı ve gaz fazlar yer alır.

Gaz ve sıvı filmler, gaz moleküllerinin sıvı ve gaz fazları arasındaki hareketine karşı direnç gösterirler. Gaz moleküllerinin gaz fazından sıvı fazına geçmesinde, sıvıda çözünürlüğü çok olan gazlar esas direnci gaz filminden, çözünürlüğü az olan gazlar esas direnci sıvı filminden görürler. Sıvı içinde çözünürlüğü orta şiddette olan gazlar ise her iki tabakada da önemli ölçüde geçiş direnci ile karşılaşır.



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

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

$$\frac{dm}{dt} = K_g \cdot A(C_s - C) \quad (12)$$

Burada; dm/dt = Kütle transfer hızı (g/s), t = kütle transferinin meydana gelmesi 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 değişim hızı cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{dm}{dt} = V \cdot \frac{dc}{dt} \quad (13)$$

Burada, V = transfer olunan gaz hacmidir. (m^3). Bu ifade (13) nolu denklemde yerine yazılıp düzenlenirse;

$$\frac{dc}{dt} = K_g \cdot \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (14)$$

elde edilir. Suların havalandırılması işleminde gaz transferine esas direnç sıvı filmi içerisinde. Bu nedenle 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 (14) nolu denklem;

$$\frac{dc}{dt} = K_L a \cdot (C_s - C) \quad (15)$$

şeklinde yazılır. Burada: dc/dt = konsantrasyon değişim hızı (mg/L) $K_L a$ = kütle transfer katsayısı, C_s = sudaki çözünmüş oksijenin doymunluk konsantrasyonu (mg/L) ve C = sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L) göstermektedir. $K_L a$ zamanın fonksiyonu olup (15) nolu denklemin hidrolik yapının membaindaki bir noktadan mansapa doğru integre edilmesinden şu denklem elde edilir.

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} = \exp \left[\int_{t_u}^{t_d} K_L a \, dt \right] \quad (16)$$

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 = kontrol hacminin memba ve mansap verilerinden geçtiği sürelerdir (s) C_u ile C_d deneysel olarak ölçülür ve C_s ise literatür denklemlerle bulunur.

3.2 Oksijen Transfer Verimi

Oksijen transfer verimi, suyun oksijen doygunluk konsantrasyonuna ulaşabilmesi için yapının oksijen kazandırma yeteneğidir. Yani havalandırma aygıtının performansını ifade eder. Oksijen transfer verimi ne kadar büyükse, havalandırmanın verimliliği de o kadar yüksektir. (16) nolu denklem oksijen transfer verimi olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir (Gameson, 1957).

Geri devirli olmayan sistemlerde aşağıdaki formül kullanılmaktadır. Bu çalışmada da dolayısıyla;

$$E = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} = 1 - \frac{1}{r}$$

formülü kullanılmıştır.

(17)

Burada; E =oksijen transfer verimidir. $E = 0$ ise yapıda oksijen transferi yoktur. Ve $E = 1$ de ise mansap suyu doygunluğa ulaşmıştır. $E > 1$ ise mansap suyunun aşırı doygunluğa ulaştığını gösterir.

3.3 Kütle Transfer Katsayısının Tayini

(16) nolu denklemdeki $K_L a$ değeri, sıvı veya gaz faza ait sınır tabakalarının birinin yada 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 değeri büyür. Çünkü A/V oranında A çapın ikinci kuvvetine, V üçüncü kuvvetine göre küçülür. Fakat bu prensipler belirli sınırlar içinde doğru kalır.

Ayrıca yine gaz transferi, türbülans ve sıcaklığın da etkisi altındadır. Birçok değişkenin olması nedeniyle, kütle transfer katsayısı genellikle temiz suya göre belirlenir ve kullanılmış sular için ise bir düzeltme faktörüyle ayarlanır.

760 mm Hg basıncında ve % 20,90 oranında oksijen içeren kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun çözülmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi belirli değerlerdedir. Bu değerler yukarıda da belirttiğimiz gibi kullanılmış sular için geçerli değildir. Atıksularda oksijenin doygun halde çözüneceği konsantrasyon, tasfiye tesisinin çıkış suyunu bir gece boyunca havalandırarak deneysel olarak bulunur. Bu değer temiz suya göre % 90 - % 98 oranını ifade eder.

Havalandırıcıların verimleri, imalatçı firmalar tarafından bazı standart şartlar altında tespit edilir. Bu şartlar, sıcaklığın 20 °C, suyun temiz çeşme suyu ve havalandırma havuzundaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunun sıfır olması gibi şartlardır. Standart şartlar altında verimi bilinen bir havalandırıcının, normal işletme şartlarındaki kapasitesinin hesaplanması gerekir.

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

Kütle transfer katsayısı geri devirli sistemlerde kullanılır. Dolayısıyla bizim yapmış olduğumuz çalışmada kullanılmamıştır.

Standart şartlar altındaki oksijen transfer verimini, işletme şartlarına çevirebilmek için, kütle transfer katsayısının ($K_L a$) sıcaklıkla değişiminin bilinmesi gerekir. Bunun için şu denklem kullanılabilir:

$$(K_L a)_{20} = (K_L a)_T \cdot (1,024)^{(20-T)} \quad (18)$$

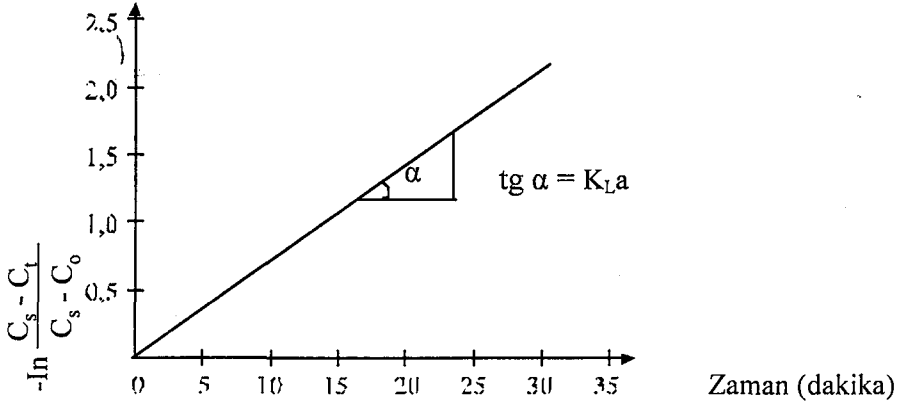
Burada; T=sıcaklık (°C), $(K_L a)_{20}$ =20°C ve 1 atmosferdeki (standart şartlar), kütle transfer katsayısı (lt/saat) ve $(K_L a)_T$ =T°C deki kütle transfer katsayısını (lt/saat) göstermektedir.

$K_L a$ 'yı tayin etmek için sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonuna, sodyum sülfite (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

$-\ln(C_s - C_t / C_s - C_0)$ olmak üzere eksen takımında noktalar arasında geçen doğrunun eğimi $K_L a$ 'yı verir (Şekil 3.2). Burada C_t = Mansaptaki suyun t dakika sonundaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu (mg/L) ve C_0 = Mansaptaki suyun başlangıçtaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/L) belirtir. $K_L a$ aynı zamanda istatistiksel metotlarla da bulunabilir.



Şekil 3.2 $K_L a$ 'nın grafik yolla tayini

3.4 Su Sıcaklığının Oksijen Transfer Verimine Etkisi

Gameson ve diğ.(1958), küçük bir savak modeli üzerinde deneysel çalışmalar yaparak, oksijen transferinin su sıcaklığı ile olan ilişkisini incelemişlerdir.

Yapılan çalışmalara göre aşağıdaki denklemleri geliştirmişlerdir.

15 °C referans sıcaklıkta;

$$\ln(1-E_{15}) = \frac{\ln(1-E)}{1+0,018(T-15)} \quad (20)$$

20 °C sıcaklıkta;

$$\ln(1-E_{20}) = \frac{\ln(1-E)}{1+0,0165(T-20)} \quad (21)$$

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

Tebbutt ve diğ. (1977); Kaskat dolusavaklar üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu oksijen transferinin sıcaklıkla olan ilişkisini şu şekilde belirtmiştir.

$$\frac{r-1}{r_{20}-1} = \frac{E(1-E_{20})}{E_{20}(1-E)} = (1+0,0335(T-20)) \quad (22)$$

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

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

$$\ln(1-E) = \ln(1-E_{20}) \cdot \alpha^{(T-20)} \quad (23)$$

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 sonuç vermediği anlaşılmıştır. (Gulliver ve diğ. 1990a).

Gulliver ve diğ. (1990a), oksijen transferinin sıcaklıkla olan değişimini şu denklemle ifade etmiştir.

$$1-E_{20}=(1-E)^{1/f} \quad (24)$$

veya

$$E_{20}=1-(1-E)^{1/f} \quad (25)$$

şeklinde yazılabilir. Burada “f” değeri aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$f=1+0,02103(T-20)+8,261 \times 10^{-5}(T-20)^2 \quad (26)$$

(24) nolu denklemde, 0 °C - 40 °C arasındaki sıcaklıklarda % 3 gibi oldukça küçük bir hata meydana geldiğinden, kullanılması uygundur.

Bir havalandırma sisteminin kapasitesi, birim zamanda ve birim hacimdeki su ortamına iletilen oksijen miktarı olarak ifade edilebilir. Daha önce de belirtildiği gibi bazı standart şartların sağlanması gerekir.

- Deneyler temiz suda yapılmalıdır.
- Başlangıçta çözülmüş oksijen konsantrasyonu ($C_o = 0$) alınır.
- Sıcaklık, 20 °C alınır. (Amerika’da 20 °C, Avrupa’da 10 °C).
- Başlangıç değeri, 1 atmosfer (760 mmHg veya 101,3 kPa) alınır.

Havalandırıcı tiplerini belirleyebilmek için, oksijen transfer katsayısının ($K_L a$) bilinmesi gerekir. Bunun için en çok kullanılan yöntem, havalandırıcı çalıştırılarak çözülmüş oksijen miktarlarını zamana bağlı izlemektir. Çoğu kez, laboratuarda ölçülen veya literatürde verilen oksijen transfer katsayısı değerleri, sıcaklık ve basınç yönünden işletmedeki şartlara uymadığından sıcaklık ve basınç düzeltmelerinin literatürde verilen denklemlere göre yapılması gerekir.

3.5 Oksijen Transfer Veriminin Belirlenmesinde Gerekli Olan Bilgiler

Hidrolik yapılardaki oksijen transfer verimini belirlemek için şu bilgilere gerek vardır.

- Hidrolik yapının yeri ve tipi
- Numunenin alındığı tarih
- Yapıdan geçen debi

- Memba ve mansap arasındaki yükseklik farkı
- Mansap su derinliği
- Eğer mevcutsa kapak açıklığı
- Yapının memba ve mansabındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu
- Sudaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu
- Su sıcaklığı
- Kütle transfer katsayısı

3.6 Çözünmüş Oksijen Doygunluk Konsantrasyonu

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

Araştırmacılar, çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonunun doğru olarak belirlenmesi için birçok çalışmalar yapmışlardır. 1955 yılından itibaren birçok metot geliştirmişlerdir. Bu metotlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1955 yılında Gameson ve Robertson tarafından geliştirilen denklem şu şekildedir.

$$C_s = \frac{475 - 2,65 \cdot C_{ds}}{33,5 + T} \quad (27)$$

Bu denklem başlangıçta çok yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar sonucu bu denklemlerin yerine başka denklemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu denklemde, C_{ds} = klorür konsantrasyonu (g/L) ve T = sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$). Bu denklem = 0°C - 50°C arasındaki deniz suyu ve temiz sular için uygulanabilmektedir.

4. BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN HİDROLİĞİ

4.1 Genel Bilgiler

Basamaklı dolusavaklar ilk olarak yaklaşık 3500 yıl kadar önce kullanılmaya başlanmıştır. Gold Creek ve New Croton barajlarının dolusavakları ilk olarak inşa edilen basamaklı dolusavaklardır. 19. yüzyılın sonlarına doğru teknolojik gelişmeler sayesinde basamaklı dolusavakların kullanımı artmış, bu savakların çok büyük oranda enerjiyi sönümlediği ve mansapta ihtiyaç duyulan enerji kırıcı yapıların boyut ve maliyetini azalttığı anlaşılmıştır.

20. yüzyılın ilk yarısında hidrolik sıçramaların enerji kırılım karakteristikleri hakkındaki yeni gelişmeler, dolusavaklar hakkında ilgi uyandırmıştır. Yeni inşa tekniklerinin gelişmesiyle basamaklı dolusavakların hidrolik özelliklerinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Basamaklı dolusavaklar silindire sıkıştırılmış beton barajlar (RCC) için mükemmel bir dolusavak tipidir. RCC barajların dış tarafı klasik beton ile inşa edilmektedir.

Memba ve mansap yüzü bu şekilde inşa edildiği için mansap yüzüne basamaklı dolusavak yapmak oldukça ucuz olmaktadır. Ayrıca bu tip dolusavaklar dolgu barajlarda ve acil durum dolusavaklarında da kullanılmaktadır. Baraj yapısının çok hassas olmasından dolayı, basamaklı dolusavakların hidroliğinin iyice araştırılması ve dikkatlice projelendirilmesi gerekir.

4.2 Basamaklı Dolusavakların Projelendirilmesi

Bir hidrolik yapının projelendirilmesinde çeşitli faktörlerin incelenip, ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Ekonomi, jeoloji, hidroloji, sosyoloji bu faktörlerden birkaçıdır.

Bir dolusavağın projelendirilmesinde şu hususlara dikkat etmek gerekir;

a) Yapının kullanım amacı nedir? (Örneğin enerji sönümlemesi, suyun arıtılması, acil durum savağı, taşkın öteleme v.b. gibi).

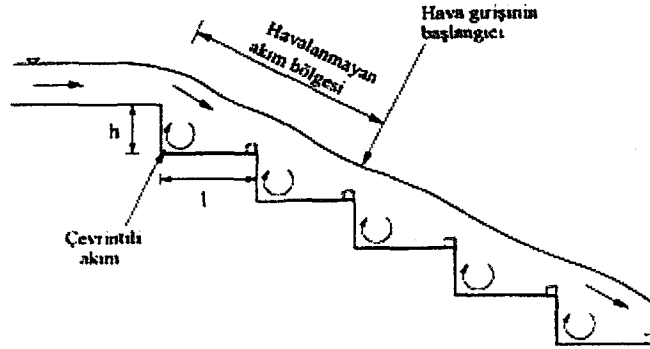
b) Projelendirmedeki sınırlamalar nelerdir? (Örneğin şekilsel yapı (morfoloji), hidroloji topografya, jeoloji, v.b. gibi).

c) Yapının maliyeti ne kadardır? (Hangi dolusavak daha ucuza mal edilebilir).

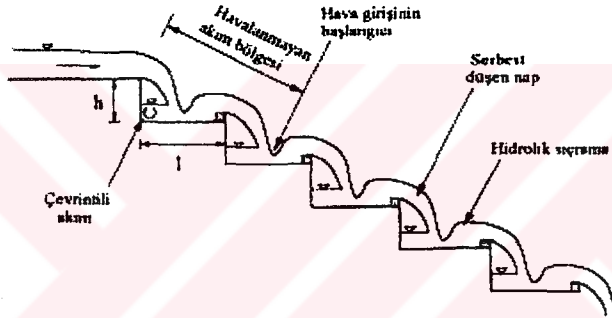
Basamaklı bir dolusavak yapılmasına karar verilmiş ise, proje debisi ile maksimum ve minimum debilerde nap veya sıçramalı akımdan hangisinin tercih edileceğini tespit etmek için bütün bu parametreler dikkate alınır.

Nap ve sıçramalı akımlar arasındaki geçiş akımı istenmeyen salınımlar oluşturduğu için yapıda titreşimler oluşturur ve bu da istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle projelendirilmelerin çok dikkatli yapılması gerekir.



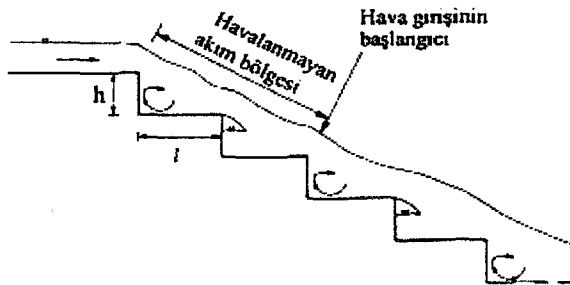


Şekil 4.1 Basamaklı dolusavaklardaki sıçramalı akım



Şekil 4.2 Basamaklı dolusavaklardaki nap akım

(c) Geçiş Akımı



Şekil 4.3 Basamaklı dolusavaklardaki geçiş akımı

4.2.1 Ön plan hazırlanması

Basamaklı dolusavakların planı genellikle geleneksel dolusavak yöntemleri ile aynıdır. Basamaklı dolusavaklarda ön plan hazırlamak için en büyük debinin tespiti, taşkın kontrolü, savak yapısının kapaklı olup olmayacağı gibi işlemler yapılmalıdır.

4.2.2 Savak genişliğinin seçimi

Savak genişliği seçimi için en önemli parametre barajın kret uzunluğudur. Bunun yanında mansap nehir yatağı genişliği ve kenar duvar girişleri de genişlik seçimi için önemli faktörlerdir.

Bütün dolusavaklar için en önemli bir unsur da; taşkın olaylarından dolayı barajın normal su seviyesinin yükselmesidir. Büyük debilerin sonucu olarak baraj gölü seviyesi artar. Böylelikle kretde oluşan bu büyük yük spesifik debiyi etkiler.

Geniş kretli basamaklı dolusavaklarda spesifik debi $q=25-30 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ civarında alınarak dizayn edilmektedir. Bu sınırlamanın nedeni kavitasyon zararlarından kaçınmaktır.

Üniform akım dikkate alındığında ve taban hava konsantrasyonu yeteri kadar büyük olarak sağlandığında $q_{\max}=140 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ nin üzerinde alınabilir. Ancak bu değer büyük basamak ve büyük yüksekliklerde tehlikeli olabilir.

4.2.3 Savak kretinin tayini

Kret ile dolusavak arasında güvenli bir iletim sağlamak için küçük yükseklikli basamaklardan tedricen artan büyük yükseklikli basamaklar kullanılır.

Dolgu barajlarda kret oldukça geniştir. Bu nedenle kret üzerinde ilave duvarlar inşa edilir ve böylece savaklama sağlanmış olur. Kenarlardan da hava giriş sağlanarak, akım yeterince havalanmış olur.

Şayet spesifik debi yeterince büyük seçilirse, akım zaten dolusavak üzerinde havalandırılmış olur. Eğer geleneksel savak seçilirse, teget noktasının yanında bir havalandırıcı konumlandırılır ve böylece havalandırma işlemi yapılmış olur.

Diğer bir alternatif de kret üzerinde düz kapak yapmaktır. Böylece hem havalandırma sağlanmış olur, hem de baraj gölü su seviyesi kontrol altında tutulur.

4.2.4 Maksimum çıkış debisinin meydana gelmesi

Anahtar eğrisi yardımıyla maksimum debinin çıkış hidrografi, giriş hidrografi tespit edilir. Elde edilen sonuçlar spesifik debi ile karşılaştırılır.

4.2.5 Optimum basamak yüksekliğinin seçimi

Basamak yüksekliği; akımın rejimi, enerji sönmülmesi ve oksijen transfer işlemi için önemli bir ifadedir. Seçilen basamak yüksekliği inşa prosedür raporları içerisine alınır. Özellikle RCC barajlarda kullanılan bu basamakların yükseklikleri 30 cm ve 120 cm arasında değişmektedir. Yapılan araştırmalarda da 60 cm- 120 cm arası yüksekliğin elverişli olduğu kabul edilmiştir.

Yine yapılan araştırmalar göstermiştir ki; büyük yükseklikli basamaklar, küçük yükseklikli basamaklara göre hidrolik açıdan daha avantajlıdır. Fakat, büyük yükseklikli basamaklarda kavitasyon riski daha fazladır. Kavitasyon riski de eğimin büyük veya küçük olması ve tabandaki üniform hava konsantrasyonu ile doğru orantılıdır.

Ayrıca büyük yükseklikli basamaklar enerji kırılımı sağlamak için daha uygundur. Zaten 60 cm den daha küçük basamaklar tavsiye edilmemektedir.

4.2.6 Basamak uzunluğu ve kanal eğim açısının seçimi

Basamak uzunluğu ve kanal eğim açısı, arazinin topografyası ve yapının kullanım amacına uygun olarak seçilmelidir.

4.2.7 Mansapta açığa çıkan çözünmüş gaz miktarının hesabı

Bölgenin iklim koşulları ve suyun kimyasal bileşimi göz önüne alınarak yapının havalandırma etkinliği tahmin edilmelidir. En genel parametrelerden biri budur.

4.2.8 Hava girişi

Serbest yüzeyin türbülans sınırı tabakasına ulaştığı noktada, türbülans derecesi büyükse, su alışının içine hava girmeye başlar ve bu nokta havalanma bölgesinin başlangıcı olarak adlandırılır. Havalanma bölgesi için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$Z_i \text{ havalanma uzunluğu olmak üzere; } Z_i = L_i \times \sin \theta \quad (28)$$

$$26^\circ < \theta < 55 \text{ için } \frac{Z_i}{s} = 4,93 Fr^{0,84} \text{ olur.} \quad (29)$$

$$\text{Burada ; } Fr = \frac{q}{(g \times \sin \theta \times s^3)^{1/2}} \quad (30)$$

q : birim debi (m³/s/m)

s : Basamak yüksekliği (m)

θ: Dolusavak eğimi

Havalanmayan bölgenin uzunluğu için ise ;

$$26^\circ < \theta < 55 \text{ için } L_i = \frac{q^{0,84}}{9^{0,42} \times (\sin \theta)^{1,42} \times s^{0,26}} \quad (31)$$

bağıntısı kullanılır.

4.2.9 Yapısal dizayn dahil son şeklin tespiti

Daha öncede de ifade edildiği gibi bu tip basamaklar RCC barajlarda kullanılmaktadır. Öncelikle dolusavağın temel boyutları ve şekline karar verilir. Detaylı yapısal dizayn daha sonradan ilave edilir. Donatılar belirlenir. Donatılar komplike yerleştirilir. Bazen prefabrike takviye elemanları da kullanılır. Özellikle spesifik debinin uygulandığı akıma göre savaklanmadan dolayı gerilme meydana gelir. Bu gerilmeler, basamaklar tarafından karşılanır. Ayrıca basamak kenarlarında da kırılma görülebilir. Bu bakımdan 2-3 cm lik takviye yapılması gerekir.

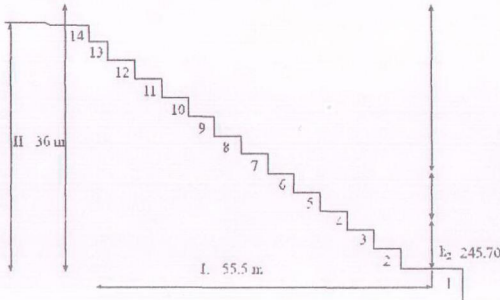
4.3 Basamaklı Dolusavak Uygulaması

1912 yılında Fransa'da Bobr nehri üzerinde inşa edilmiş Pilchowice barajında özellikle 33° meyilli klasik dolusavak ve kenar kanallar yardımıyla akım taşınmakta idi. Fakat barajın alt ve sol tarafında ciddi aşınmalar meydana geldi. 1940'lı yıllarda bazı bilim adamları dolusavaktaki aşırı enerji kırılımını sağlamak için on dört basamaktan oluşan bir ilavenin,

dolusavak içerisine monte edilmesine karar verdiler. Basamakların düsey kenarları taşla güçlendirilmiş crf imento şerbeti vasıtasıyla güçlendirildi. Basamak yükseklikleri 2,40 m den 3,00 m ye kadar artırıldı ve genişlik de 23 m ile 33 m arasında olacak şekilde ayarlandı. Böylece basit inşaat teknikleri uygulamasından sonra, baraj tekrar kullanılabilir hale geldi. şuanda bu baraj halen görevini sürdürmekte ve enerji üretebilmektedir.(şekil 4.4, şekil 4,5)



şekil 4.4 Pilchowice Barajı



şekil 4.5 Pilchowice barajı dolusavak en kesiti

4.4 Geleneksel Olmayan Dolu Savak Karakteristikleri

Barajların mansap eğimlerinde üç farklı tip geleneksel olmayan dolusavak tipi mevcuttur

- 1) Tip 1 : Donatılı beton kanal
- 2) Tip 2 : Basamaklı dolusavak
- 3) Tip 3 : Prefabrik beton bloklı basamaklı dolusavak

Tip 1, basamaklı dolusavaklardaki kanat duvarlarına benzer. Ayrıca dolgu barajlarda bulunursa drenaj bölgelerinde ve basamak dizayn noktalarında özel tedbir gereklidir.

Tip 2 de enerji sönümlemesi artar.

Tip 3 Sovyet dizayncılar tarafından geliştirilmiştir. Kullanılan bloklar suyun filtre edilmesi amacıyla drenaj kanalları ile birlikte kullanılır.

4.5 Maliyet Araştırmaları

Geleneksel ve geleneksel olmayan dolusavak maliyetleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma Portekiz'de üç barajda yapılmış ve değerler tablo 4.1'de sunulmuştur. Bu barajların özellikleri de aşağı verilmiştir.

Faz do Guadiana Barajı $H=21$ m, düşüm havuzlu, $q = 24 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$

Enxoe barajı $H= 21$ m, basamaklı dolusavaklı, $q= 42 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$, basamak yüksekliği $h=1,50$ m

Riberia da oerios barajı $H=27$ m, serbest akımlı dolusavak, $q=291 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$

Tablo 4.1 Dolusavak maliyetleri

Dolusavak maliyeti (1000 Eur) ve diğer geleneksel çözümlerden farklı yüzdelere

Baraj	Geleneksel	Tip1	Tip2	Tip 3
Faz do Guadiana	465	236 -49 %	201 -57 %	160 - 66%
Enxoe	512	321 -37 %	310 -39 %	180 - 65%
Riberia da oerios	1415	1527 +8 %	1951 +38 %	710 - 50 %

4.6 Dünyadan  rnekler

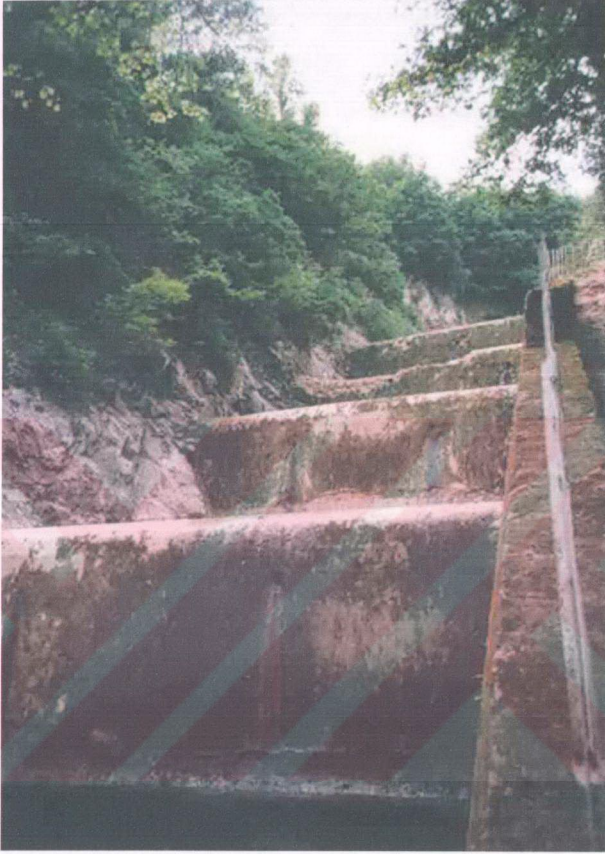
D nya'da bir ok barajda basamaklı dolusavak  rneklerini g rmek m mk nd r. Bu barajlardan bazıları: Gold Creek Barajı, Tache Barajı, Knellport Barajı, Les Olivettes Barajı ( ekil 4.6), Stagecoach Barajı, Choctaw Barajı, Malsbury Barajı( ekil 4.7), Le Pont Barajı ( ekil 4.8), Khaju Barajı( ekil 4.9), Gaulburn Barajı( ekil 4.10), Joe Sippel Barajıdır( ekil 4.11).



Şekil 4.6 Les Olivettes Barajı - Fransa



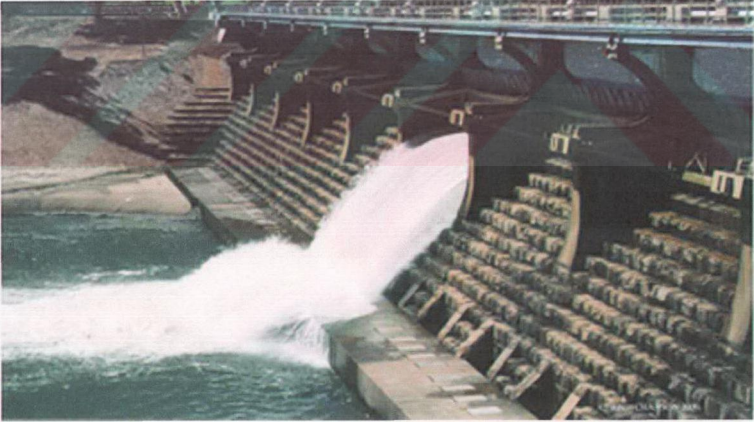
Şekil 4.7 Malmsbury Barajı - Avustralya



Şekil 4.8 Le Pont Barajı - Fransa



Şekil 4.9 Khaju Barajı - İran



Şekil 4.10 Gaulburn Barajı - Avustralya



Şekil 4.11 Joe Sippel Barajı - Avustralya

5. DENEY DÜZENEGİ

Bu çalışmadaki deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında hazırlanan bir deney seti ile yürütülmüştür. Deney setine ait kesit Şekil 5.1 de, deney setine ait görünüş Şekil 5.3 de verilmiştir. Deney düzeneği laboratuvar tabanında 2,50 m yüksek, genişliği sabit ($b=0,29$ m) olan dikdörtgen kesitli bir kanal olup, dolusavak mansap eğimi $\alpha = 30^\circ$ ve dolusavak uzunluğu $L=5,00$ m olacak şekilde farklı basamak boyutları değişikliklerinin kolayca yapılabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Deney düzeneğinin yan duvarı akım tipini tespit edebilmek amacıyla cam malzemeden yapılmıştır.

Basamak düşü yükseklikleri; $h=10$ cm için $b=17,88$ cm olarak alınmıştır.

Basamak uçlarına, kesitleri Şekil 5.2 de gösterilen, 4 cm lik dikdörtgen ve 4 cm ile başlayıp 1 cm'ye giden trapez kesitli ahşap malzemeden yapılmış eşikler yerleştirilmiştir. Sistemde debi, düzeneğin giriş kısmına yerleştirilen debimetre ile ölçülmüştür.

Bunlara ilave olarak deney düzeneğinde; iki adet su tankı (bir adet musluk suyu dolduran tank, bir adet 3.54 m^3 lük debimetrenin bağlı olduğu ve suyu deney düzeneğine ileten tank), su pompası, termometre, çözünmüş oksijen (DO) ölçeri, çözünmüş oksijen probu, cetvel, su almak için iki adet kova, havalanmayan akım bölgesini işaretlemek için tebeşir ve eşikleri sabitleştirmek için cam macunu mevcuttur.

Ayrıca musluk suyuyla doldurulmuş tank içerisindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu (DO) 0 mg/L 'ye indirmek için katılan Sodyum Sülfid (Na_2SO_3) ve Kobalt Klorür (CoCl_2) adlı kimyasal maddeler de deneyimizi gerçekleştirebilmemiz için gerekli materyaller arasındadır.

Bu kimyasal maddelerin miktarları ise yaklaşık $100 \text{ gr Na}_2\text{SO}_3$ ve katalizör görevi yapan 3 gr CoCl_2 'dir. Böylece menba ve mansattaki çözünmüş oksijen değerleri sıfıra yakın değerlere indirgenmiştir.

Vana yardımıyla ayarlanan farklı debi miktarlarında; mansaptaki su yüksekliği, h mansap, memba ve mansap bölgelerinden alınan sudaki oksijen değerleri C_u ve C_d , herhangi birindeki su sıcaklık değeri T ($^\circ\text{C}$) tespit edilmiştir.

Kanalda meydana gelen akımın sıçramalı, nap veya geçiş akımı şartlarından hangisini sağladıkları gözlemlenerek, kaydedilmiştir. Ayrıca, dolusavakta havalanmayan bölgenin uzunluğu da tespit edilerek, tablolardaki yerlerine yazılmıştır.

Tablolardaki diğer parametreler ise formüller kullanarak bulunmuştur.



Şekil 5.3 Deney Düzenegi

6. DENEYLERİN YAPILIŞI VE DENEY SONUÇLARI

Bu deneysel çalışma şekil 5.1’de kesitli verilen deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada havalanmayan bölgenin uzunluğu, meydana gelen akımın tipi, memba ve mansap kısmından alınan sulardaki oksijen miktarı değişimi, mansaptaki su yüksekliği gibi değerler tespit edilmiştir.

Debi ölçümleri memba kısma yerleştirilen debimetre vasıtasıyla yapılmış, debi ayarları debimetre önündeki bir küresel vana yardımı ile yapılmıştır.

Öncelikle su tankı musluk suyuyla doldurulmuştur. Tankın içerisine yaklaşık 100 gr Na_2SO_3 ve 3 gr CoCl_2 kimyasal maddeleri katılıp iyice karıştırılmıştır. Daha sonra pompa yardımıyla bu su, $3,54 \text{ m}^3$ lük diğer bir tanka (suyu deney düzeneğine ileten tank) taşınmıştır. Bu tanktaki su da çıkış kısmında bulunan küresel vana yardımıyla deney düzeneğine iletilmiş ve debimetre vasıtasıyla miktarı ayarlanmıştır. Çalışma sırasında genişliği 29 cm olan dikdörtgen kesitli boşaltım kanalından verilen debiler $Q=5 \text{ lt/s}$ ile $Q=47,65 \text{ lt/s}$ arasında değiştirilmiştir.

Düzeneğin memba ve mansap kısımlarından birer kova su alınarak, memba ve boşaltım kanalı sonundaki mansap bölgesindeki çözünmüş oksijen değeri (DO) oksijenmetre vasıtasıyla tespit edilmiştir. Ayrıca bir tebeşir yardımıyla düzeneğin yan tarafından bakılarak havalanmayan akım bölgesi (Li) işaretlenmiştir.

Yine mansap kısmında bir cetvel yardımıyla h mansap su derinliği ve aynı şekilde suyun basamak ve eşikler üzerinden geçiş durumuna göre akım tipi tespit edilmiştir.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu (DO) tespiti için, HANNA Model HI 9142 tipi ayarlanabilir, portatif bir oksijenmetre kullanılmıştır.

Oksijenmetre kullanımdan önce günlük olarak kalibre edilmiştir. Kalibre yöntemleri, yapımıcı firmanın tavsiye ettiği şekilde ve değerlerde yapılmıştır. Bu kalibre işleminde, oksijenmetrenin probu su yüzeyinden 1 cm yukarıda tutularak yapılmıştır. Bunun nedeni eğer prob kuru havada tutularak kalibre edilirse, % 2 hata oluşur. Böylece sonuçlar yanlış çıkar.

Ayrıca yine memba ve mansaptan alınan suların herhangi birinden sıcaklık ölçümü yapılır.

Yukarıda belirtilen işlemler 5, 10, 15, 20 lt/sn ve debimetrenin en son değeri olan yaklaşık 47 lt/sn değerleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Tablolardaki diğer veriler ise formüller kullanılarak bulunmuştur.

6.1.1 Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 1)

Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarları dolu olan basamaklı dolusavaklarda 5,22-47,15 lt/sn arasında yapılan deneylerde elde edilen tüm veriler Tablo 6.1 de verilmiştir.

Ayrıca bunun grafiği de Şekil 6.2, 6.3, 6.4 de verilmiştir.

Tablo 6.1 Eşik yüksekliği 4 cm den 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı alan basamaklı dolusavak için elde edilen değerler.

Sıra No	Q (L/s)	h_c (m)	h_u/h (-)	T (°C)	L_1 (cm)	L_a (cm)	L_u/h (-)	C_a (mg/L)	C_d (mg/L)	C_s (mg/L)	r (-)	E (-)	E_{20} (-)	Akım Tipi	h Mansap (cm)
1	5,22	0,031	0,314	19	39	461	46,1	0,6	5,6	8,28	2,86	0,651	0,658	Nap	1
2	10	0,048	0,484	19	55	445	44,5	0,2	5,7	8,28	3,13	0,680	0,687	Nap	3,5
3	14,55	0,062	0,621	18,5	77,5	422,5	42,3	0,0	5,4	8,38	2,81	0,644	0,656	Geçiş	4,5
4	18,70	0,073	0,734	18,5	80,5	419,5	41,95	0,0	5,9	8,38	3,34	0,700	0,711	Sıçramalı	6,0
5	47,15	0,136	1,360	18	102	398	39,8	0,0	4,7	8,48	2,24	0,554	0,569	Sıçramalı	9,0

h_c kritik derinlik değerleri; $h_c = \sqrt[3]{q^2 / g}$

formülü kullanılarak bulunmuştur.

h_c / h değerleri ise kritik derinliğin basamak yüksekliğine oranıdır.

L_a değerleri ise kanal uzunluğundan (5 m) L_1 değerleri çıkarılarak bulunur.

r değerleri ise 16 no'lu formül kullanılarak bulunur.

E değerleri ise 17 no'lu formül kullanılarak bulunur.

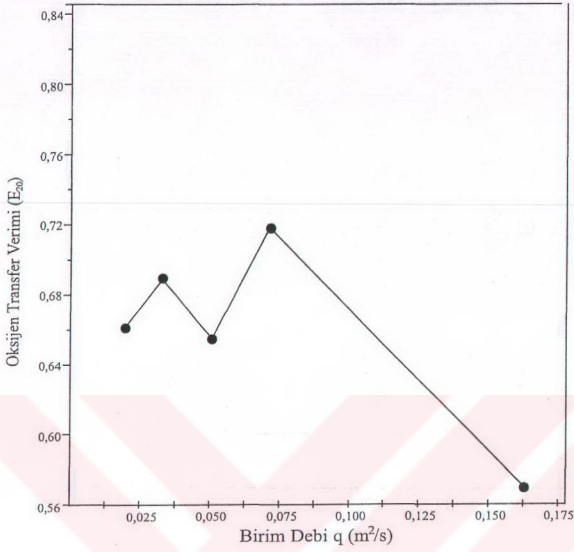
E_{20} değerleri ise 9 no'lu formül kullanılarak bulunur.

Tablodaki sıcaklık değerleri ise memba veya mansap kısmından alınan suyun termometre vasıtasıyla ölçülmesinden bulunmuştur. Bulunan sıcaklık değerleri 9 no'lu formül kullanılarak E_{20} ye dönüştürülmüştür.

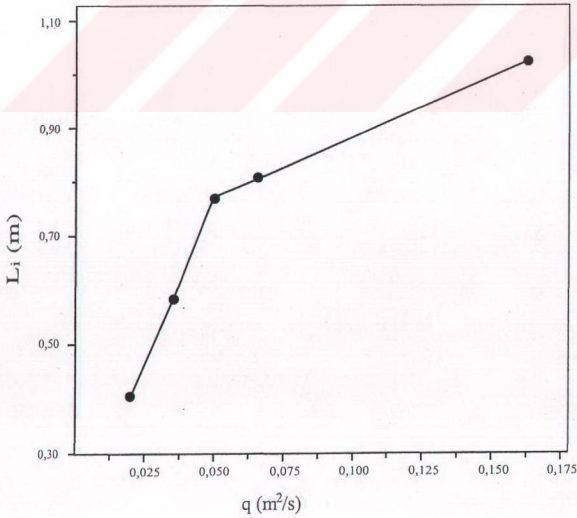
Tablodaki diğer değerler ise yapmış olduğumuz deneylerle tespit edilmiştir.



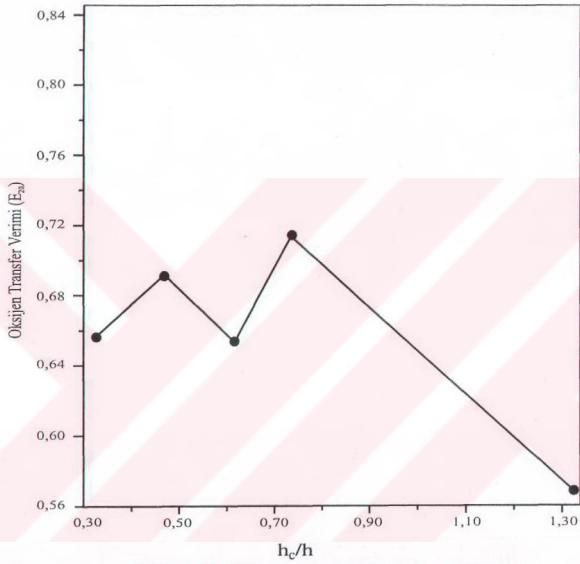
Şekil 6.1 Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak



Şekil 6.2 Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi



Şekil 6.3 Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğu değişimi



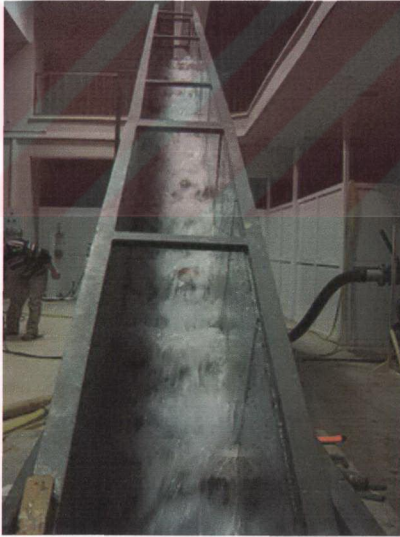
Şekil 6.4 Oksijen transfer verimi ile h_c/h in değişimi

6.1.2 Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 2)

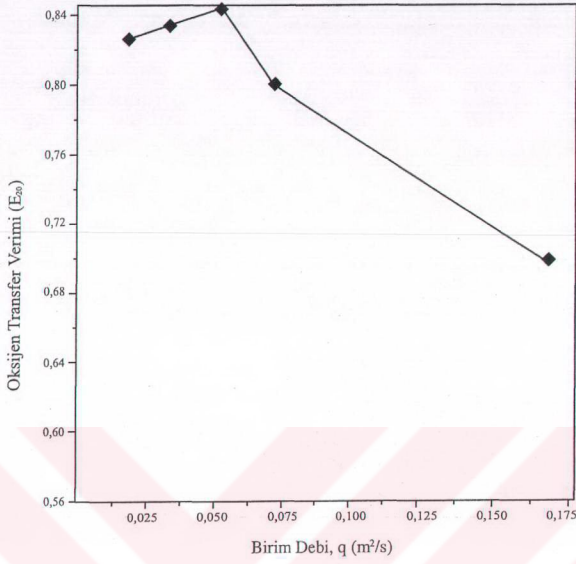
Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşiklerde, 4 cm lik kenar bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde 5,05 – 47,65 lt/s arasında yapılan deneylerde elde edilen veriler Tablo 6.2 de sunulmuştur. Ayrıca bunun grafikleri de şekil 6.6, 6.7, 6.8 de verilmiştir.

Tablo 6.2 Eşik yüksekliği 4 cm den 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşiklerde, 4 cm lik kenar bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamak dolusavaklar için elde edilen değerler

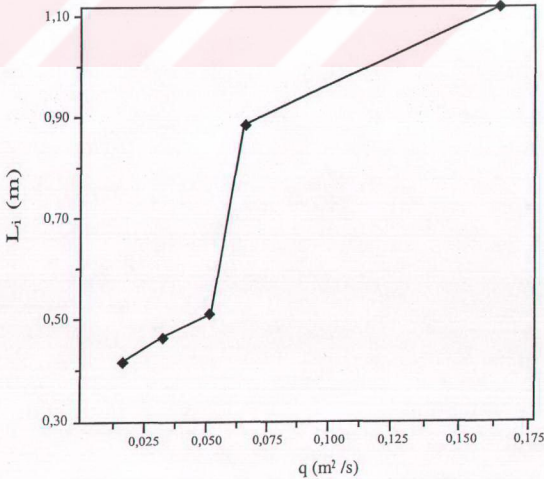
Sıra No	Q (L/s)	h_c (m)	h_c/h (-)	T (°C)	L_1 (cm)	L_a (cm)	L_d/h (-)	C_u (mg/L)	C_d (mg/L)	C_s (mg/L)	r (-)	E (-)	E_{20} (-)	Akım Tipi	h Mansap (cm)
6	5,05	0,031	0,307	18,5	41,5	458,5	45,85	1,5	7,1	8,38	5,38	0,813	0,823	Nap	2
7	9,70	0,047	0,474	18,5	48,5	451,5	45,15	1,6	7,2	8,38	5,74	0,825	0,834	Nap	3,8
8	15,10	0,064	0,637	18,5	52,0	448	44,80	1,6	7,0	8,38	4,91	0,796	0,864	Geçiş	6,5
9	20,15	0,077	0,772	18,5	89,5	410,5	41,05	1,8	7,0	8,38	4,76	0,790	0,800	Siçramalı	7,5
10	47,65	0,137	1,370	18,5	112	388	38,80	3,7	6,9	8,38	3,16	0,683	0,694	Siçramalı	10,6



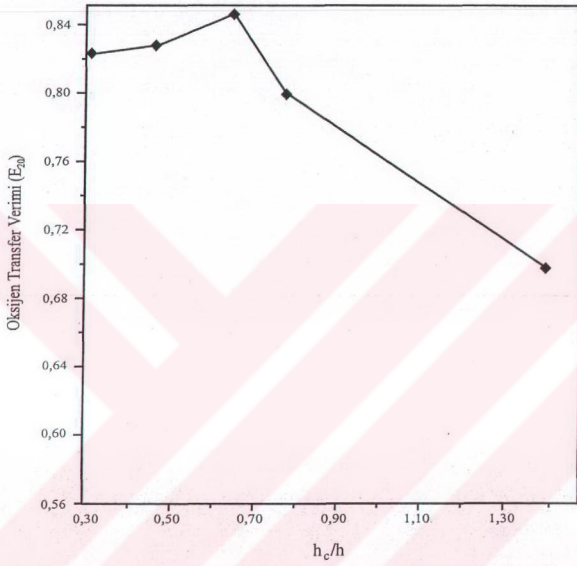
Şekil 6.5 Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa, bir boş basamak ve bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak.



Şekil 6.6 Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi



Şekil 6.7 Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi



Şekil 6.8 Oksijen transfer verimi ile h_c/h in değişimi

6.1.3 Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı iki sağa, bir boş basamak ve iki basamak sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 3)

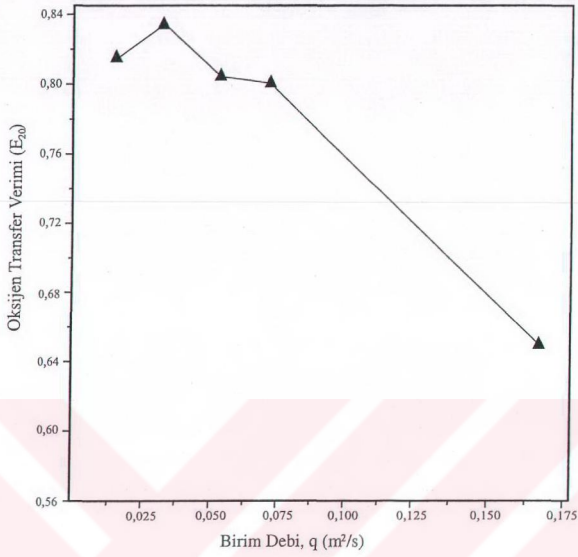
Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşiklerde 4 cm lik kenar iki sağa, bir boş basamak ve iki sola gelecek şekilde 5,05 – 47,40 lt/s arasında yapılan deneylerde elde edilen veriler Tablo 6.3 de sunulmuştur. Ayrıca bunun grafikleri de Şekil 6.10, 6.11, 6.12 de verilmiştir.

Tablo 6.3 Eşik yüksekliği 4 cm den 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşiklerde 4 cm lik kenarın iki basamakta sağa, bir boş basamak ve iki basamakta da sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan dolusavaklar için elde edilen değerler.

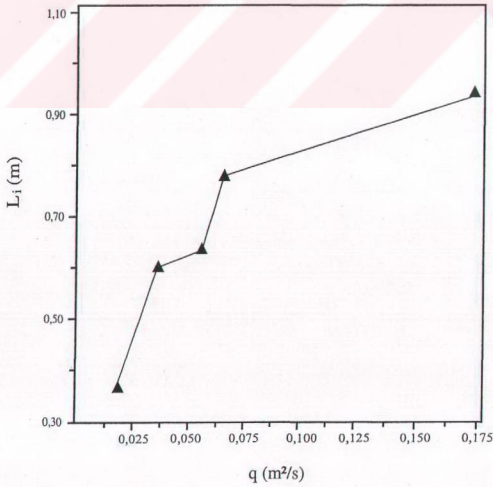
Sıra No	Q (L/s)	h_c (m)	h_c/h (-)	T (°C)	L_1 (cm)	L_a (cm)	L_a/h (-)	C_u (mg/L)	C_d (mg/L)	C_s (mg/L)	r (-)	E (-)	E_{20} (-)	Akım Tipi	h Mansap (cm)
11	5,05	0,031	0,307	18,5	36,5	463,5	46,35	2,9	7,3	8,38	5,07	0,802	0,812	Nap	2,1
12	10,10	0,049	0,487	18,5	60	440,0	44,00	3,9	7,6	8,38	5,74	0,825	0,834	Geçiş	4,8
13	15,10	0,064	0,637	18	63,5	436,5	43,65	3,8	7,5	8,48	4,77	0,790	0,803	Geçiş	6,5
14	20,50	0,078	0,781	18	75,5	424,5	42,45	3,4	7,4	8,48	4,69	0,787	0,800	Geçiş	8,2
15	47,40	0,137	1,365	18	93,5	406,5	40,65	3,3	6,6	8,48	2,75	0,637	0,637	Sıçramalı	11,0



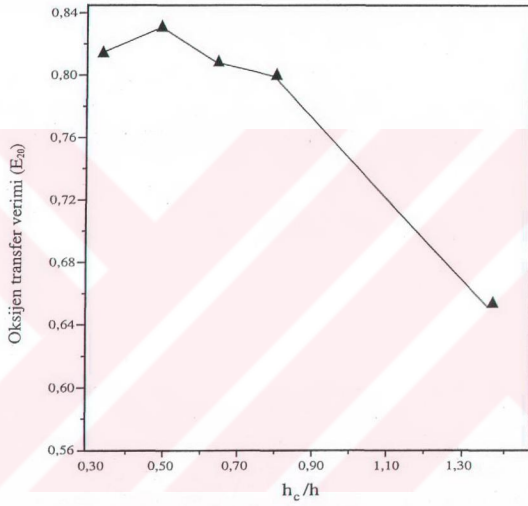
Şekil 6.9 Eşik yüksekliği 4 cm dan başlayıp 1 cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı iki sağa, bir boş basamak ve iki basamak sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak.



Şekil 6.10 Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi



Şekil 6.11 Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi



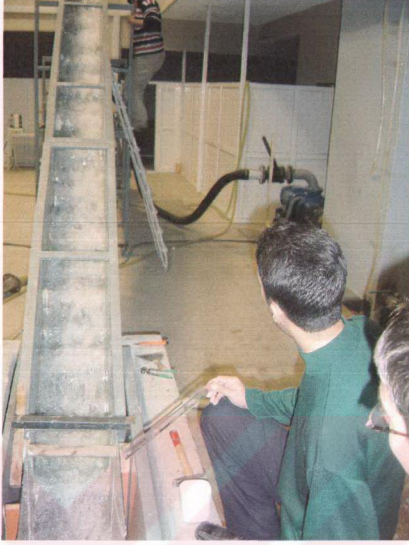
Şekil 6.12 Oksijen transfer verimi ile h_c/h in değişim

6.1.4 Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşğin bir basamak dolu, bir basamak boş olacak şekilde yerleştirilmesi ile yapılan deneyler (Alternatif 4)

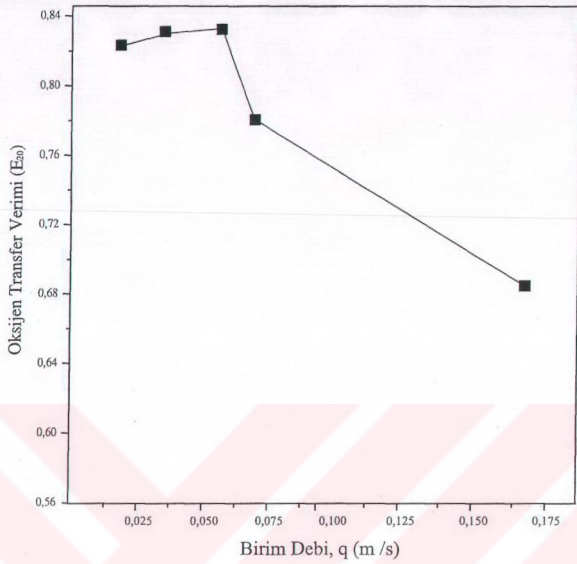
Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiklerin bir basamak dolu, bir basamak boş olacak şekilde yerleştirilmesiyle yapılan deneylerde elde edilen veriler Tablo 6.4 verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de şekil 6.14, 6.15, 6.16 da sunulmuştur. Tablodan da görüldüğü gibi nap , geçiş ve sıçramalı akım tipleri görülmektedir. Fakat, geçiş akımı daha fazla görüldüğü için bu eşik tipi uygun değildir.

Tablo 6.4 Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşiklerin bir dolu, bir boş şekilde yerleştirilmesiyle elde edilen değerler.

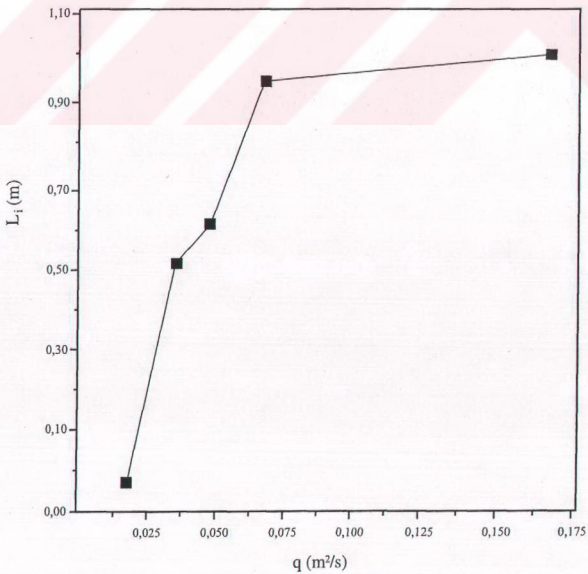
Sıra No	Q (L/s)	h_c (m)	h_c/h (-)	T (°C)	L_1 (cm)	L_2 (cm)	L_2/h (-)	C_u (mg/L)	C_d (mg/L)	C_s (mg/L)	r (-)	E (-)	E_{20} (-)	Akım Tipi	h Mansap (cm)
16	4,90	0,030	0,300	18	4,1	495,9	49,59	3,5	7,6	8,48	5,66	0,823	0,825	Nap	2,7
17	10,40	0,050	0,497	18	51,5	448,5	44,85	3,7	7,6	4,48	5,43	0,815	0,828	Geçiş	4,4
18	15,10	0,064	0,637	18	60,5	439,5	43,95	3,6	7,6	8,48	5,52	0,819	0,832	Geçiş	5,8
19	19,90	0,077	0,765	18	92,5	507,5	40,75	3,4	7,3	8,48	4,30	0,767	0,781	Geçiş	7,7
20	47,30	0,136	1,363	18	100	400	40,00	3,7	6,9	8,48	3,02	0,669	0,684	Sıçramalı	12,8



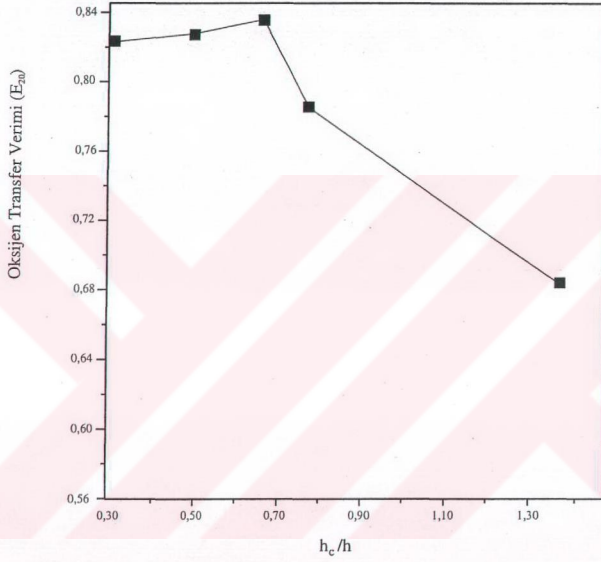
Şekil 6.13 Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşğin bir basamak dolu, bir basamak boş olacak şekilde yerleştirilmesi ile elde edilen basamaklı dolusavak.



Şekil 6.14 Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi



Şekil 6.15 Birim debi ile havalanmayan bölge uzunluğunun değişimi



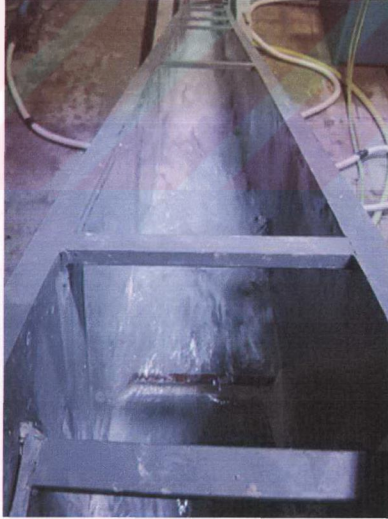
Şekil 6.16 Oksijen transfer verimi ile h_c/h ın değışimi

6.1.5 Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşğin tüm basamaklara yerleştirilmesi ile yapılan deneyler (Alternatif 5)

4 cm yüksekliğindeki dikdörtgen en kesitli eşğin tüm basamaklara yerleştirilip, 5,05-46,75 lt/s arasında yapılan deneylerde elde edilen akım tipi ve mansap su yüksekliği değerleri Tablo 6.5 de verilmiştir. Yine bu tipte nap geçiş ve sıçramalı akım tiplerin mevcut olduğu görülmüştür.

Tablo 6.5 4 cm lik dikdörtgen en kesitli eşiklerin tüm basamakla yerleştirilmesiyle elde edilen akım tipi ve mansap su yüksekliği değerleri.

Sıra No	Debi (L/s)	Akım Tipi	h_2 mansap su yükseklikleri (cm)
21	5,05	Nap	2,5
22	10,12	Geçiş	5,2
23	14,90	Geçiş	6,4
24	19,85	Sıçramalı	8,6
25	46,75	Sıçramalı	14,3



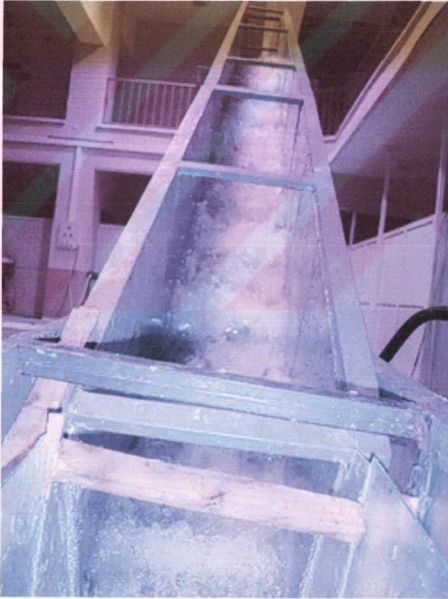
Şekil 6.17 Yüksekliği 4 cm olan dikdörtgen en kesitli eşğin tüm basamaklara yerleştirilmesi ile oluşan basamaklı dolusavak

6.1.6 Basamaklı eşiksiz dolusavak için deneyler (Alternatif 6)

Basamaklı ve eşiksiz dolusavaklarda 5,03 – 46,73 lt/s arasında yapılan deneylerde tespit edilen akım tipleri ve mansap su yükseklikleri Tablo 6.6 da verilmiştir.

Tablo 6.6 Basamaklı, eşiksiz dolusavaklarda akım tipleri ve mansap su yükseklikleri.

Sıra No	Debi (L/s)	Akım Tipi	h_2 mansap su yükseklikleri (cm)
26	5,03	Nap	3,2
27	9,98	Nap	6,4
28	15,13	Geçiş	7,8
29	19,75	Sıçramalı	8,5
30	46,75	Sıçramalı	11,3



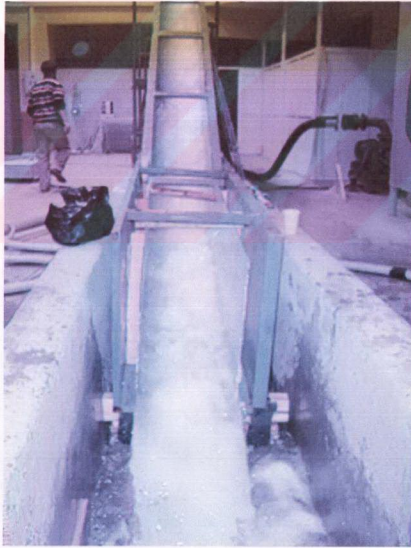
Şekil 6.18 Basamaklı eşiksiz dolusavak

6.1.7 Klasik basamaksız dolusavak ile yapılan deneyler (Alternatif 7)

Basamaksız dolusavaklarda yapılan deneyler, 4,97-46,80 lt/sn arasındaki debilerde yapılmıştır. Her bir debi değerinde, h_2 mansap su yükseklikleri ölçülmüştür. Bu değerler Tablo 6.7 de verilmiştir.

Tablo 6.7 Klasik basamaksız dolusavaklarda debi değerlerine göre mansap su yüksekliklerinin değişimi.

Sıra No	Debi (L/s)	h_2 mansap su yükseklikleri (cm)
31	4,97	1,6
32	9,70	3,3
33	14,92	4,2
34	19,74	5,8
35	46,80	9,8



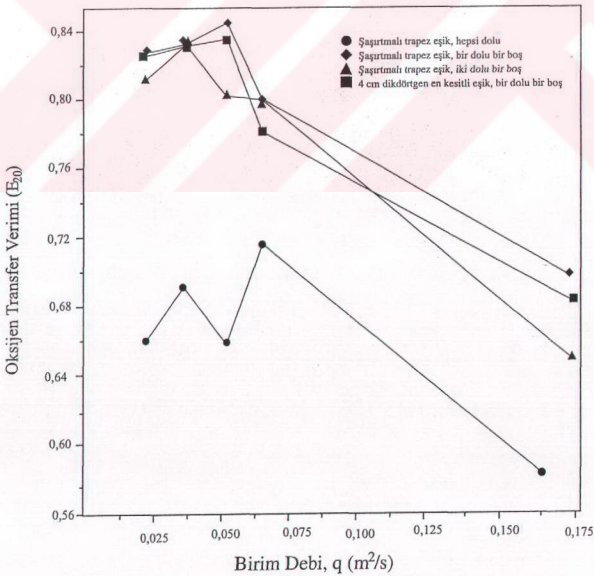
Şekil 6.19 Basamaksız klasik dolusavak

6.2 Alternatiflerin Karşılaştırılması

Çeşitli alternatiflerle yapılan deneyler gösteriyor ki, boşaltım kanalına yerleştirilen basamaklı dolusavaklarda, basamakların bir basamak dolu, bir basamak boş şekilde eşiklerle düzenlenmesinde oksijen transfer verimi (E_{20}) hem daha yüksek çıkar, hem de artan debiyle beraber azalmasına rağmen, diğer alternatiflere göre bu azalma miktarı daha düşük olur. Basamakların trapez veya dikdörtgen eşikli olması bu bilgiyi değiştirmez.

Basamakların trapez eşikle iki dolu bir boş şeklinde dizilmesinde de düşük debilerde elde edilen oksijen transfer verimi, basamakların bir dolu, bir boş şeklinde eşiklerle düzenlenmesiyle hemen hemen aynıdır. Ancak, debi miktarı arttıkça, oksijen transfer verimi de bariz bir şekilde azalır. Özellikle 47,40 lt/s lik debi miktarında oksijen transfer verimi bayağı azalmıştır. Ayrıca, bu tip dizilişe göre geçiş akımı daha fazla görülmektedir. Bu da, enerji sönümlenmesi açısından da istenmeyen bir durum oluşturmaktadır.

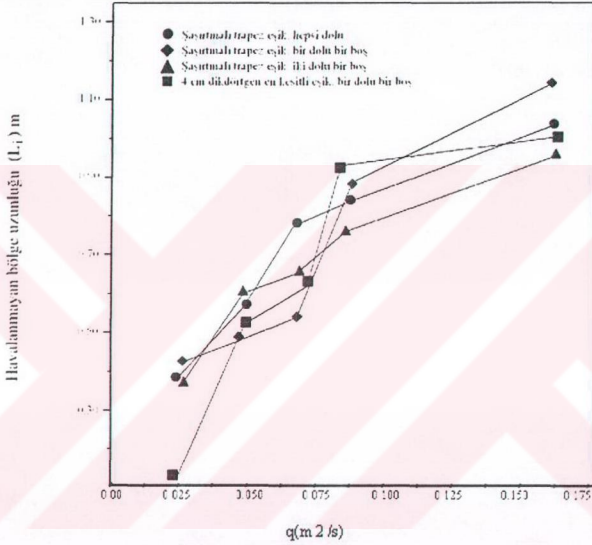
Basamakların hepsinin eşiklerle dolu olması durumunda, oksijen transfer verimi düşük çıkar. Debi artmasıyla da bu değer, iyice azalır. Bu nedenle oksijen transferi için uygun bir çözüm değildir.



Şekil 6.20 Birim debi ile oksijen transfer veriminin değişimi

6.2.1 Havalanmayan bölge uzunluğu bakımından alternatiflerin karşılaştırılması

Basamaklı dolusavaklarda boşaltım kanalı boyunca meydana gelen akım içerisine hava ne kadar kısa sürede karışır, bu noktada akımın enerjisi kırılmaya başlanmıştır demektir. Yani havalanmayan bölgenin uzunluğu ne kadar kısa olursa, enerji kırılımı o kadar fazla olur.



Şekil 6.21 Havalanmayan bölge uzunluğu ile q 'nın değişimi

Şekil 6.21 de verilen grafikte, havalanmayan bölge uzunlukları (m) ile kritik yüksekliğin basamak yüksekliğine oranı (h_c/h) değişimleri ifade edilmektedir.

İlk dört alternatif için de ayrı ayrı bu değerler grafikte gösterilmiştir.

Grafığı incelediğimizde, havalanmayan bölge uzunluğunun en fazla ikinci alternatifte yani şaşırtmalı trapez bir basamak dolu, bir basamak boş olanda olduğu görülmektedir. Bu nedenle enerji kırılımı da en az olan bu alternatiftir.

Küçük debilerde nap akımı görülmekte, dolayısıyla havalanmayan bölge uzunluğu nap akımında küçük değerlerde iken, büyük debilerde sıçramalı akımın görülmesi ile havalanmayan bölge uzunluğu yüksek değerlerde çıkmaktadır.

Havalanmayan bölge uzunluğunu da deney düzeneğinden çeşitli debi değerleri verildiğinde düzeneğin yan tarafından tespit ederiz. Kısacası hava kabarcıklarının başlamış olduğu bölgeye kadarki kısım havalanmayan bölge uzunluğudur. Yani sisteme hava girişinin başlamış olduğu bölge havalanmayan bölge uzunluğunun başlangıcıdır.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, basamaklı dolusavaklarda oksijen transfer verimi incelenmiştir. Bu amaçla bir dizi alternatiflerle, deneyler yapılmıştır. Basamaklara dikdörtgen ve trapez enkesitli eşikler yerleştirilerek, farklı debilerde oksijen transfer veriminin nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Basamaklı dolusavaklarda oksijen transfer verimi, şut açısı (α), basamak yüksekliği (h) ve birim debi (q) ye bağlı olarak değişir.
- Basamaklı dolusavaklarda nap, geçiş ve sıçramalı akım tipleri gözlenmiştir. Küçük debilerde (5-10 lt/s) nap akım gözlenmiş, büyük debilerde ise sıçramalı akım gözlenmiştir.
- Havalanmayan bölge uzunluğu en az nap akımında, en fazla sıçramalı akımdadır. Bu nedenle nap akımında oksijen transfer verimi düşüktür. Sıçramalı akımda ise oksijen transfer verimi yüksektir. Havalanmayan bölge uzunluğunun en az nap akımında olmasının sebebi de, nap akımında sisteme türbülansan dolayı hava girişinin erken olmasındandır.
- Birim debinin artması ile havalanmayan bölge uzunluğunun arttığı görülmüştür.
- Oksijen transfer verimi, debi değerlerine göre değişmektedir. Küçük debilerde oksijen transfer verimi artarken, debi değerinin belirli bir değeri aşması ile oksijen transfer verimi azalır.
- Mansap su derinliğinin belli bir değere kadar artması ile oksijen transfer verimi de artmıştır. Mansap su derinliğinin yaklaşık 6.7 cm'ye kadarki kısmında oksijen transfer verimi de artmıştır. Daha sonra ise, azalmaya başlamıştır.
- Havalanmayan bölge uzunluğunun artması ile enerji sönmülenmesi oranı azalmaktadır. Yapılan deneyler incelendiğinde, trapez enkesitli eşiklerin basamaklara bir dolu, bir boş şekilde yerleştirilmesiyle elde edilen havalanmayan bölge uzunlukları en fazladır. Bu nedenle enerji sönmülenmesi en az bu tip alternatifte görülmektedir. Yani oksijen transfer verimi en fazla olan da bu alternatiftir.
- Basamaksız dolusavaktaki mansap su derinlikleri, basamaklı dolusavaklara oranla daha düşüktür. Bu nedenle, basamaksız dolusavaktaki oksijen transfer verimi basamaklı dolusavağa göre düşüktür.
- Birim debi ile hc/h değeri arasında doğru orantı mevcuttur. Yani birim debi artarsa hc/h değeri de artar

- h_g/h değerinin artması ile, oksijen transfer verimi küçük debilerde (5, 10, 20 L-lt/s) artar, büyük debilerde azalır.
- Yine yapılan deneyler neticesinde h_c/h değerin artması ile havalanmayan bölge uzunluğunun arttığı tespit edilmiştir.
- Yapılan deneyler incelendiğinde, basamaklı dolusavaklarda basamakların bir dolu, bir boş şekilde eşiklere düzenlenmesinde oksijen transfer veriminin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle trapez kesitte, bu daha da fazladır. Basamaklı dolusavakların trapez kesitle bir dolu bir boş şekilde yerleştirilmesinde oksijen transfer verimi 0.864 değerine kadar çıkmıştır. Bu değer de diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında en yüksek oksijen transfer verimi değeridir. Aynı zamanda geçiş akımının basamakların bir dolu bir boş şekilde yerleştirilmesinde az görülmesinden dolayı da uygun alternatiftir.

KAYNAKLAR

1. Tuna, .C., 2004 Eşikli ve basamak tipli dolusavaklarda akım ve enerji sönümlenmesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 79s.
2. Baylar, A., 2002, Savak havalandırıcılarda tip seçiminin oksijen transferine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s.
3. Tsivoglou, E.C., and Wallace, J.R., 1972, Characterization of stream. Reaeration capacity, Usep a Rep. No. R3-72-012, U.S. Envir. Protection Agency., Washington., D.C.
4. Force, E.G., 1976, Reaeration and velocity prediction for small streams, Journal of Enviromental Engineering Division, ASCE, Vol. 102, no.5, 937-952
5. Gameson, A.L.H., Vandyke, K.G., and Ogden, C.G., November, 1958, The effect of temperatura an aeration, Water and Water Engineering.
6. Water Research Laboratory (WRL), 1973, Notes an water pollution-Aeration of weirs, Report. No.61, Department of the Environment, Stevenage, U.K.,
7. Avery, S., and Novak, P., 1978, Oxygen transfer at hydraulic structures, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 104-HY11, 1521-1540.
8. Thene, J.R., 1988, Gaz transfer at weirs using hydrocarbon gaz tracer method with head-space analysis, phd Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, Minn.
9. Butts, T.A., and Evans, R.L., 1983, Small channel dam aeration characteristic J.Envir. Engrg, ASCE, 109(3), 555-573.
10. Gameson, A.L.H., 1957, Weirs and aeration of rivers, Journal of the Institutio of Water Engineers. Vol.11.
11. Gulliver, J.S., and Wilhelms, S.C., and Parkhill, K.L., July, 1998, Predictive capabilities in oxygen transfer at hydraulics structures, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 124, No.7, 664-671.
12. Boes, R.M., and Hager, W.H., 2001, Two-phase flow characteristics of stepped spillways, Journal of Hydraulic Engineering:under review.
13. Robinson K, Rice C., Kadavy K., and Talbot R., 1998, Energy losses ona roller compacted concrete stepped spillway, ASCE Conference, Water Resources Engineering, 2, 1434-1439.
14. James, C.S., Main, A.G., and Moon, J., 1998, Enhanced energy dis sipation in stepped chutes, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Maritime Engineering, 148, 4, 277-280.

15. Eroğlu, V., 1991, Oksijen transferi ve atıksu tasfiyesinde havalandırma, İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Cilt 1, Sayı 2, 95-109.
16. Baes, R.M., and Minar. H., 2000, Guidelines for the hydraulic design of stepped spillways, Proc. International Workshop an Hydraulics of Stepped Spillways, VAW, ETH Zürich, Balkema: Rotterdam, The Netherlands:163-170.
17. Emiroğlu, M.E., and Baylar., 2002, Study of aeration performance of open channel chutes equipped with a flip bucket, Turkish Journal of Engineering and Enviromental Sciences, 27, 189-200.
18. Baylar A. and Emiroğlu, M.E., 2003, Study of aeration efficiency at stepped channels, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Maritime Engineering, 156, 257-263.
19. Emiroğlu, M.E., and Baylar., 2003, An investigation of effect of stepped chutes with end sill on aeration performance, Water Qual. Res. J. Canada, 38,3, 527-539.
20. Rogala, R., and Dedowicz W., 1997, Rehabilitation of the dam cacade In Pilchowice, Wroclaw University of Technology, Institute of Geotechnics and Hydrotechnics, 27,2, 53-70.
21. Pinheiro, A., and Relvas, A., 2000, Non-conventional spillways over earth dams, An economical alternative to conventional chute spill ways, Dam Engineering, 10, 4, 195-201.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Elazığ'da doğdum. İlk öğrenimimi Evren Paşa İlkokulu'nda, orta öğrenimimi Özel Bilgem Lisesi'nde tamamladım. Lise öğrenimimin ilk iki yılını yine Özel Bilgem Lisesi'nde, son yılını da Atatürk Lisesinde tamamladım. 1998 yılında girmiş olduğum Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü, 2002 yılında başarı ile bitirdim. 2003 yılı Ocak ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansı kazanarak, buradaki öğrenimime başladım. "Basamaklı Dolusavaklarda Oksijen Transferi" konulu tez çalışmama devam etmekteyim. İngilizce bilmekteyim. Evliyim.

Ertuğrul İLÇİN