

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN MANSABINDAKİ
OYULMALARIN İNCELENMESİ**

Tuba BİRLİKBAŞ

Tez Yöneticisi
Prof. Ahmet TUNA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASAMAKLI DOLU SAVAKLARIN MANSABINDAKİ
OYULMALARIN İNCELENMESİ

Tuba BİRLİKBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

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

Danışman : Prof. Ahmet TUNA

Üye : Doç. Dr. Ayhan Ünlü

Üye : Doç. Dr. Ahmet Baylar

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

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince yaptığı öneriler ve yardımlarından dolayı tez yöneticim Sayın Prof. Ahmet TUNA'ya deney düzeneğinin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr. Nihat KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER.....	I-II
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III-IV
TABLOLAR LİSTESİ.....	V
SİMGELER LİSTESİ.....	VI-VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. BAĞLAMA MANSABINDAKİ OYULMALAR.....	2
2.1 Oyulmaların Genel Denklemleri.....	2
2.2 Oyulma Uzunlukları.....	6
2.3 Maksimum Oyulma Derinliğinin Yeri.....	7
2.4 Oyulma Oluşumun Mekanizması.....	9
2.5 Taban Oyulmasının Önceden Saptanması.....	10
2.5.1 Jet Enerjisinin Sönümüne Bağlı Olarak Oyulma Derinliği.....	10
2.5.2 Serbest Düşen Bir Jetin Küpsel Bloklardan Oluşan Tabandaki Oyma Derinliği.....	12
2.5.3 Savak Sırtından Sıçrayan Bir Jetin Nehir Tabanındaki Oyma Derinliği.....	13
2.6 Oyulma Derinliğinin Saptanması.....	16
2.6.1 Problemin İncelenmesinde Yapılan Basitleştirmeler.....	16
2.6.2 Oyulma Derinliği Bağıntısı.....	16
2.7 Oyulmaya Karşı ve Oyulmadan Sonra Alınabilecek Tedbirler.....	18
3. BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN HİDROLİĞİ.....	21
3.1 Genel Bilgiler.....	21
3.2 Basamaklı Dolusavakların Projelendirilmesi.....	22
3.2.1 Ön Plan Hazırlanması.....	25
3.2.2 Savak Genişliğinin Seçimi.....	25
3.2.3 Savak Kretinin Tayini.....	26
3.2.4 Maksimum Çıkış Debinin Meydana Gelmesi.....	26
3.2.5 Optimum Basamak Yüksekliğinin Seçimi.....	26
3.2.6 Basamak Uzunluğu ve Kanal Eğim Açısının Seçimi	27
4. DÜŞÜM YATAKLARININ SONUNDAKİ OYULMALARLA İLGİLİ LİTERATÜR	
ÖZETİ.....	28

5. DÜŞÜM YATAKLARININ SONUNDAKİ OYULMALARLA İLGİLİ UYGULANMIŞ ÖRNEKLER.....	34
5.1 Keban Barajı Dolusavak Düşüm Yatağında Meydana Gelen Oyulmalar.....	34
5.1.1 Dolusavak Düşüm Yatağının Oyulmalara Karşı Korunması İçin Yapılan Yapılar.....	35
5.2 Kariba Barajı Mansabında Meydana Gelen Oyulmalar	37
6. MATERYAL VE METOT.....	40
6.1. Deney Düzenegi.....	40
6.2. Deneylerin Yapılışı.....	44
6.2.1 Dolusavak Boyunca Yapılan Deneyler.....	44
6.2.1.1 Klasik Basamaksız Dolusavak ile Yapılan Deneyler (Alternatif 1).....	44
6.2.1.2 Basamak Yüksekliği 15 cm ve Basamak Genişliği 24 cm Olan Basamaklı Dolusavak İçin Yapılan Deneyler (Alternatif 2)	47
6.2.2 Alternatiflerin Karşılaştırılması.....	49
6.2.2.1 Basamaksız Klasik Dolusavak ve Basamak Genişliği 15 cm ile Basamak Genişliği 24 cm Olan Basamaklı Dolusavak Durumlarının Karşılaştırılması.....	49
7. SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Oyulmanın Genel Şeması.....	3
Şekil 2.2	K_o Sabitinin Belirlenmesi.....	6
Şekil 2.3	Oyulma Uzunluğunun Oyulma Derinliği ile Değişimi.....	7
Şekil 2.4	Oyulmada En Derin Noktanın Yeri.....	8
Şekil 2.5	Oyulma Yastık Yüksekliğinin Belirlenmesi.....	9
Şekil 2.6	Dinamik Jet Basıncı Sonucunda Yer Alan Kuvvet Etkisi.....	10
Şekil 2.7	Max. Oyulma Derinliği.....	11
Şekil 2.8	Yüksek Düşülü Bir Barajın Dolusavağı Mansabındaki Oyulma İle İlgili Değerler.....	14
Şekil 2.9	ϕ Hız Katsayısının, Özgül Debi ve S Dolusavak (beton) Boyuna Göre Değişimi.....	15
Şekil 2.10	Oyulma İle İlgili Büyüklükler.....	17
Şekil 2.11	Kemer Barajlarda Çeşitli Boşalım Biçimleri.....	19
Şekil 2.12	Oluşmuş Bir Oyulmanın Gelişmesini Önleyici Bir Tedbir.....	20
Şekil 2.13	Taban Oyulmasına Karşı Tedbirler.....	20
Şekil 3.1	New Craton Barajı.....	22
Şekil 3.2	Basamaklı Dolusavaktaki Sıçramalı, Nap ve Geçiş Akımı.....	23-24
Şekil 4.1	Nap Akımı Fotoğrafı.....	32
Şekil 4.2	Sıçramalı Akım Fotoğrafı.....	33
Şekil 5.1	Koruma Yapıları Yapılmadan Önce Dolusavak Şutundan Görünüşler.....	34
Şekil 5.2	Keban Barajı Dolusavak Sıçratma Eşiği Mansabında İnşa Edilen Koruma Yapısı.....	35
Şekil 5.3	Keban Barajı Dolusavak Mansabı Koruma Yapısı ve Dolusavak Şutu.....	37
Şekil 5.4	Kariba Barajının Mansabında Oluşan Oyulma Çukuru.....	38
Şekil 6.1	Deney Düzeneginin Kesiti.....	40
Şekil 6.2	Debimetre.....	41
Şekil 6.3	Mansap Havuzu.....	41
Şekil 6.4	Deney Düzenegi.....	42
Şekil 6.5	Elek Analizi Grafiği.....	43
Şekil 6.6	Debi İle Oyulma Derinliği Değişimi	46
Şekil 6.7	Basamaksız Klasik Dolusavak.....	46
Şekil 6.8	Debi ile Oyulma Derinliği Değişimi ($h=15\text{cm}$, $l=24\text{cm}$)	48
Şekil 6.9	Basamaklı Dolusavak ($h=15\text{ cm}$, $l = 24\text{ cm}$).....	48

Şekil 6.10	Debi ile Oyulma Derinliği Değişimi (Alternatiflerin Karşılaştırılması).....	49
Şekil 6.11	Sıçramalı Akım Örneği.....	50

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1	Elek Analizi Tablosu.....	43
Tablo 6.2	Basamaksız Klasik Dolusavak İçin Akım Tipleri ve H_1 Yükseklikleri	45
Tablo 6.3	Basamaksız Klasik Dolusavak İçin Oyulma Değerleri.....	45
Tablo 6.4	$h = 15$ cm ve $l = 24$ cm Olan Basamaklı Dolusavak İçin Akım Tipleri ve H_1 Yükseklikleri.....	47
Tablo 6.5	$h = 15$ cm ve $l = 24$ cm Olan Basamaklı Dolusavak İçin Oyulma Değerleri.....	47

SİMGELER LİSTESİ

a	: Küpsel blokların kenar uzunluğu
b	: Dikdörtgen kesitli kanalın genişliği
B_o	: Dikdörtgen enkesitli jetlerin mansap suyu seviyesindeki kalınlık
d	: Dane çapı
d_m	: Taban malzemesinin ortalama dane çapı
d_{90}	: Taban malzemesinin ağırlık yüzdesi olarak %90'ının elekten geçtiği dane çapı
D_o	: Dairesel enkesitli jetlerin mansap suyu seviyesindeki çap
e	: Mansap su seviyesinden ölçülen su yastığı derinliği
E_0	: Jetin dalışındaki enerjisi
E	: Jetin y mesafesindeki enerjisi
f	: Tabanın başlangıç konumundan itibaren ölçülen oyulma derinliği
g	: Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)
h	: Basamak yüksekliği (cm)
h_c	: Kritik akım derinliği (cm)
h_B	: Oyulma yastık derinliği (cm)
h_{nap}	: Nap yüksekliği (cm)
h_{oyulma}	: Oyulma derinliği (cm)
h_u	: Akarsu tabanından itibaren mansap su yüksekliği (cm)
H	: Memba ile mansap su seviyeleri farkı (cm)
H_1	: Dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği (m)
J	: Eğim
K_o	: Katsayı
l	: Basamak genişliği (cm)
L	: Memba ile mansap arasındaki mesafe
L_{oyulma}	: Oyulma boyu (cm)
$L_{oyulma\ yastık}$	: Oyulma yastık boyu (cm)
P_{dyn}	: Dinamik jet basıncı
R_{dyn}	: Dinamik jet basıncını sonucunda yer alan kuvvet etkisi
S	: Akımın sürüklenme kuvveti
q	: Birim debi
q_o	: Kapak üstünden geçen akım miktarı
q_u	: Kapak altından geçen akım miktarı
Q	: Toplam debi (L/sn)

R	: Hidrolik yarıçap
t_k	: Akarsu tabanından itibaren oyulma derinliği (cm)
V_0	: Jetin mansap suyuna dalış hızı
W	: Blokların su altındaki ağırlığı
y_e	: Jetin ulaştığı mesafe
y_k	: Jetin çekirdek uzunluğu
α	: Jetin düştüğü andaki yatayla yaptığı açı
ρ	: Suyun birim kütlesi
ρ_s	: Blokların birim kütlesi
τ	: Kayma gerilmesi (kg/m^2)
τ_{kr}	: Kritik kayma gerilmesi (kg/m^2)
θ	: Jetin dalış açısı
ε	: Havalanma oranı
λ	: Katsayı
ψ	: Blokların yerleşme açısı
δ	: Blokların derz aralıkları

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜŞÜM YATAKLARININ SONUNDAKİ OYULMALARIN İNCELENMESİ

Tuba BİRLİKBAŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa 53

Yüksek düşülü barajların dolusavaklarının hemen mansabındaki nehir tabanı, dolusavaktan bırakılan suyun etkisi ile oyulur. Bu tür barajların projelendirilmeleri sırasında karşılaşılan en önemli problemlerden biri, dolusavağın mansabında yer alabilecek oyulmanın yaratabileceği tehlikedir. Barajın ve yardımcı diğer yapıların güvenliği bakımından eksiksiz bir projede, dolusavak düşü kanalının hemen mansabında oluşan nehir tabanının oyulabilirliği ve ileride beklenen oyulma derinliğinin önceden bilinmesi gereklidir. Oyulmanın proje süresi içinde saptanması olası sorunları ortadan kaldıracaktır.

Bu çalışmada, mansap havuzundaki oyulmalar tayin edilmiş ve oyulmanın en aza indirilmesine çalışılmıştır. Bu çalışma, yedi bölümden oluşmaktadır; Birinci bölümde; önbilgiler sunulmuş, çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde; düşüm şüt kanallarının sonundaki oyulmalar detaylı bir şekilde verilmiştir. Üçüncü bölümde; basamaklı dolusavakların hidroliği hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde; literatür özeti sunulmuştur. Beşinci bölümde; düşüm yataklarının sonundaki oyulmalarla ilgili örnekler verilmiştir. Altıncı bölümde; deney düzeneği ve deneylerin yapılışı anlatılmış, elde edilen sonuçlara ait grafikler çizilerek, yorumlanmış ve tartışılmıştır. Yedinci bölümde; sonuçlar verilmiştir. Bu çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, basamaklı dolusavakların mansap kanalında oluşan oyulmayı azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Oyulma, dolusavak, basamaklı dolusavak, düşüm havuzu

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF SCOURS AT THE END OF STEPPED SPILLWAYS

Tuba BİRLİKBAŞ

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2007, Page 53

The river bed which is near downstream of the spillways of the dams which have high head is scoured with the effect of the water which is leaved from the spillway. One of the important problems associated with the design of this type dams is the damage that may arise as a result of scour of river bed downstream of spillways. At a perfect project because of the security of the dam and the other hepler building,the erodibility in the river-bed immediately downstream from the spillway-chute and the dept of the expected scour must be known. The establishment of the at the project period will disappear the probable problems.

In this study, the scours at the end the of the chute channel were made clear and was studied for getting lower of the scour to the least. This studying includes seven sections; In the first section, introduction is presented, the aim and the imply of the studying were explained. In the second section, the scours at the end of the shooting channels were given clearly. In the third section, general informations about the hydraulic of stepped spillways were given.In the fourth section, summary of literature was presented. In the fifth section, the samples about the scours at the end of the stilling basins were given. In the sixth section, experimental setup and the making of experiments were told. The results about grafics were explained and discussed by drawing.In the seventh section, the results were given. According to the results of the experiments that were made in this study, the increasing of the scours which has been at the mouth of a river channel of the stepped spillways was seen.

Keywords : Scour, spillway, stepped spillway, stilling basin

1.GİRİŞ

Son yıllarda yurdumuzda ve diğer ülkelerde düşü yüksekliği gittikçe artan barajlar inşa edilmektedir. Bilindiği gibi, baraj rezervuarında depolanması mümkün olmayan fazla sular (özellikle taşkın suları) dolusavak yardımıyla barajın mansap tarafına aktarılır. Dolusavakların bir kısmı çoğunlukla kemer barajlarda olduğu gibi suyu serbest jet halinde, bir kısmı ise bir düşü kanalı ile ve sonundaki bir deflektör yardımı ile sıçratarak meyilli bir jet halinde akarsu yatağı üzerine düşürürler. Düşen su ulaştığı anda önemli bir enerjiye sahiptir [1].

Büyük bir yükseklikten düşen suyun kinetik enerjisi, jetin çarptığı bölgede dinamik basınca dönüşmektedir. Çatlaklar arasına etkiyen basınç, bir hidrolik kama gibi blokları birbirinden ayırabilmektedir. Özellikle suyun yüksek türbülansı bağlayıcı malzemenin yorulmasına neden olmaktadır. Jetin taban üzerindeki dinamik basınç etkisi oyulmanın ana nedeni olarak düşünülebilir [1].

Yüksek düşülerin ve büyük debilerin sözkonusu olması halinde, suyun enerjisinin enerji kırma havuzu veya benzeri bir yapı ile kırılması hem hidrolik hem de yapı tekniği yönünden güç problemler ortaya çıkarır [2].Düşen su, yatak üzerindeki alüvyal malzemeyi kısa zamanda sürükler ve arkasından kaya tabanı oymaya başlar. Oyulmanın gelişmesi ile birlikte doğal bir enerji kırma havuzu oluşur ve suyun enerjisi oyulma hacmi ile orantılı olarak kırılır. Bu sırada oyulmanın baraj gövdesine mesafesi ve derinliği gövdenin ve diğer ek yapıların stabilitesini tehlikeye düşürebilir [1].

Oyulma iki şekilde gerçekleşir. Dolusavaktan veya dipsavaktan çıkan yüksek enerjili akım akarsu tabanı ile ilk buluştuğu noktayı, şiddetle tahrip eder. Bu olaya yersel oyulma ismi verilmektedir. İkinci tip oyulma nehir tabanının büyük bir kesimde alçalmasıdır. Taban alçalmasının tersi taban yükselmesidir. Bu olaya baraj gölünün girişinde rastlanır [3].

Oyulma çukurunun boyutları çok sayıda faktörlere bağlı olduğundan, projeciye bir formül verebilmek için bu faktörleri kapsayan laboratuvar ve arazide geniş ölçüde teorik ve deneysel incelemelerin yapılması gerekir.

Laboratuvarlarda yapılan model deneylerinde dolusavaktan düşen suyun yol açacağı mansap tabanındaki oyulmaların önceden saptanması mümkün olmamıştır [1]. Yapılan literatür incelemeleri, dolusavaktan boşalan suyun kaya tabanda yapacağı oyulmanın hesaplanmasına yetmemiştir. Bizi bu araştırma çalışmasına yönelten neden budur.

Bu çalışmada ,oyulmalar tayin edilmiş ve oyulmanın en aza indirilmesine çalışılmıştır.

2. BAĞLAMA MANSABINDAKİ OYULMALAR

2.1. Oyulmaların Genel Denklemleri

Bugüne kadar birçok araştırmacı bağlama mansabında meydana gelen oyulma problemleri ile yakından ilgilenmiş ve oyulma denklemlerini tatbik etmişlerdir. Elde edilen neticeler genellikle birbirinden farklıdır. Oyulma derinliğine tesir eden başlıca faktörler ise

1. Mansap su yüksekliği (h_u),
2. Düşü yüksekliği veya memba ile mansap su seviyeleri arasındaki fark (H),
3. Birim debi (q),
4. Taban malzemesinin ortalama dane çapı (d_m),
5. Yerçekimi ivmesidir (g).

Aşağıda bazı araştırmacıların oyulma hakkında yaptıkları önemli bazı incelemeler kısaca özetlenecektir [4].

a) Schoklitsch Oyulma Denklemi:

Oyulma hakkında ilk deneysel çalışmayı yapan Schoklitsch [5] mansap su yüksekliğini dikkate almaksızın sabit bağlama için,

$$T_o = 4,75 \frac{H^{0,2} \cdot q^{0,57}}{d_m^{0,32}} \quad (2.1)$$

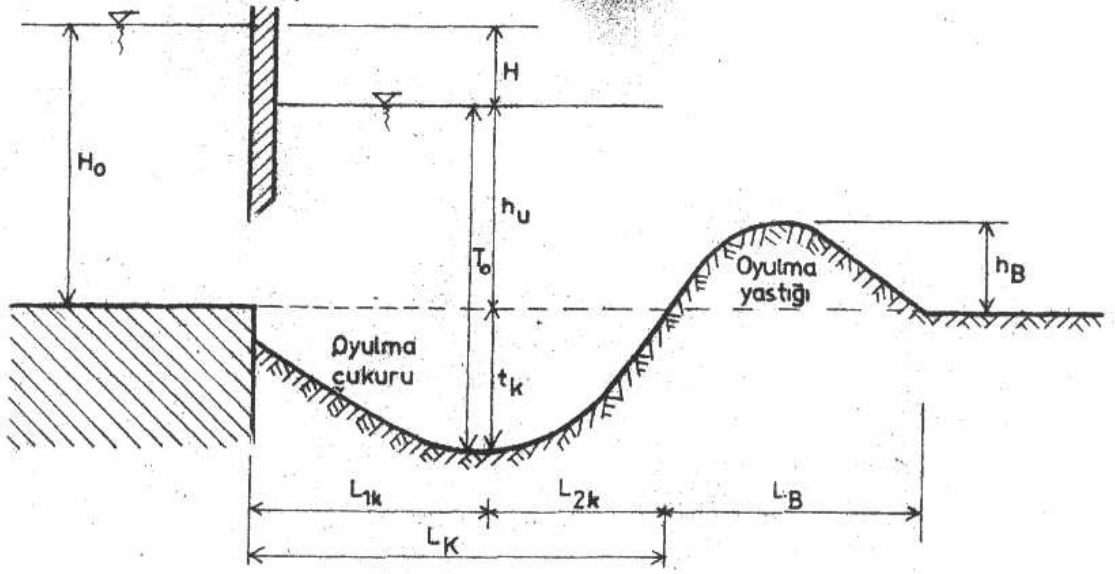
eşitliğini elde etmiştir (Şekil 2.1).Burada;

T_o = Oyulma derinliği (m)

q = Birim debi ($m^3/sn/m$)

H = Memba ile mansap su seviyeleri farkı (m)

d_m = Mansap tabanındaki ortalama dane çapı (mm)



Şekil 2.1 Oyulmanın Genel Şeması

b) Veronese Göre Oyulma Denklemi:

Schoklitsch'in [5] ileri sürdüğü eşitliğe benzer olarak oyulma derinliği

$$T_o = 3,68 \frac{H^{0,225} \cdot q^{0,54}}{d_m^{0,42}} \quad (2.2)$$

eşitliği ile tayin edilir.

Eşitlikteki büyüklüklerin birimleri Schoklitsch [5] eşitliği ile aynıdır.

c) Jaeger'e Göre Oyulma Denklemi:

Jaeger başlangıçta oyulmayı,

$$T_o = K_o \cdot H^{0,25} \cdot q^{0,50} \left(\frac{h_u}{d_m} \right) \quad (2.3)$$

eşitliği ile vermiştir. Daha sonraki araştırmalar neticesinde oyulma denklemi aşağıdaki şekilde düzeltilmiştir [5].

$$t_k = K_o \frac{H^{0,25} \cdot q^{0,72}}{d_m^{0,33}} \left(\frac{h_o}{q^{2/3}} \right)^{0,33} \quad (2.4)$$

t_k = Akarsu tabanından itibaren oyulma derinliği,

K_o = 6 olarak verilen bir katsayı.

d) Eggenberger'in Oyulma Denklemi:

Eggenberger sabit bağlamalar için oyulma denklemini,

$$t_k + h_u = 22,88 \frac{H^{0,5} \cdot q^{0,6}}{d_{90}^{0,4}} \quad (2.5)$$

eşitliği ile verir [5]. Burada;

d_{90} = Taban malzemesinin ağırlık yüzdesi %90'ının elekten geçtiği dane çapı.

Hareketli bağlamalarda kapak altından ve aynı zamanda kapak üstünden akım mevcut olduğu durumlarda 22,88 sabit katsayısı yerine aşağıdaki K_o katsayısı kullanılır.

$$K_o = 22,88 \frac{-1}{e^{0,11} \cdot X^3 - 0,15X^2 + 0,7X + 0,9} \quad (2.6)$$

Burada

$$X = q_o/q_u$$

q_o = Kapak üstünden geçen akım miktarı,

q_u = Kapak altından geçen akım miktarı

Yukarıda eşitlik $q_o/q_u \geq 1,38$ değerine kadar geçerlidir. q_o/q_u değerinin 1,38 den daha küçük olduğu durumlarda Eggenberger eşitliği kullanılamaz. Sadece kapak altında akım mevcut olan hareketli bağlamalar için $K_o = 10,55$ olarak verilmektedir.

e) Müller'in Oyulma Denklemi:

Hareketli bağlamalar için Müller model deneyleri neticesinde aşağıdaki eşitliğini elde etmiştir [5].

$$t_k + h_u = K_o \frac{H^{0,5} \cdot q^{0,6}}{d_{90}^{0,4}} \quad (2.7)$$

Bu denklemde ,

$K_o = 8,8$ düşüm yatağı olan, $K_o = 13,10$ düşüm yatağı olmayan bağlamalar için geçerlidir.

f) Hartung'a Göre Oyulma Denklemi:

$$t_k + h_u = 12,4 \frac{H^{0,36} \cdot q^{0,64}}{d_m^{0,32}} \quad (2.8)$$

ifadesi ile verilir. h_u değeri $h_{ukr}=1,8.q^{2/3}$ değerinden daha büyükse yukarıdaki eşitlikte h_u yerine $h'_u=0,2h_u + 0,8 h_{ukr}$ değerinin kullanılması gerekir.

g) Maniak Oyulma Denklemi:

Eşik şekillerine, boyutlarına, enerji kırıcıların aralık ve boyutlarına göre yaptığı araştırma neticesinde Maniak ,

$$\frac{h_u + t_k}{q^{2/3}} = \frac{1}{g^{1/3}} \left(\frac{h_u + t_k / h_{kr}}{h_{kr}} \right) \quad (2.9)$$

eşitliğini vermektedir [5]. Bu denklem dişli eşik yüksekliği $S' = 0,4h_{kr}$ ve dişli eşik aralığı $1,75h_{kr}$ olduğu için geçerlidir.

e) Abdul Quayom'un Oyulma Denklemi:

Kapakların mansabında meydana gelen oyulmalara etki eden faktörleri ayrı, ayrı analiz ederek $h_u \leq h_{ukr}$ durumu için

$$\frac{h_u + t_k}{\left(\frac{h_u}{q^{2/3}} \right)^{0,4}} \text{ ve } \frac{H^{0,225} . q^{0,66}}{d_m^{0,215}} \quad (2.10)$$

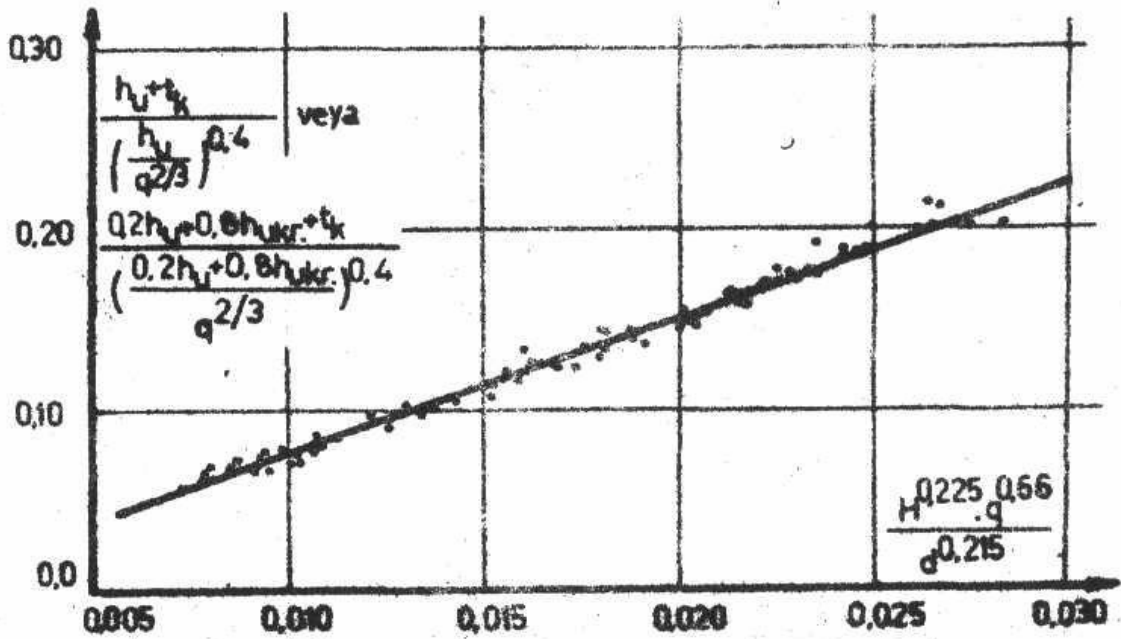
eşitliğini verir [5].

Quayom K_o sabitini tayin etmek için yaptığı deneyler neticesinde K_o değerinin,

$$\frac{h_u + t_k}{\left(\frac{h_u}{q^{2/3}} \right)^{0,4}} \text{ ve } \frac{H^{0,225} . q^{0,66}}{d_m^{0,215}} \quad (2.11)$$

ifadelerinin bağlı olduğunu göstermiştir (Şekil 2.2). Grafikten K_o değeri doğrunun eğimi olarak ifade edilirse $K_o=7,5$ bulunur.

Şayet $h_u > h_{ukr}=2,6.q^{2/3}$ ise $h'_u = 0,2h_u + 0,8h_{ukr}$ değeri eşitlikteki h_u yerine kullanılır.



Şekil 2.2 K₀ Sabitinin Belirlenmesi

2.2 Oyulma Uzunlukları

Oyulma uzunluğu olarak bağlama eşiğinden itibaren akarsu tabanında meydana gelen zemin yıkanma uzunluğu tarif edilir (Şekil 2.3). Oyulma uzunluğunun maksimum oyulma derinliği ile değiştiğini birçok araştırmacı ileri sürmektedir.

Quayom oyulma uzunlukları t_k ve $q^{2/3}$ değerlerine bağlı olarak ifade etmektedir (Şekil 2.3).

Quayom'un [5] araştırmalarına göre;

$$1. \frac{t_k}{q^{2/3}} \geq 1,78 \text{ için } L_K = 2,6.t_k \quad (2.12)$$

$$2. \frac{t_k}{q^{2/3}} \leq 1,36 \text{ için } \frac{L_K}{t_k} = 2,856 + 1,497(1,36 - \frac{t_k}{q^{2/3}}) \quad (2.13)$$

$$3. 1,36 \leq \frac{t_k}{q^{2/3}} \leq 1,78 \text{ için } \frac{L_K}{t_k} = 2,6 + 0,61(1,78 - \frac{t_k}{q^{2/3}}) \quad (2.14)$$

eşitlikleri verilebilir.

Maniak araştırmaları neticesinde düşüm yatakları mansabındaki oyulma uzunluğunun düşüm yatağı tipine bağlı olduğunu ifade ederek

$$L_k = K_0.t_k$$

K₀ düşüm yatağı şekline bağlı bir katsayı olmak üzere

$K_0=10.7$, Blok engeller arasındaki mesafenin, blok genişliğinin iki katı olarak seçildiği düşüm yataklarında,

$K_0=9.2$, Blok engeller arasındaki mesafenin bir blok genişliğine eşit olan düşüm yataklarında,

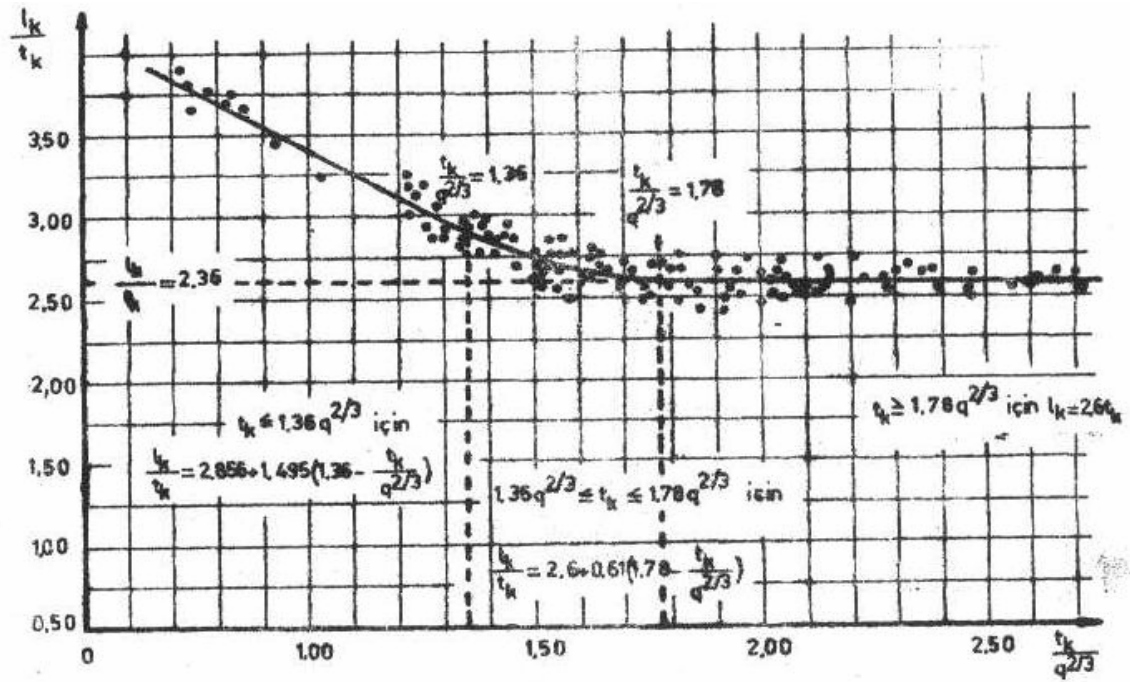
$K_0=5.7$, Blok engelli enerji kırıcıları olmayan düşüm yataklarında esas alınır.

Eggenberger oyulma uzunluklarının iki kısımdan meydana geldiğini esas alarak $L_k=L_{1k} + L_{2k}$ olmak üzere Şekil (2.1)

$$\frac{L_{1k}}{t_k + h_u} = 0,5 \pm 0,1 \quad (2.15)$$

$$\frac{L_{2k}}{t_k + h_u} = 1,8 \pm 0,2 \quad (2.16)$$

eşitliklerini verir.



Şekil 2.3 Oyulma Uzunluğunun Oyulma Derinliği ile Değişimi

2.3 Maksimum Oyulma Derinliğinin Yeri

Bağlama eşitliğine L_{1k} uzaklıkta olan maksimum oyulma derinliğinin yeri Quayom'a göre Şekil 2.4'de görülen grafikte ifade edilir. Bu grafiğe göre,

$$\frac{t_k}{q^{2/3}} \geq 2,40 \text{ için } L_{1k} = 1,05t_k \quad (2.17)$$

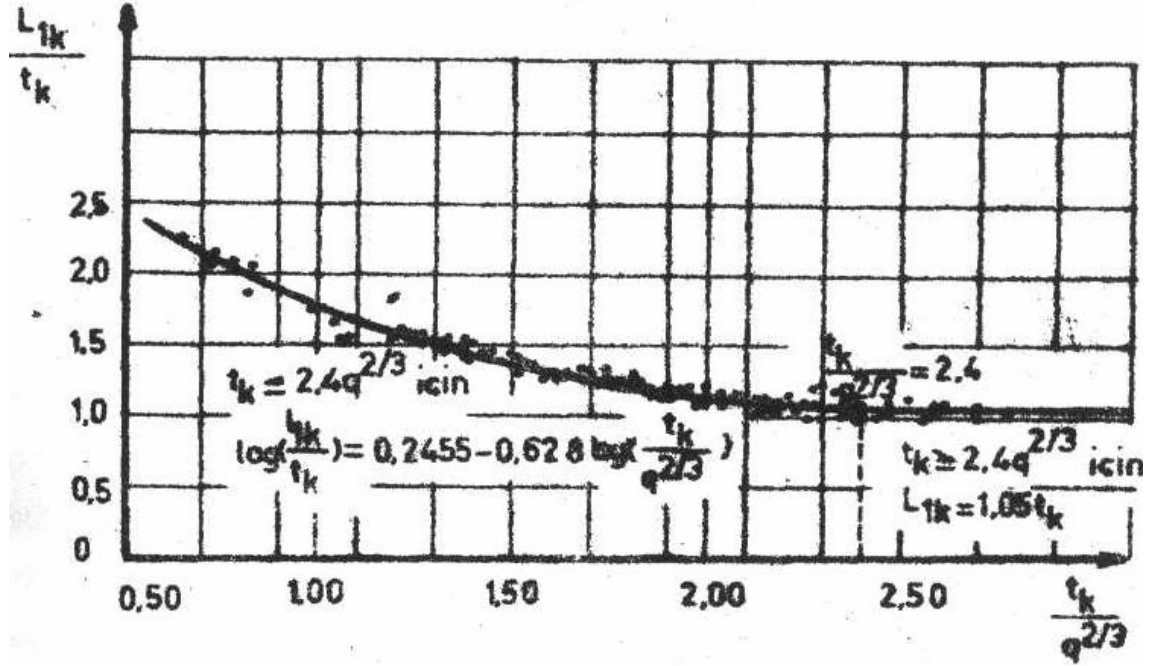
$$t_k \leq 2,40 \cdot q^{2/3} \text{ için } \log \frac{L_{1k}}{t_k} = 0,2455 - 0,628 \cdot \log \frac{t_k}{q^{2/3}} \quad (2.18)$$

eşitlikleri yazılır.

Hartung'a göre maksimum oyulmanın yeri oyulma uzunluğunun yarısındadır. Eggenberger [6] L_{1k} uzunluğunu,

$$L_{1k} = (0,5 \pm 0,1)(t_k + h_u) \quad (2.19)$$

denklemini verir.



Şekil 2.4 Oyulmada En Derin Noktanın Yeri

Oyulma yastık yüksekliği Quayom'a [5] göre Şekil 2.5'de grafik olarak verilmektedir. Verilen grafiğe göre,

$$t_k \geq 1,2q^{2/3} \text{ için } h_B = 0,6h_u \quad (2.20)$$

$$t_k \leq 1,2q^{2/3} \text{ için } h_B = \frac{h_u \cdot t_k}{2 \cdot q^{2/3}} \quad (2.21)$$

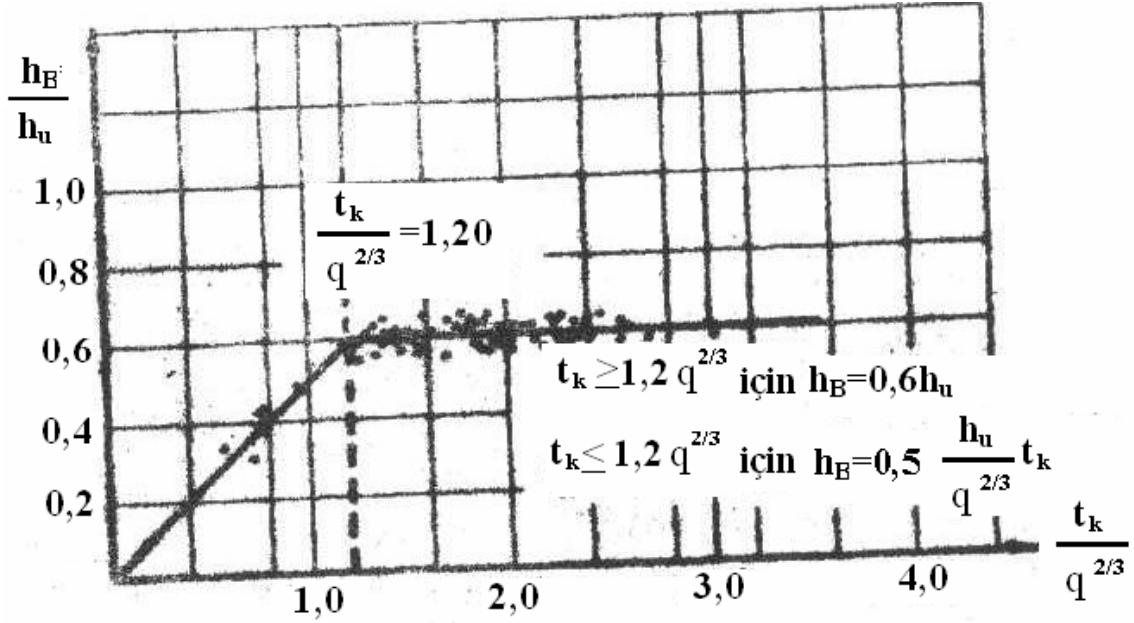
eşitlikleri geçerlidir.

Hartung ise $h_B = 1, t_k$ eşitliğini vermektedir.

Oyulma yastık uzunluğu

$$\frac{h_B}{L_B} = 0,20 \text{ için } \log L_B = 1,17 \log L_k + 0,20 \quad (2.22)$$

olarak verilir.



Şekil 2.5 Oyulma Yastık Yüksekliğinin Belirlenmesi

2.4 Oyulma Oluşumunun Mekanizması

İşletmeye açılan ve üzerinden taşkın geçen birkaç barajdan elde edilen gözlemler, hemen ilk taşkından sonra birkaç saat içinde önemli ölçüde oyulmalar ile bu çukurlardan koparılmış ve metre ile ifade edilebilen mertebede blokların bulunduğunu göstermiştir. Buna dayanarak, tabanın tahrip olmasının hiçbir surette yüzeysel erozyon nedeniyle oluşmayacağı, buna karşılık başka kuvvetlerin rol oynaması gerektiği sonucuna varmak mümkündür. Kariba Barajında da rastlanan ve iki defa yedişer haftalık savaklanmadan sonra ortaya çıkan 26 m. derinliğindeki oyulma derinliğinin yüzeysel erozyondan oluşamayacağı anlaşılır.

Bu kadar kısa zamanda oluşan bir oyulma çukuru için mantıksal ve kabul olunabilir bir açıklama, düşen su jetinin çatlaklı kaya taban üzerindeki dinamik basınca dayanılarak yapılabilir. Bir sıvı yastığı içine dalan bir sıvı jetinin dinamik basınç etkisi büyük sıvı derinliklerine kadar nüfuz etmekte, karşısında yer alan katı bir yüzey üzerinde dinamik basınç oluşmaktadır.

Şekil 2.6'da basınç etkisinin rolünü açıklayabilmek amacıyla şematik olarak iki ayrı durum gösterilmiştir. Dinamik basınç, şekilde görülen yarıklı ve boşluklu tabakalara bir hidrolik pres gibi etkiyerek doğan büyük kuvvetler altında parçalanmalara yol açar. Taban kayası bir defa kırılır, bünyesindeki yapısal özelliklerini ve kohezyonunu kaybeder ise, bundan sonra düşen jetin oyma enerjisine karşı direncini de o ölçüde kaybeder. Erozyon, dinamik basınç etkisine eklenerek tabana etkiyen yükü daha da artırır.

2.5 Taban Oyulmasının Önceden Saptanması

2.5.1. Jet Enerjisinin Sönümüne Bağlı Olarak Oyulma Derinliği

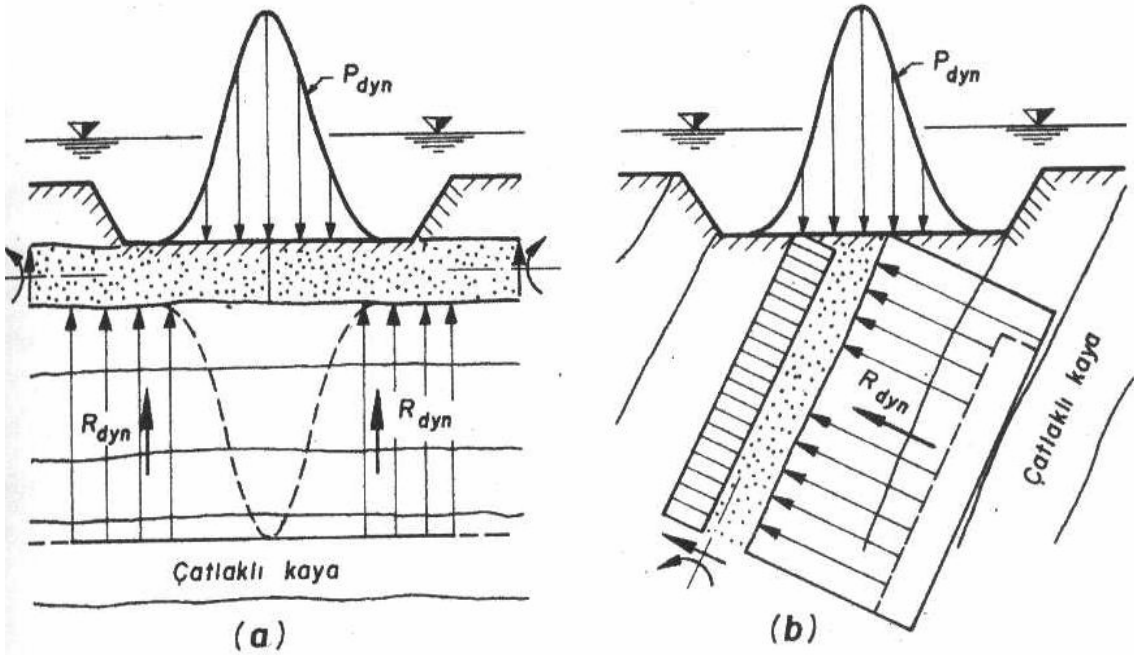
Mümkün olan en derin oyulmanın sınırı jetin enerjisinin oyma yapamayacak bir düzeye inişi ile belirlenebilir. Bu düşünceden hareket edilerek ve enerji bağıntısı göz önünde tutularak enerjinin tamamen sönümlendiği derinlik içine

$$\frac{E}{E_o} \Rightarrow y = \infty \quad (2.23)$$

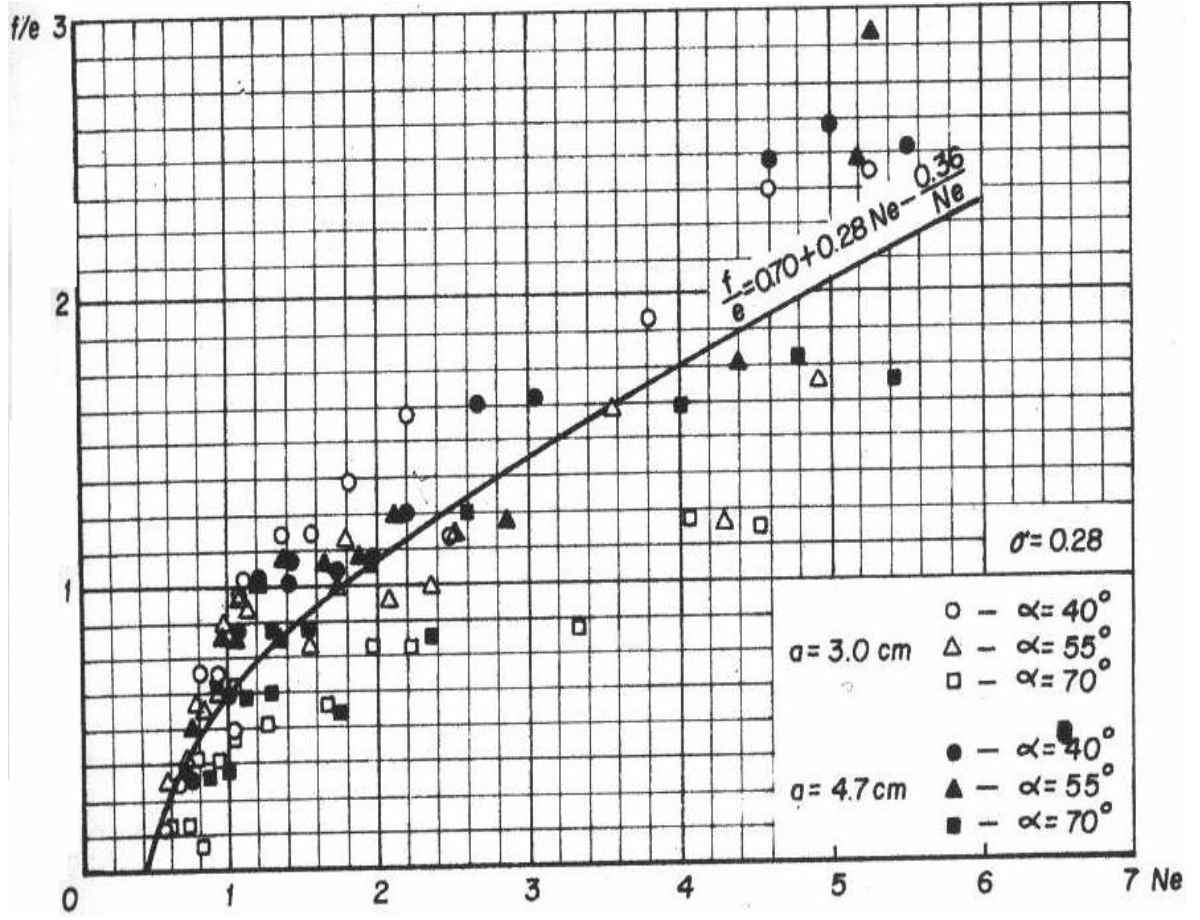
bulunur. Teori, difüzyon olayının olduğu bütün derinliği kapsamadığından enerjinin sönümü için $y = \infty$ derinliğini vermektedir. Bu durumdan difüzyon olayının sona ermesi için sonsuz bir derinliğe gerek olduğu anlamı çıkmamalıdır. Pratik olarak difüzyon belirli bir derinlikte sona erer.

Hartung ve Husler [7] yapmış oldukları deneylere dayanarak, dairesel enkesitli jetlerin difüzyon olayını kapsayan teorinin $y \approx 20D_o$ derinliğine kadar geçerli olduğunu saptamışlardır. Bundan sonraki derinliklerde, hala mevcut olan hız ve basınçlar önemsiz ve derinlik artışı ile ilişkisi kurulamayacak mertebededir. Böylece jetin ulaşabildiği en uzun mesafe yaklaşık olarak olayın teorik yöntemlerle ele alınamayacağı mesafe olarak kabul edilebilir.

Cola'nın [8] yapmış olduğu laboratuvar çalışmalarına göre dikdörtgen enkesitli jet halinde difüzyon olayının teorik olarak incelenebileceği bölge için $y \approx 40B_o$ olarak kabul olunabilir.



Şekil 2.6 Dinamik Jet Basıncı Sonucunda Yer Alan Kuvvet Etkisi



Şekil 2.7 Maksimum Oyulma Derinliği

Yukarıdaki bağıntılara dayanılarak, mühendisler için olayın en kısa yoldan belirlenmesini sağlayabilecek formüller verilebilir.

Çizelge 1: Jetin Parametreleriyle İlgili Formüller

	Dikdörtgen Jet (Şerit)	Yuvarlak Jet
Jetin çekirdek uzunluğu	$y_k \cong 5B_o$	$y_k \cong 5D_o$
Çekirdekten sonuna kadar kırılan enerji	$\Delta E \cong 0,2B_o$	$\Delta E \cong 0,3E_o$
Jetin ulaştığı mesafe	$y_E \cong 40B_o$	$y_E \cong 20D_o$
Jetin ulaştığı mesafe sonundaki kırılma enerjisi	$\Delta E \cong 0,7E_o$	$\Delta E \cong 0,85E_o$

Çizelgede 1’de B_o ile dikdörtgen enkesitli, D_o ile dairesel enkesitli jetlerin mansap suyu seviyesindeki kalınlık ve çapları, E_o ile de jetin dalışındaki enerjisi gösterilmiştir. Hartung ve

Husler'e [7] göre, eğer herhangi koruyucu bir tedbir alınmamış ise, oyulma derinliği zamanla jetin ulaştığı mesafeye kadar gelişecektir.

2.5.2 Serbest Düsen Bir Jetin Küpsel Bloklardan Oluşan Tabandaki Oyma Derinliği

Martins [9], serbest düşülü jetlerin etkisi ile oyulan kaya zeminlerin oyulma derinliğini hesaplayabilmek amacıyla laboratuvar içi deneysel incelemeler yaparak bir bağıntı geliştirmiştir. Bulunan sonuç bazı sınırlamalarla kullanılabilir. Deneylerde söz konusu olunan jet basit, zaman içinde sabit konumlu ve hava karışimsız kompakt bir jettir. Deneyler dikdörtgen enkesitli bir kanal içinde yapılmış ve tabana bloklar elle yerleştirilmiştir. Elle yerleştirilen blokların kompaksiyonu kontrol olunamamıştır. Oyulmanın hemen arkasında oluşan önemli büyüklükteki yığılma uzaklaştırılmamıştır.

90 adet deney yapılmıştır. Bu esnada üç yarı jet düşme açısı, jeti kanaldan uzaklaştıran kapakların üç ayrı konumu, iki ayrı blok iriliği, beş ayrı su yastığı derinliği çeşitlemeleri yer almıştır.

Oyulma ile ilgili değişkenler:

$$\varphi_1(f, Q, H, \alpha, e, a, \rho_s, \rho, g) = 0 \quad (2.24)$$

olarak saptanmıştır. Yukarıda:

f = tabanın başlangıç konumundan itibaren ölçülen oyulma derinliği

Q = toplam debi

H = düşü yüksekliği

α = jetin düştüğü andaki yatayla yaptığı açı

e = mansap su seviyesinden ölçülen su yastığı derinliği

a = küp blokların kenar uzunluğu

ρ_s = blokların birim kütlesi

ρ = suyun birim kütlesi

g = yerçekim ivmesi

Deneylerde $\alpha = 40^\circ - 70^\circ$ arasında değişmiş ve bunun sonuca pratik etkisi görülmemiştir.

Böylece:

$$\varphi_2(f, H, e, a, \rho_s, \rho, g) = 0 \quad (2.25)$$

Deneysel sonuçlardan elde olunan oyulma derinliği denklemi:

$$\frac{f}{e} = 0,70 + 0,28N_e - \frac{0,36}{N_e} \quad (2.26)$$

olarak saptanmıştır. Burada N_e :

$$N_e = \left(\frac{\rho Q}{\rho_s \rho} \right)^{3/7} \left(\frac{H}{g} \right)^{3/14} \frac{1}{e a^{2/7}} \quad (2.27)$$

olarak verilmiştir. 2.5.3. bağıntısı ile deney sonuçları Şekil 2.7’de görülmektedir. Denklemdaki boyutsuz parametrelerin değişim aralığı:

$$N_e = 0,5-5,5$$

$$f/e = 0,1-3$$

$$\alpha = 40^\circ-70$$

dir. Oyulma derinliği bağıntısı yukarıda belirlenen sınırlar için geçerlidir.

2.5.3. Savak Sırtından Sıçrayan Bir Jetin Nehir Tabanındaki Oyuma Derinliği

Laboratuar incelemelerine dayanılarak yüksek düşümlü barajların mansabındaki hidrolik rejim ve kaya zeminlerdeki yersel oyulmalar incelenmiştir. Bu çalışmada su yapılarının boyutlandırılması amacıyla hız katsayısı dolusavak akımının havalanma derecesi, sıçrayan jetin düşme mesafesi ve çatlaklı kaya zeminler için oyulma çukurunun boyutlarını saptamak için bağıntılar verilmiştir [10].

Oyulma çukurunun yerinin ve boyutlarının saptanmasına ait çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Oyulma derinliği ve şekli, nehir tabanına etkileyen hidrolik parametrelere, nehir tabanının kendisinin oluşum karakteristiklerine ve oyulma olayının süresine bağlıdır. Akım parametreleri ;V hızına, jetin dalış açısına, jetin havalanarak parçalanmasına bağlıdır ve h su derinliğinden oluşur (Şekil 2.8). Söz konusu bu akım parametreleri, oyulma çukuru içindeki akımın basınç salınımlarının genlik ve frekanslarını belirler. Bu basınç kayaya etkir ve bu da oyulma şiddetini tayin eder. Dolusavak arkasındaki kaya, malzemenin γ_s birim ağırlığı, kaya mukavemeti, derzli malzemede bloklar arasındaki C linear boyutu, derz kalınlığı δ , kaya blokların yatayla yaptığı ψ yataklanma açısı, tabakalaşma doğrultusu, oyulan yatakta bir yığılmanın mevcudiyeti ile karakterize olunur.

İlk olarak laboratuarda, paralelkenar şeklindeki birbirinden derzlerle ayrılmış bloklar çeşitli şekilde yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Malzemenin özgül ağırlığı olarak tabiattaki özgül ağırlıkları ve boyutları için de tabiatta rastlanabilecek boyutlar seçilmiştir. Dolusavaklar arkasında yapılan deneyler iki boyutlu bir problem için aşağıdaki sonuçları vermiştir.

$$\frac{d}{h} = 3,7 \varepsilon \left(\varphi \frac{T_o}{D} \right)^{3/4} \frac{1}{F_{rc}^{6/5}} \left[\varphi^2 \frac{z}{h} - (1 - \varphi^2) \right]^{4/3} \quad (2.28)$$

oyulma çukurunun uzunluğu için:

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{\sqrt{F_{rc}}} \left\{ 3,0 + 3,6\lambda \left(\varphi^2 \frac{T_o}{D} \right)^{1/6} \left[\varphi^2 \frac{Z_o}{h} - (1 - \varphi^2) \right] \right\} \quad (2.29)$$

Yukarıda D ile derzli blokların hacmine eşdeğer olan kürenin çapı ifade olunmuştur.

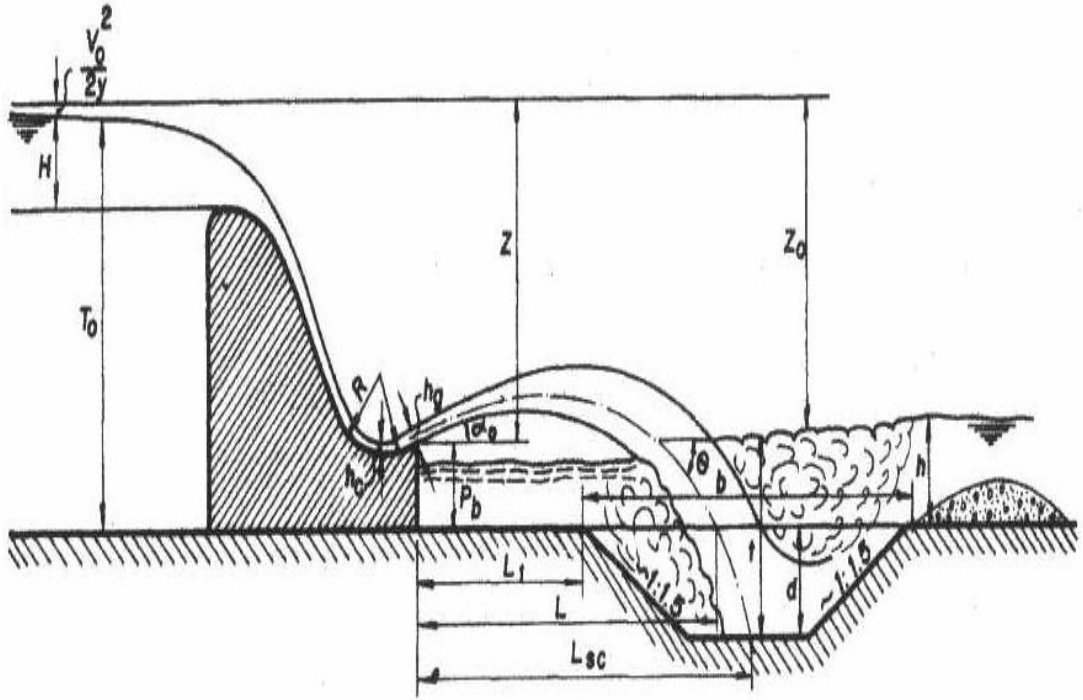
ε ve λ katsayıları değişik bireysel katsayıların çarpımından oluşmaktadır.

$$\varepsilon = \varepsilon_{\theta} \cdot \varepsilon_{\alpha} \cdot \varepsilon_{sh} \cdot \varepsilon_d$$

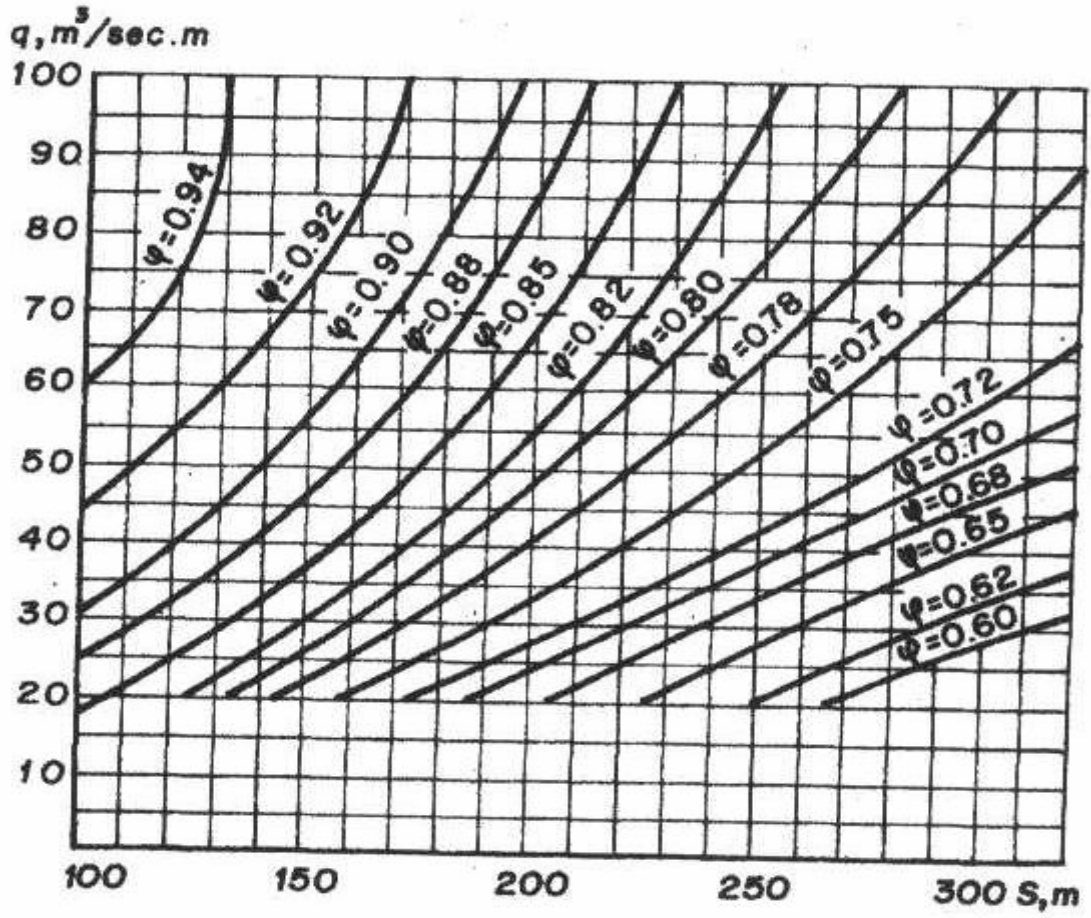
ve

$$\lambda = \lambda_{\theta} \cdot \lambda_{\alpha} \cdot \lambda_{sh} \cdot \lambda_d$$

Bu katsayıların yaklaşık değerleri şöyledir;



Şekil 2.8 Yüksek Düşülü Bir Barajın Dolusavağı Mansabındaki Oyulma ile İlgili Değerler



Şekil 2.9 ψ Hız Katsayısının, Özgül Debi ve S Dolusavak (beton) Boyuna Göre Değişimi

a) Jetin θ dalış açısı ile ilgili olan ε_θ ve λ_θ katsayıları:

$$\theta = 30^\circ - 70^\circ \begin{cases} \varepsilon_\theta = 1 \\ \lambda_\theta = 1,8 \cdot \cos \theta \end{cases}$$

b) Jetin dağılışı ve havalanması ile ilgili olan ε_a ve λ_a katsayıları:

$$\text{Havalanmasız} \begin{cases} \varepsilon_a = 0,8 \\ \lambda_a = 1,0 \end{cases}$$

$$\text{Havalanmalı} \begin{cases} \varepsilon_a = 0,8 \\ \lambda_a = 1,0 \end{cases}$$

c) Derzli blokların şekli ile ilgili ε_{sh} ve λ_{sh} katsayıları:

küp şekilli ve 1:1.5:2.0 oranlı bloklar, Blok No 1

1:5.0:5.0 oranlı bloklar; Blok No 2

1:2.75:6.5 oranlı bloklar, Blok No 3 olduğuna göre:

$$\text{Blok No.1} \begin{cases} \varepsilon_{sh} = 1,0 \\ \lambda_{sh} = 1,0 \end{cases}$$

$$\text{Blok No. 2} \quad \begin{cases} \varepsilon_{sh} = 0,8 \\ \lambda_{sh} = 1,1 \end{cases}$$

$$\text{Blok No.3} \quad \begin{cases} \varepsilon_{sh} = 0,8 \\ \lambda_{sh} = 1,1 \end{cases}$$

d) Tabakaların konumu ile ilgili katsayılar ε_d ve λ_d :

Akım eksenine göre yatay bloklarda

Blok diklemesine durduğuna göre

$$\text{Blok No. 1} \quad \{ \varepsilon_d = 0,8 \sim 1,35 \quad \lambda_d = 0,8 \sim 1,1$$

$$\text{Blok No. 2} \quad \{ \varepsilon_d = 0,9 \sim 1,30 \quad \lambda_d = 0,65 \sim 1,0$$

$$\text{Blok No. 3} \quad \{ \varepsilon_d = 0,7 \sim 1,00 \quad \lambda_d = 0,65 \sim 1,0$$

e) ϕ hız katsayısı şekil 2.9'da verilmiştir. Şekildeki eğriler, beton ve bir dolu savak sırtında yer alan sürtünme kayıplarına göre çizilmiştir. Bu esnada sıçratma ucunun merkezkaç kuvvetleri de gözönünde tutulmuştur.

2.6 Oyulma Derinliğinin Saptanması

2.6.1 Problemin İncelenmesinde Yapılan Basitleştirmeler

Daha önce açıklandığı gibi, kaya kütlelerinin yapısı sürekli ve üniform değildir. Kayada çatlak ve derz sistemleri vardır. Derz sistemleri karışık görünüme sahip olmakla birlikte, yakından incelenirse birçok halde bir düzen içindedir. Çatlaklardan bazıları henüz kütleyi birbirinden ayıracak kadar gelişmemiştir. Bir kısım çatlakların araları bağlayıcılar ile dolmuştur. Dolusavaktan düşen su jetinin yüksek kinetik enerjisi tabana çarptığında, kaya bloklarını birbirinden ayırma ve yerlerinden hareket ettirme gücüne sahiptir. O halde problemin incelenebilmesi için aşağıdaki basitleştirmeler yapılabilir.

a. Akarsu tabanını oluşturan kaya kütlesi düzenli bir blok sistemine sahiptir.

b. Bloklar arasındaki bağlantı jetin etkisi ile kolayca çözülebileceği için bloklar birbirine bağlı değilmiş gibi öngörülebilir.

2.6.2 Oyulma Derinliği Bağıntısı

Oyulma olayının oluşumunu doğrudan doğruya hidrodinamik kurallar yardımıyla analiz edebilmek mümkün olmadığından boyut analizi yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2.10'da su jeti mansap yastığı ve taban malzemesi ile ilişkili ve oyulma olayında rol oynayan başlıca büyüklükler şematik olarak gösterilmiştir.

Jet ile ilgili büyüklükler:

v_o = Jetin mansap suyuna dalış hızı LT^{-1}

B_o = Jet genişliği (Dikdörtgen jet) L

θ = Jetin dalış açısı

ρ = Suyun özgül kütlesi ML^{-3}

Mansap su yastığı ile ilgili büyüklükler:

H = Mansap su derinliği L

T = Oyulma derinliği L

Tabanı oluşturan kaya kütlesi ile ilgili büyüklükler:

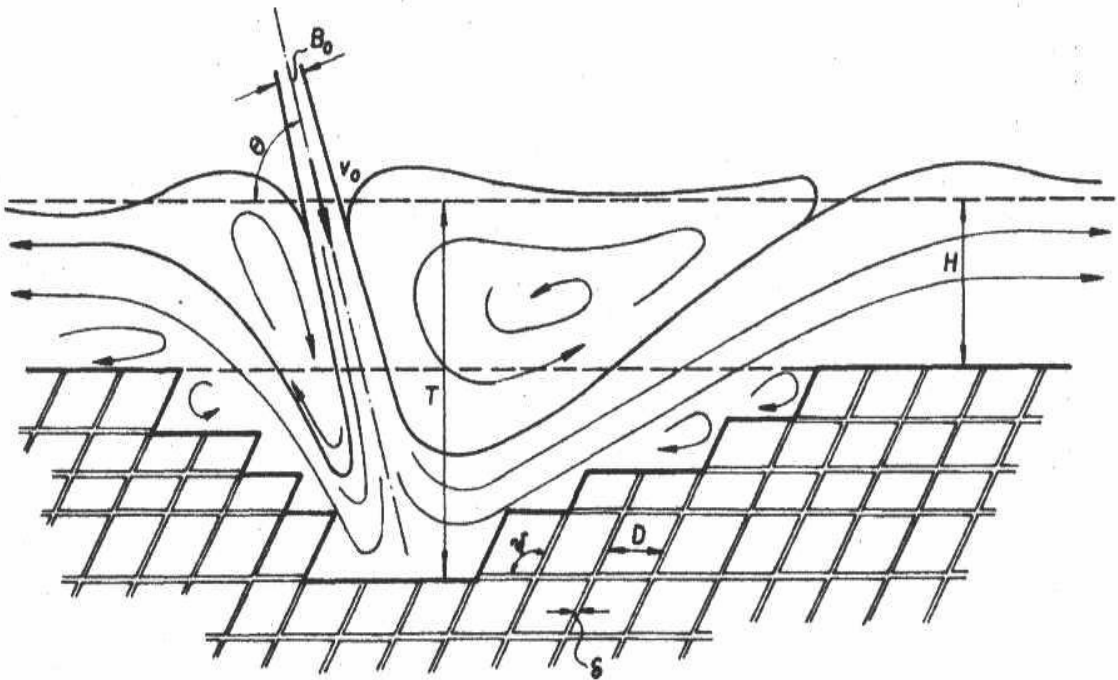
D = Kaya blokların büyüklüğünü temsil eden bir boyut (Burada küpe dönüştürülmüş blokun kenar ayrıtı D olarak kullanılacaktır) L

$\rho_s - \rho$ = Kayanın su içindeki relatif özgül kütlesi ML^{-3}

g = Yerçekimi ivmesi LT^{-2}

ψ = Blokların yerleşme açısı

δ = Blokların derz aralıkları L



Şekil 2.10 Oyulma İle İlgili Büyüklükler

Yukarıdaki değişkenler gözönünde tutularak T oyulma derinliğini veren genel bağıntı:

$$T = f_1[v_o, B_o, \theta, \rho, H, D, (\rho_s - \rho), g, \psi, \delta] \quad (2.30)$$

Buckingham'ın π Teoremi yardımı ile boyutsal analiz yapılarak, boyutsuz parametrelerden oluşan aşağıdaki genel bağlantı bulunur:

$$\frac{T}{B_o} = f_1 \left[\theta, \psi, \frac{H}{B_o}, \frac{\delta}{B_o}, \frac{D}{B_o}, \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \frac{B_o g}{v_o^2} \right] \quad (2.31)$$

Yukarıdaki bağıntıda yer alan son üç parametreyi birlikte düşünmek mümkündür. Bir bloku sürüklemek isteyen akım kuvveti

$$S \sim D^2 \rho \frac{v_o^2}{2} \text{ dir.} \quad (2.32)$$

Aynı bloku yerinde durdurmaya çabalayan direnç kuvveti ise blokun su altındaki ağırlığı ile orantılıdır:

$$W' \sim (\rho_s - \rho) g D^3 \quad (2.33)$$

S/W' oranı ise blokun hareket edebilme yeteneğini belirler. Bu orantı ne kadar büyük ise blok o kadar kolay hareket eder. Böylece:

$$\frac{S}{W'} \sim \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{v_o^2}{g B_o} \frac{B_o}{D} \quad (2.34)$$

elde olunur. Yukarıda görüldüğü gibi S/W' hareketlilik oranı (2.31) genel bağıntısındaki son üç parametrenin terslerinin çarpımıdır. O halde üç boyutsuz parametreyi bunların çarpımından oluşan tek bir boyutsuz parametre olarak ifade edebiliriz. Böylece (2.31) genel bağıntısı:

$$\frac{T}{B_o} = f \left[\theta, \psi, \frac{H}{B_o}, \frac{\delta}{B_o}, \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho}, \frac{v_o^2}{g B_o} \frac{B_o}{D} \right) \right] \quad (2.35)$$

şeklini alır. Bu bağıntı boyutsal analiz sonucunda oyulma derinliği için saptanmış bulunan genel bağıntıdır.

2.7 Oyulmaya Karşı ve Oyulmadan Sonra Alınabilecek Tedbirler

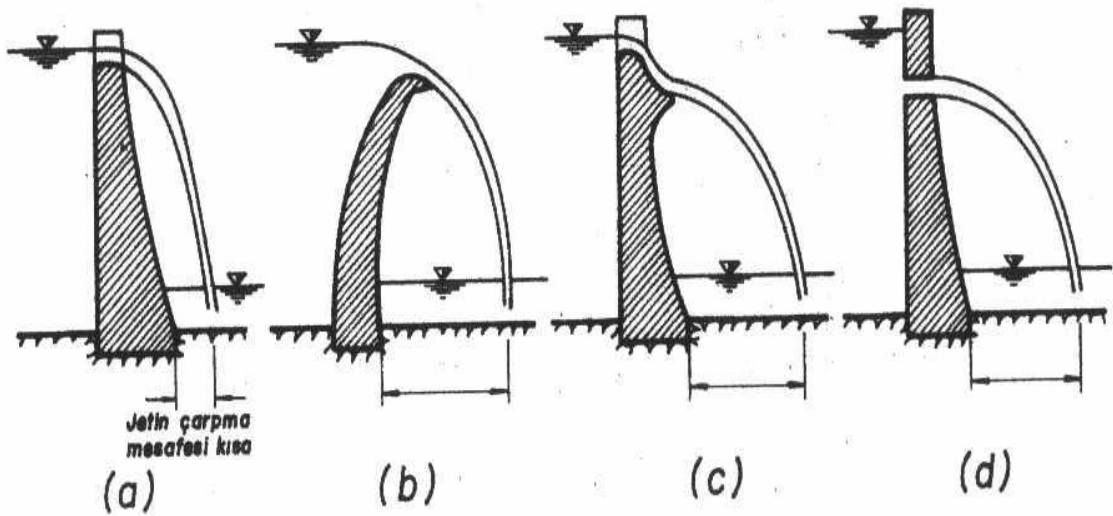
Barajın inşa olunduğu vadinin dar olması halindeki kemer barajlarda, baraj gövdesinin statik nedenlerle sahip olduğu form nedeniyle, taşkın sularını serbest düşülü bir jet halinde mansap tarafına geçirmesi zorunludur. Bu halde hava içinde serbest olarak düşen jet baraj eteğine yakın bir mesafede tabana ulaşır. Oluşan oyulmanın baraj stabilitesini tehlikeye sokmaması için jetin tabana çarptığı yerin mümkün olduğu kadar uzakta bulunması arzu olunur. Şekil 2.11'de bir kemer baraj üzerinden suyun mansaba düşürülmesi için değişik durumlar gösterilmiştir. Şekil 2.11 b'de görülen çözüm yardımı ile jetin tabana çarpma mesafesi artırılabilenekte ise de, bu tür gövde formu statik sakıncalara sahiptir. Şekil 2.11 c'de dolusavağın hemen arkasına bir sıçratma ucu yerleştirilmiştir. Dolusavak üzerinden düşen suyun

kazandığı hız yatay hız haline dönüştürülerek jetin tabana çarpma mesafesi artırılabilir. Şekil 2.11 d’de ise boşaltım savağı bir dip savak haline dönüştürülmüştür. Böylece basınç altında oluşan jet daha uzak bir mesafeye düşürülebilir. Sonuncu halde savak kapaklarının güvenli bir açma-kapama mekanizması ile donatılması zorunludur. Bilindiği gibi dolusavakların kapak donatımı ve bunların işletilmesi dipsavaklara oranla daha güvenli ve basittir [1].

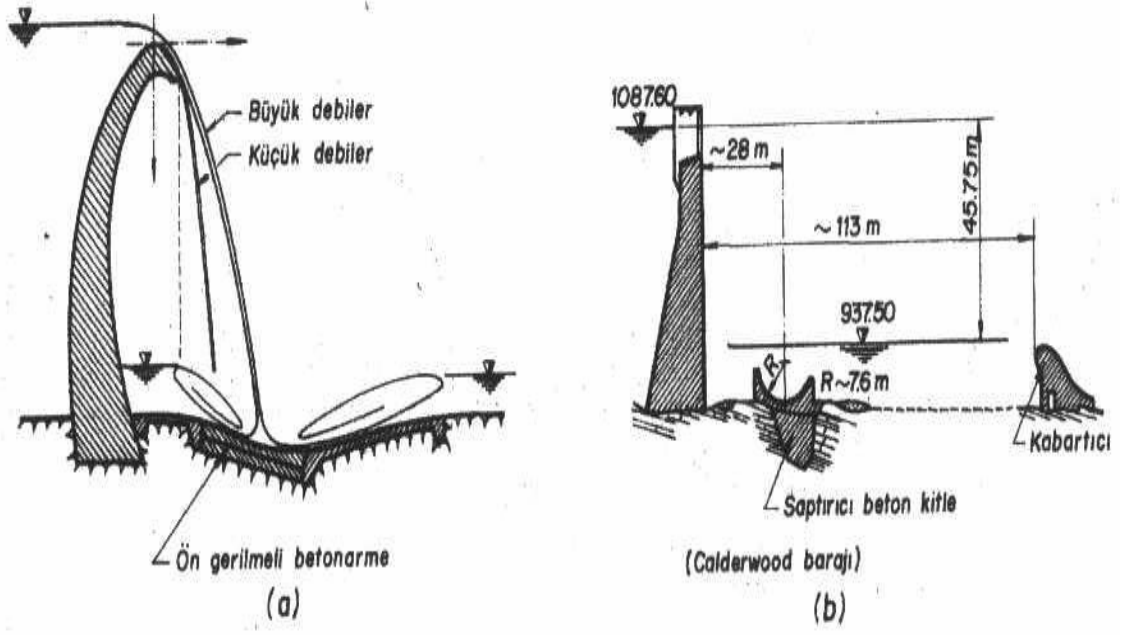
Yukarıda belirtilen tedbir alındıktan sonra büyük düşülü barajlarda boşaltım savağının çalışması oranında sağlam taban kayasının bulunması halinde bile oyulmalar olacaktır. Savaklarından sık sık boşaltım yapan barajlarda jetin tabana çarptığı bölgede tabanı korumak veya jeti saptırmak için tedbirler alınabilir. Buna ait örnek Şekil 2.12’de görülmektedir. Şekil 2.12 b’de ayrıca su yastığını yükseltmek amacıyla küçük bir topuk barajıda düzenlenmiştir.

Ağırlık barajlarında problemin çözümü biraz daha elverişlidir. Statik nedenlerle yapı daha enli bir enkesite sahiptir. Bu halde savaklanan suyu baraj sırtındaki bir düşü kanalıyla mansaba kadar iletmek ve uygun olarak yerleştirilecek bir sıçratma ucu ile yapıdan oldukça uzak bir yere düşürmek mümkündür. Suyun hızı, dolusavak sırtındaki düşü kanalındaki sürtünmeler ve hava karışımı nedeniyle azalır ve üç boyutlu bir sıçratmadan sonra da su havada parçalanıp hava ile karışarak daha az bir oyma enerjisi ile tabana düşer. Tabanda oyulma oluşuyor ve barajın veya çevresindeki yardımcı yapıların stabilitesini tehlikeye düşürüyorsa, örneğin Şekil 2.13’de görülen bir saptırıcı önerilimli beton yüzey düzenlenebilir [1].

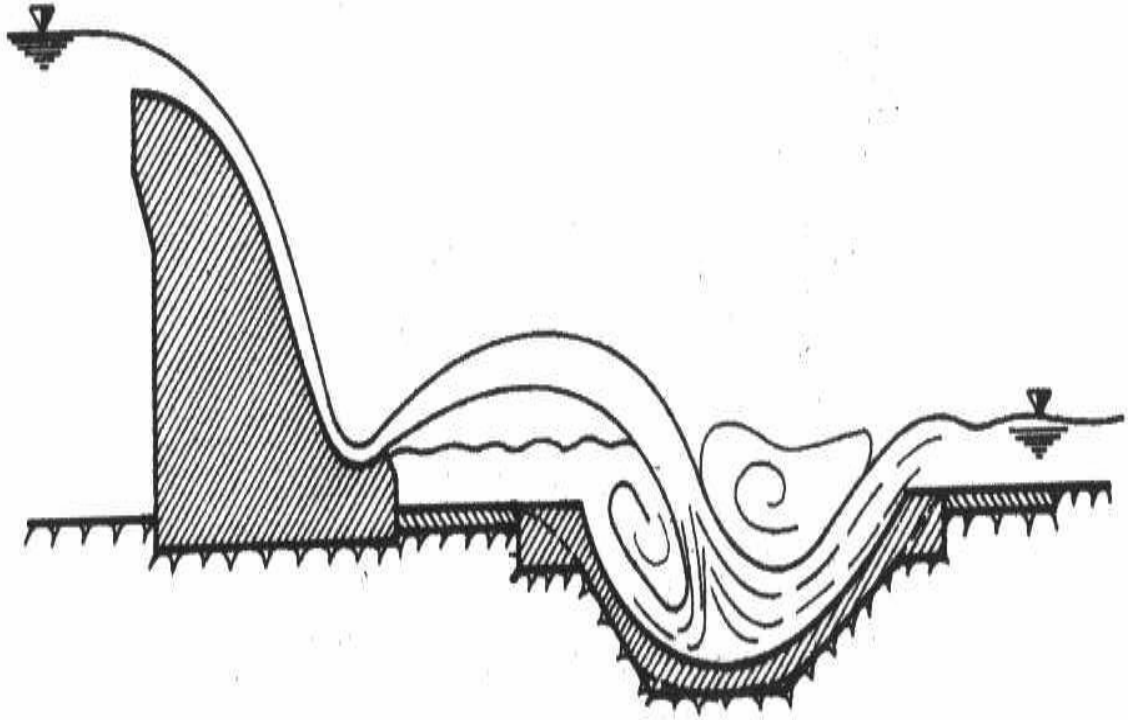
İkinci tür problemlerde, yani taşkın sularının bir düşü kanalı ile akarsuyunun mansap tarafına iletebildiği hallerde diğer etken bir çözüm yolu da enerji kırma havuzlarıdır. Büyük debiler ve yapı boyutları yönünden anormal değerler ortaya çıkmıyor ise yüzeysel sıçrama ile enerji kırılması elverişli olabilir.



Şekil 2.11 Kemer Barajlarda Çeşitli Boşalım Biçimleri



Şekil 2.12 Oluşmuş Bir Oyulmanın Gelişmesini Önleyici Bir Tedbir



Şekil 2.13 Taban Oyulmasına Karşı Tedbirler

3. BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN HİDROLİĞİ

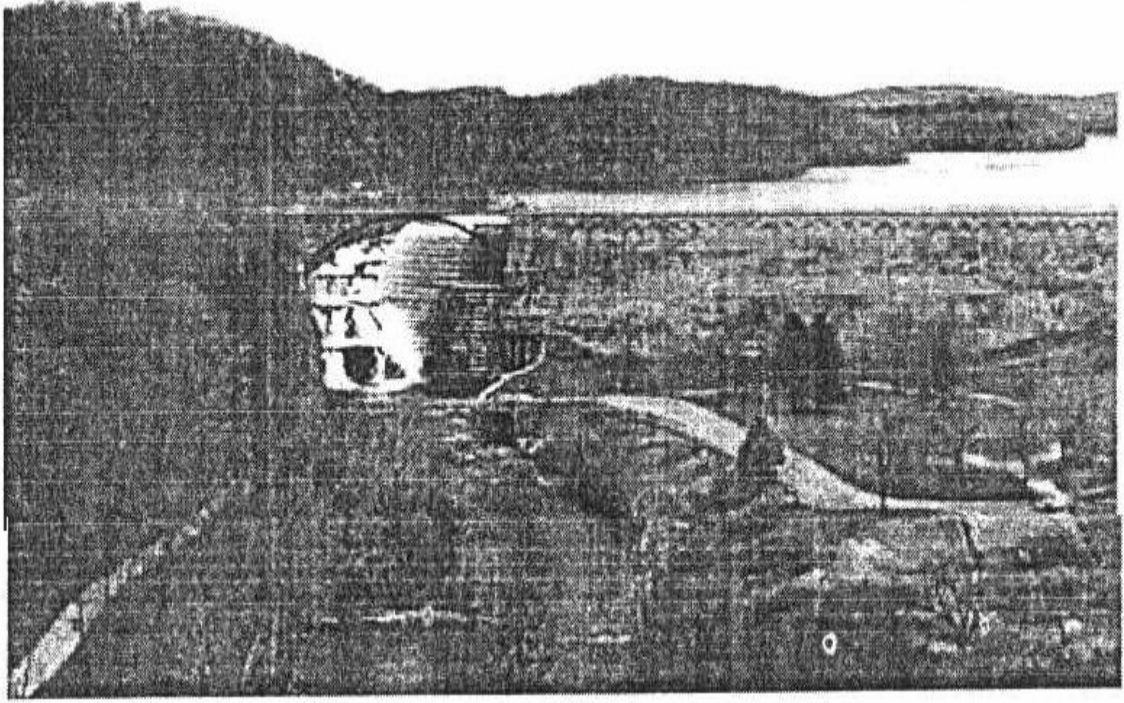
3.1 Genel Bilgiler

Basamaklı dolusavaklar önceleri gerçek mühendislik kurallarına uygun olmasa da yaklaşık 3500 yıldır kullanılmaktadır. İnsanoğlu bu yapıyı da doğadan esinlenerek yapmaya başlamıştır. Gold Creek ve New Croton (Şekil 3.1) barajlarının dolusavakları profesyonel manada ilk olarak inşa edildiği düşünülen basamaklı dolusavaklardır. 19. yüzyılda Avrupa, Kuzey Amerika ve Avustralya’da tasarım tekniği çok yaygın idi. 19. yüzyılın sonlarına doğru artık iyice anlaşıldı ki basamaklı dolusavaklar akım enerjisinin önemli bir kısmının kırılmasına yardımcı olmaktadır. Akım enerjisinin sönümlenmesi amacıyla inşa edilen dolusavaklar, akım enerjisinin dolusavak boyunca tedricen kırılmasını sağlamaktadırlar. Basamaklar, dolusavak boyunca çok büyük oranda enerji sönümler ve mansap tarafta ihtiyaç duyulan enerji kırıcı yapıların boyutlarını ve maliyetini önemli derecede azaltır. Klasik dolusavaklar ile kıyaslandığında da, basamaklı dolusavaklarda, toplam enerjinin ortalama %70-%80’inin sönümlenebileceği ve kalan enerjinin kırılması için mansapta küçük bir hidrolik yapıya ihtiyaç duyulacağı görülür [11].

20. yüzyılın ilk yarısındaki hidrolik sıçramaların enerji kırılım karakteristikleri hakkındaki yeni gelişmeler basamaklı dolusavaklar hakkında ilgi uyandırmıştır. Düşüm havuzlarının tasarımı da enerji kırılımını desteklemektedir. Basamaklı dolusavaklar çok büyük enerjiyi alıp sönümler ve inşa maliyetleri ucuzdur. 1970’ lerde yeni inşa materyallerinin gelişmesiyle birlikte basamaklı dolusavakların kullanımı yeniden gündeme gelmiştir. Bu yeni gelişmelere silindire sıkıştırılmış beton barajları (RCC) ve gabionlar örnek gösterilebilir. Yeni inşa tekniklerinin gelişmesiyle basamaklı dolusavakların hidrolik özelliklerinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur [12].

Basamaklı dolusavaklar ağırlık barajlarının mansap yüzü içine oldukça ekonomik ve pratik olarak teşkil edilebilir. Özellikle RCC barajlar için mükemmel bir dolusavak tipidir. RCC barajların dış tarafı klasik beton ile inşa edilmektedir. Mamba ve mansap yüzü bu şekilde inşa edildiği için mansap yüzüne basamaklı dolusavak yapmak oldukça ucuz olmaktadır. Günümüzde basamaklı dolusavak denilince akla ilk önce RCC barajlar gelmektedir. Diğer yaygın uygulama kullanımı ise dolgu barajlarda ve acil durum dolusavaklarındadır. Her iki durumda da dikkatli bir yapısal ve hidrolik tasarımın yapılması şarttır. Baraj yapısının hizmet ömrü boyunca güvenliğin sağlanması mühendislik hizmetlerinin birincil görevidir. Bu nedenle bunların tasarımında oldukça dikkatli olunması zorunludur. Bunların tasarımda deneysel olarak

hidrolik laboratuvarlarında ve bilgisayarlarda nümerik olarak basamaklı dolusavakların hidroliği araştırılmış ve projelendirilmesiyle ilgili kriterler sunulmuştur.



Şekil 3.1 New Croton Barajı

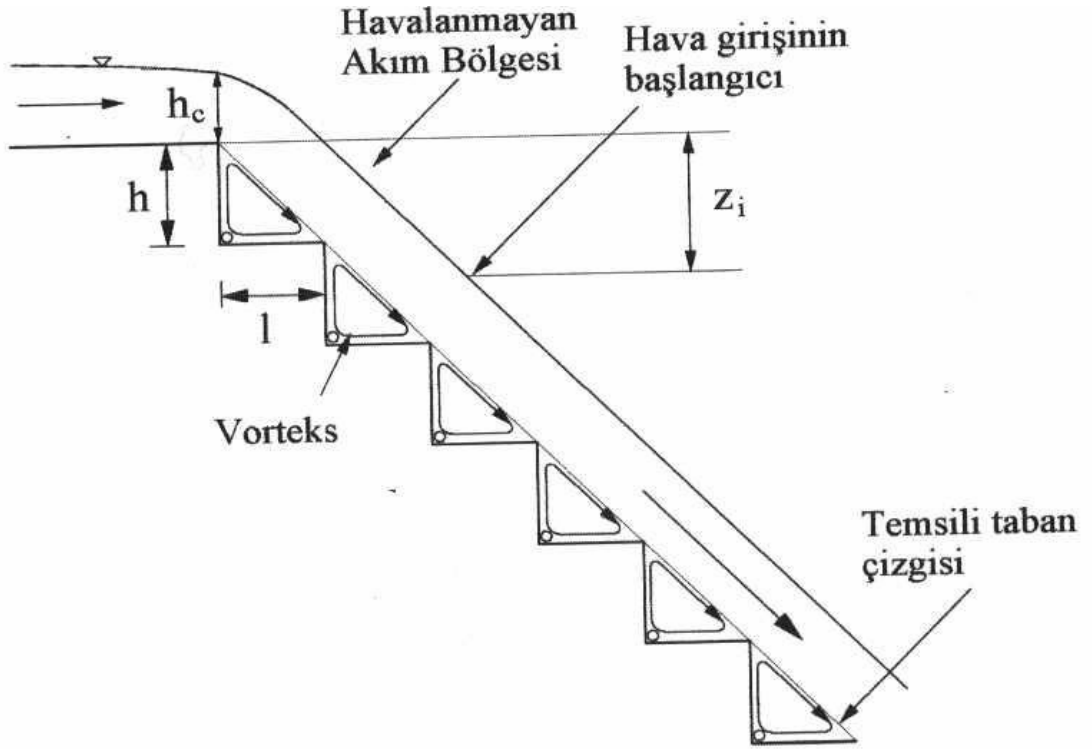
3.2 Basamaklı Dolusavakların Projelendirilmesi

Bir hidrolik yapının projelendirilmesi; ekonomi, çevre, jeoloji, hidrolik, hidroloji, politika, sosyoloji vb. birçok dış faktörün gözönüne alınmasını gerektiren çalışmaları ve uzun bir planlama sürecini içerir.

Bir dolusavağın projelendirilmesinde öncelikle yanıt aranacak sorular şunlardır:

- a) Yapının amacı nedir? (örneğin enerji sönmülmesi, suyun arıtılması, acil durum dolusavağı, taşkın öteleme vb.)
- b) Projelendirmedeki sınırlamalar nelerdir? (örneğin morfoloji (şekilsel yapı), hidroloji, malzeme durumu, topoğrafya, jeoloji vb.)
- c) Yapının maliyeti ne kadardır? (Hangi tip dolusavak daha ucuza mal edilebilir)

(a) Sıçramalı Akım

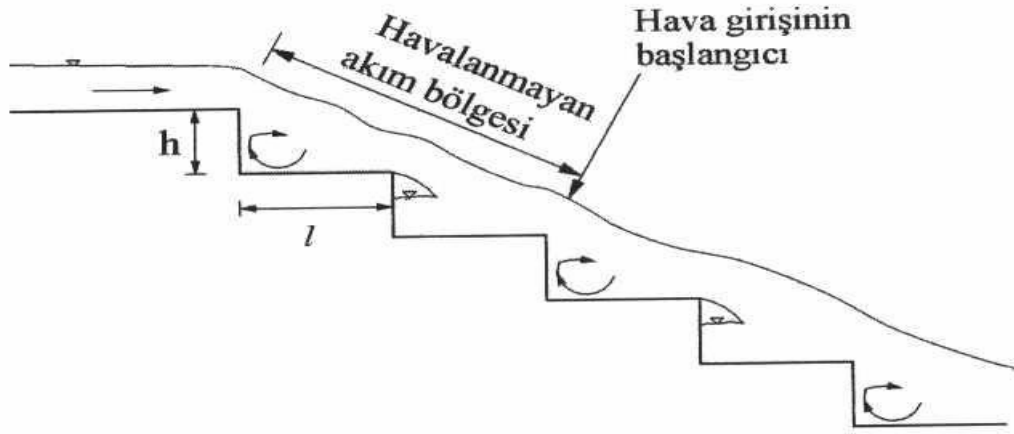


(b) Nap Akım

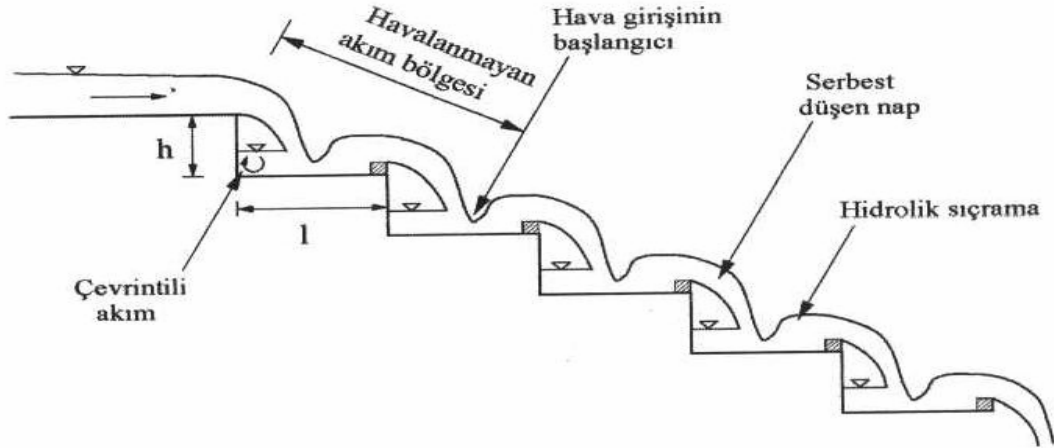


Şekil 3.2 Sıçramalı , Nap ve Geçiş Akımı

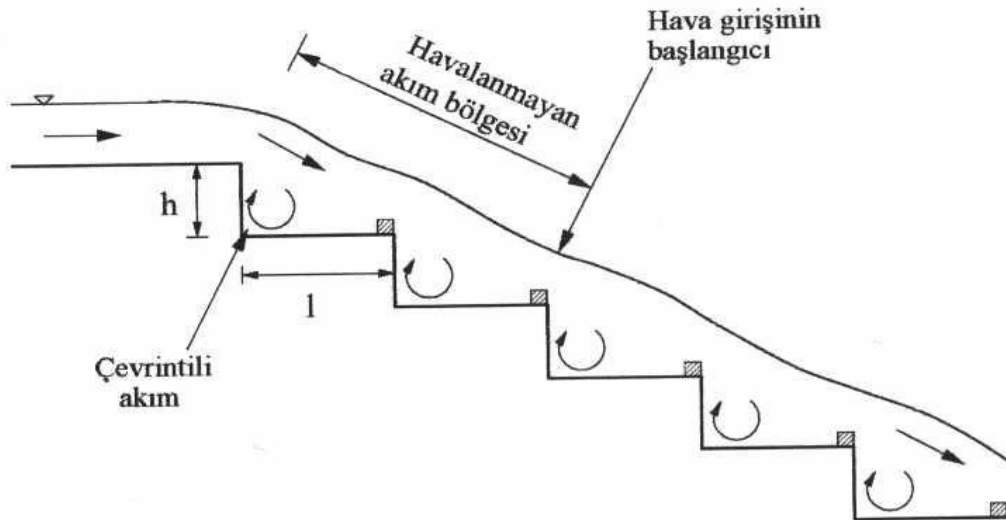
(c) Geçiş Akımı



(d) Nap Akım



(e) Sıçramalı Akım



Eğer basamaklı bir dolusavak yapılmasına karar verilmişse, proje debisi ile maksimum ve minimum debilerde nap veya sıçramalı akımdan hangisinin tercih edilebilir olduğuna karar verebilmek için bütün bu parametreler dikkate alınmalıdır.

Bunun yanı sıra nap akımı ve sıçramalı akım rejimleri arasındaki geçiş akımı koşullarına engel olunmasına önem gösterilmelidir. Nap ve sıçramalı akım arasındaki geçiş akım koşullarında oluşan salınımlar istenmeyen ve hatta tehlikeli akım koşulları olup yapıda titreşimler meydana getirirler. Bu açıdan basamaklı dolusavakları boyutlandırırken tüm parametreleri gözönüne alarak, projelendirmenin yapılması gerekmektedir.

Nap akımından sıçramalı akıma geçiş için; $26^\circ < \theta < 55^\circ$ için $\frac{h_c}{s} = 0.91 - 0.14 \tan \theta$ formülü en çok kullanılan parametredir [13]. h_c kritik derinliği, s basamak yüksekliğini göstermektedir.

3.2.1 Ön Plan Hazırlanması

Basamaklı dolusavakların planı birçok durumda geleneksel dolusavak yöntemleri ile aynıdır. En büyük debileri bulmak için taşkın analizi ve bu taşkın hacimlerinin değişimini ve yeniden meydana gelme olasılığını, dizayn debisinin seçimi, taşkın güvenlik kontrolü ve savak yapısının kapaklı olup olmayacağına göre karar vermek basamaklı dolusavaklar için başlangıç planı hazırlanması amacıyla yapılan işlemlerdendir.

3.2.2 Savak Genişliğinin Seçimi

Savak genişliğinin seçimi, barajın kret uzunluğu dikkate alınarak yapılır. Mansap nehir yatağı genişliği ve ayaklardan dolayı savak genişliğinin etkin azaltılma imkanı ve kenar duvar girişleri genişlik seçimi için etkili kriterlerden bazılarıdır. Bütün dolusavaklar için çok önemli bir değerde gözönüne alınan ve taşkın olayının sebep olduğu baraj gölü normal su seviyesinin üzerinde su seviyesinin yükselmesidir. Büyük debilerin bir sonucu olarak baraj su gölü seviyesi çok etkili bir şekilde artar. Krette oluşan bu büyük yük birim debi $q=25-30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ civarında alınarak tasarım işlemleri yapılmaktadır. Bu sınırlamanın en önemli nedeni kavitasyon zararlarından kaçınmaktır.

Üniform akım dikkate alındığında ve taban hava konsantrasyonu yeteri kadar büyük olarak sağlandığında $q_{\max} = 140 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ nin üzerinde olabilir. Fakat bu değer büyük basamak ve büyük yükseklik değerleri için sakıncalı olabilir. Yapılan araştırmalarda türbülansın yüksek bir derecesinde havalanma eğiliminin daha etkili olduğuna karar verilmiştir.

Dolusavak eğim açısı bazı durumlarda bir proje değişkeni olabilir. Dik olarak belirlenen bir eğimde yapı hacmi en aza indirilebilir fakat, daha düşük eğim açılarında daha etkili enerji sönümlenmesi sağlanabilir.

3.2.3 Savak Kretinin Tayini

Hidrolik tasarım kriterleri kret şeklinin kullanımına göre bütün dolusavakların projelendirilmesini kapsar. Basamaklı dolusavaklarda genellikle sabit yükseklikli basamaklar kullanılır. Amaç kret ile dolusavak arasında güvenli bir iletim elde etmektir.

Dolgu barajlarda kret oldukça geniştir. Bunun için geniş kret üzerinde sık sık ilave duvarlar inşa edilir. Bununla savaklama meydana getirilmiş olur. Akım zaten kenarlardan hava girişi sayesinde yeteri miktarda havalanmaktadır.

Eğer birim debi yeteri kadar büyük seçilecek olursa dolusavak üzerinden akım havalandırılmış olur. Eğer bu geleneksel bir savak şekli seçilerek başarılabılırsa (pürüzsüz beton yüzey gibi) ve bir havalandırıcı teğet noktasının yanında konumlandırılırsa havalandırma işlemi yapılmış olur.

Diğer mümkün bir çözüm ise kret üstünde düz kapak kullanımıdır. Böyle bir çözümün avantajı akımın havalandırılması ve baraj gölündeki su seviyesinin kontrol altında tutulabilmesidir.

3.2.4 Maksimum Çıkış Debinin Meydana Gelmesi

Kret tasarımı tespitinden önce anahtar eğrileri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılabilir. Kapaklı yapılarda işletme kuralları raporlarla tespit edilir. Anahtar eğrisi, giriş hidroğrafi ve rezervuar hacim eğrisi, maksimum debinin çıkış hidroğrafının hesabı için gereklidir. Sonuç olarak elde edilen veriler birim debi ile karşılaştırılır.

3.2.5 Optimum Basamak Yüksekliğinin Seçimi

Basamak yüksekliği, boşaltım kanalı üzerinde oluşması istenen akım rejimi ve sönümlenmesi beklenen enerji miktarına ulaşabilmek için debinin ve kanal eğim açısının bir fonksiyonu olarak seçilir. Seçilen basamak yüksekliği inşa prosedür raporları içerisine alınır. RCC barajlarda çok sık olarak inşa edilen basamakların yükseklikleri 30 cm ve 120 cm arasında değişmektedir. Zaten dünyada yapılan basamaklı dolusavaklarda elverişli yüksekliğin de 60-120 cm olduğu görülmüştür. Model çalışmalarının sonuçları da göstermiştir ki büyük basamaklar

hidrolik koşullar bakımından küçük basamaklara oranla daha avantajlıdır. Fakat büyük debilerde kavitasyon riski küçük basamaklara göre daha fazladır. Kavitasyonla göre zarar yönetimi eğimin küçük veya büyük olması ve tabandaki üniform hava konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak yapılır.

Ayrıca büyük basamaklar daha fazla enerji kırılımı sağlamak bakımından küçük basamaklara nispeten daha uygundur. Zaten 60 cm' den daha küçük basamaklar tavsiye edilmemektedir [12].

3.2.6 Basamak Uzunluğu ve Kanal Eğim Açısının Seçimi

Basamakların yerleştirileceği kanalın eğim açısı arazinin topoğrafyası veya kullanılacak inşaat metodu tarafından belirlenmediyse, kanal eğim açısı optimum akım koşullarını ve enerji sönümlenmesini sağlayacak şekilde seçilmelidir.

4.DÜŞÜM YATAKLARININ SONUNDAKİ OYULMALARLA İLGİLİ LİTERATÜR ÖZETİ

Aşağıda düşüm yataklarının sonundaki oyulmalar hakkında yapılmış olan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Aksoy [1] “Yüksek düşülü barajların dolusavağı mansabında kaya tabandaki yersel oyulmalar” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada jetin hidrolik karakteristiklerine, mansap suyuna ve kaya blokların özelliklerine bağlı olarak bir oyulma derinliği bağıntısı geliştirilmiştir.

Yıldız [2] “Barajların mansabındaki oyulmalar” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada oyulmanın şiddetinin gelen debinin büyüklüğüne ve yapının şekline bağlı olduğu görülmüştür.

Şentürk [3] “Barajların projelendirilmesinde hidrolik esaslar” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada oyulma olayının iki şekilde gerçekleştiğini ifade ederek yersel oyulmalar hakkında bilgi vermiştir.

Tuna [4] “Geçirimli zeminlerde hareketli bağlama inşaatı ve Türkiye’deki hareketli bağlamalar” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada oyulma denklemlerine yer vererek oyulma uzunlukları ve maksimum oyulma derinliği hakkında bilgiler sunulmuştur.

Schoklitsch [5] “Oyulma” hakkında ilk deneysel çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalarda mansap su yüksekliğini dikkate almaksızın sabit bağlama için oyulma derinliğini elde etmiştir.

Eggenberger [6] “Oyulma uzunlukları” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada oyulma uzunluklarının iki kısımdan meydana geldiğini esas alarak oyulma uzunlukları için eşitlikler vermiştir.

Hartung ve Husler [7] “Jet enerjisinin sönümüne bağlı olarak oyulma derinliği” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, yapmış oldukları deneylere dayanarak dairesel enkesitli jetlerin difüzyon olayını kapsayan teoremin $y \approx 20D_0$ derinliğine kadar geçerli olduğunu saptamışlardır.

Cola [8] “Jet enerjisinin sönümüne bağlı olarak oyulma derinliği” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, yapmış olduğu laboratuvar çalışmalarına göre dikdörtgen enkesitli jet halinde difüzyon olayının teorik olarak incelenebileceği bölge için $y \approx 40 B_0$ olarak kabul edilmiştir.

Martins [9] “Serbest düşen bir jetin küpsel bloklardan oluşan tabandaki oyma derinliği” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada jetin düştüğü andaki yatayla yaptığı açı $\alpha = 40^\circ - 70^\circ$ arasında değişmiş ve bunun sonuca pratik etkisi görülmemiştir

Gunko, Burkov, Isachenko, Rubinstein, Soloviova, Yuditsky [10] “Savak sırtından sıçrayan bir jetin nehir tabanında oyma derinliği” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada laboratuvar incelemelerine dayanılarak yüksek düşülü barajların mansabındaki hidrolik rejim ve kaya zeminlerdeki yersel oyulmalar incelenmiş, su yapılarının boyutlandırılması amacıyla hız katsayısı, dolusavak akımının havalanma derecesi, sıçrayan jetin düşme mesafesi ve çatlaklı kaya zeminler için oyulma çukurunun boyutlarını saptamak için bağıntılar verilmiştir.

Yasuda ve Takahashi [11] “Basamaklı dolusavaklar üzerindeki sıçramalı akımın enerji sönümlenmesi” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada geniş aralıklı deneysel koşullar altında basamaklı dolusavaklarda meydana gelen sıçramalı akımlarda enerji sönümlenmesi çalışmaları yapılmış ve toplam enerji yükünün %70’den büyük bir kısmının basamaklar tarafından sönümlendiği görülmüştür.

Kaş [12] “Basamaklı dolusavaklarda akım ve enerjisinin sönümlenmesi” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada boşaltım kanalı taban eğim açısının ve basamak geometrisinin akım karakteristiklerine etkisi araştırılmış olup kanal taban eğim açısı ve basamak geometrisi arasındaki optimum ilişki deneysel olarak bulunmuştur.

Boes ve Hager [13] “Basamaklı dolusavakların hidrolik dizaynı” ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı eğim ve basamak yüksekliklerinde basamaklı dolusavaklarda meydana gelen akım tiplerini ve koşullarını incelemişlerdir.

Tatewar, Porey ve Ingle [14] “Basamaklı dolusavaklarda maksimum enerjinin sönümlenebilmesi için basamak yüksekliğinin seçimi” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada basamak geometrisi ile ilgili deneyler yapılarak maksimum enerji sönümlenmesi şartının gerçekleşebilmesi için basamak yüksekliğinin tayinini araştırmışlardır.

Chanson [15] “Basamaklı düşülerde nap ve sıçramalı akım koşullarında enerji sönümlenmesinin karşılaştırılması” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada farklı dolusavak boyutlarında ve akım şartlarında enerji sönümleme karakteristikleri saptanmış ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Büyük savaklarda sıçramalı akımlarda ve küçük savaklarda nap akımı koşullarında kinetik enerji sönümlenmesinin maksimum olduğu görülmüştür.

James, Main ve Moon [16] “Basamaklı düşülerde enerji sönümlenmesini arttırılması” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada alternatif akım kırıcılarına göre dik basamaklı dolusavakların enerji sönümlenmesindeki rolü ve geometrisi araştırılmıştır. V şekilli basamakların enerji sönümlenmesini arttırabileceği görülmüştür.

Cömert [17] “Keban Barajı dolusavak iyileştirilmesi” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Keban Barajı dolusavak düşüm yatağında meydana gelen oyulmalar ve dolusavak düşüm yatağının oyulmalara karşı korunması için yapılan yapılar hakkında bilgi verilmiştir.

Husler [18] “Kariba Barajı mansabında meydana gelen oyulmalar” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yapılan kaba hesaplar ve tahminler herhangi bir tedbir öngörülmezse oyulma çukurunun derinliğinin 80 m’yi bulacağını göstermiştir..

Chanson [19] “Basamaklı dolusavak ve kanallar üzerindeki sıçramalı akımın hidroliği” hakkında bir çalışma yapmıştır. Sıçramalı bir akım dikkate alınarak eğimi nispeten yüksek olan bir akımın mukavemeti ile daha düşük eğimli bir dolusavaktaki farklılıklar araştırılmıştır.

Basamaklı dolusavaklarda üç farklı akım rejimi oluşmaktadır. Bunlar nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akımdır.

Genellikle nap akımı düşük debi ve büyük basamaklardan meydana gelmektedir.

Naptan sıçramalı akıma geçiş kritik derinliğin basamak yüksekliğine oranı ile izah edilebilir. Nap akımından sıçramalı akıma geçiş için Boes ve Hager [13] aşağıdaki formülleri önermişlerdir.

$$\frac{h_c}{s} = 0.91 - 0.14 \tan \theta \quad (4.1)$$

Burada,

h_c : kritik derinlik

s : basamak yüksekliğidir.

Nap akımı $\frac{h_c}{s} = 0,20$ 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 gelişmiştir.

Nap akımı rejiminde optimum basamak yüksekliğinin hesaplanması için Tatewar, Porey ve Ingle [14] metotlar geliştirmiştir.

a) Matematiksel Metot

Dolusavağın eğimi 0,421’den 0,842’ye ve y_c/H oranının 0,01 den 0,14’e kadar farklı boyutlarda enerji kırılması üzerinde çalışılmıştır. Dolusavak kretindeki enerji hesaplanmış ve deneysel çalışmalardan dolusavak ucundaki özgül enerji gözlenirken dolusavak üzerindeki enerji kırılımı görülmüş ve enerji dağılımının varyasyonu ile basamak yüksekliği çalışmaları için bütün debi değerleri daima gözönünde tutulmuştur. Bütün bu çalışmalar sonucunda basamak yüksekliği arttıkça enerji sönmelenmesinin de belirli maximum bir değere kadar arttığı yazarlar tarafından gözlenmiştir.

$$(\Delta E/E)_{\max} = f(h_o/H, y_c/H, S) \quad (4.2)$$

Burada; h_o : optimum basamak yüksekliği

H : dolusavak yüksekliği

$y_c : (q^2/g)^{1/3}$ kritik akım derinliği

S : dolusavak mansap eğimi

q : birim debi ($m^3/sn/m$)

$$(\Delta E/E)_{\max} = K + a((h_o/H) + b(y_c/H) + c.S)) \quad (4.3)$$

$$\frac{\Delta E}{E} = 1 - \frac{(1 - \alpha)^N \left[1 + 1,5(y_c / h) + \sum_{i=1}^{N-1} (1 - \alpha) \right]}{N + 1,5(y_c / h)} \quad (4.4)$$

$$\alpha = a - b \log(y_c/h)$$

$$a = 0,30 - 0,35 (h/1)$$

$$b = 0,54 + 0,27(h/1)$$

b) Grafiksel Metot

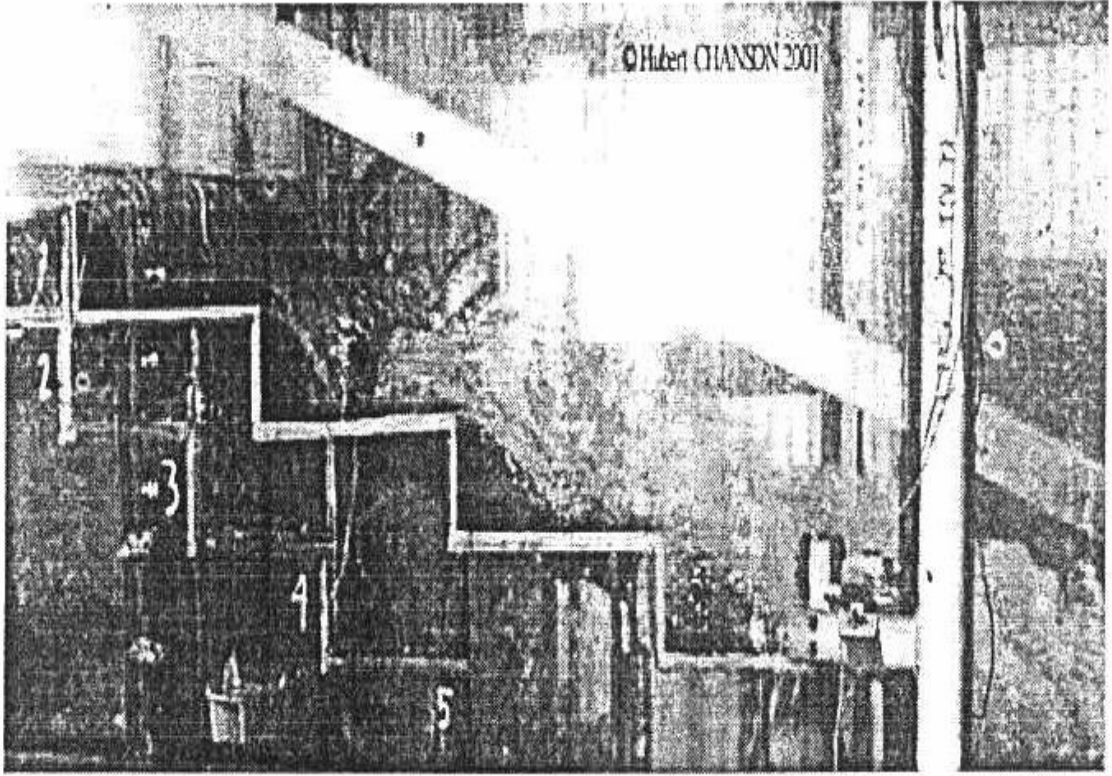
$(\Delta E/E)_{\max}$ ın değişimi h_o / H ile y_c / H 'a bağlıdır. Böylece H 'ın değeri bilinirse optimum basamak yüksekliği olan h_o ın da değeri hesaplanmış olacaktır. Bu metodun sayısal olarak güvenilirliği aşağıdaki varsayım verileri ile belirlenmiştir.

a.) Dizayn debisi $q = 0,0708 m^3/s$

b.) Dolusavak mansap eğimi $s = 0,842$

c.) Toplam dolusavak yüksekliği $H = 8 m$

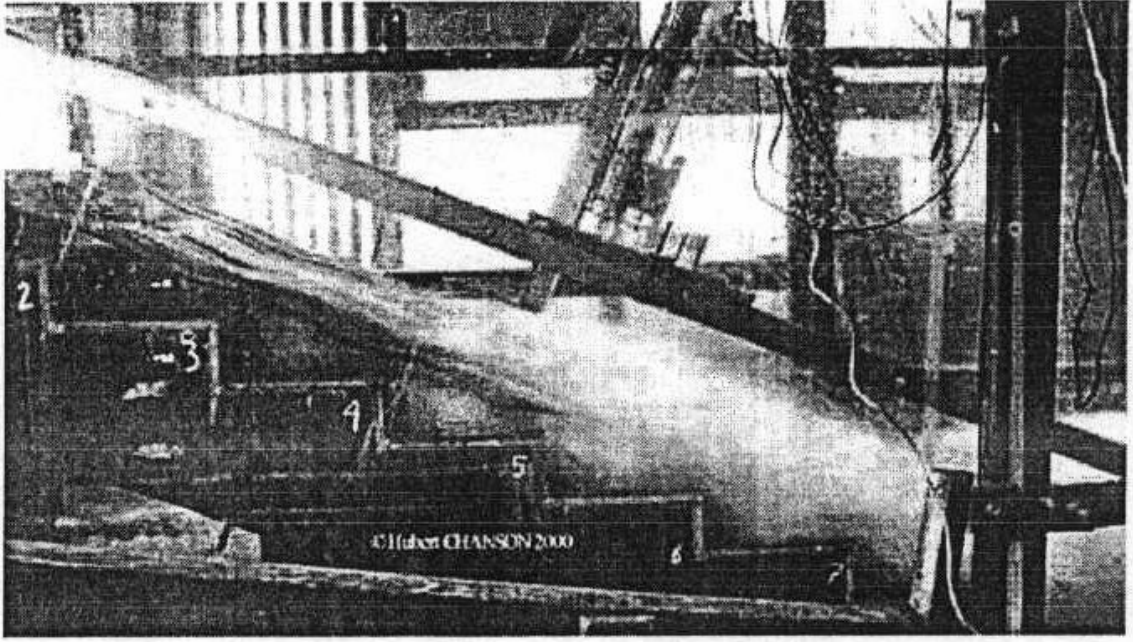
Tatewar, Porey ve Ingle [14]'ye göre h_o ın yaklaşık değeri 0,50 m civarındadır. Matematiksel metotta ilk yaklaşım değeri olarak $h_o = 0,44 m$ grafiksel metotta ise $h_o = 0,47 m$ olarak alınmıştır.



Şekil 4.1 Nap Akımı Fotoğrafi (Chanson [15])

Sıçramalı akım rejimi için, basamağa göre enerji sönümlenmesi birinci dereceden mansap eğimine, dolusavak yüksekliğine ve y_c/H oranına bağlıdır. Bu görüş diğer bilim adamları tarafından yapılmış olan ilk çalışmalarca da desteklenmektedir. Çeşitli deneysel çalışmalar Chanson [15], James, Main ve Moon [16] tarafından yapılmış, enerji sönümlenmesi hesaplanmış ve y_c/H oranının değişimi gözlenmiştir.

Sıçramalı akım rejimi altında enerji kırılımının maksimum olması için y_c / H oranının minimum olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu minimum değerin yaklaşık olarak 0,8'e eşit olması gerekmektedir. Bundan dolayıdır ki sıçramalı akım rejiminde optimum basamak yüksekliği $y_c/0,8$ den biraz küçük çıkmaktadır. Sıçramalı akımda hava-su dolaşım özellikleri ile ilgili olarak Chanson [15] bir dizi araştırmalar yapmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Sıçramalı Akım fotoğrafı (Chanson [15])

Oyulma hakkındailk deneysel çalışmayı yapan Schoklitsh [5] mansap su yüksekliğini dikkate almaksızın sabit bağlama için,

$$T_o = 4,75 \frac{H^{0,2} \cdot q^{0,57}}{d_m^{0,32}} \quad (4.5)$$

eşitliğini elde etmiştir. Burada,

T_o = Oyulma derinliği (m)

q = Birim debi ($m^3/sn/m$)

H = Memba ile mansap su seviyeleri farkı (m)

d_m = Mansap tabanındaki ortalama dane çapı (mm)

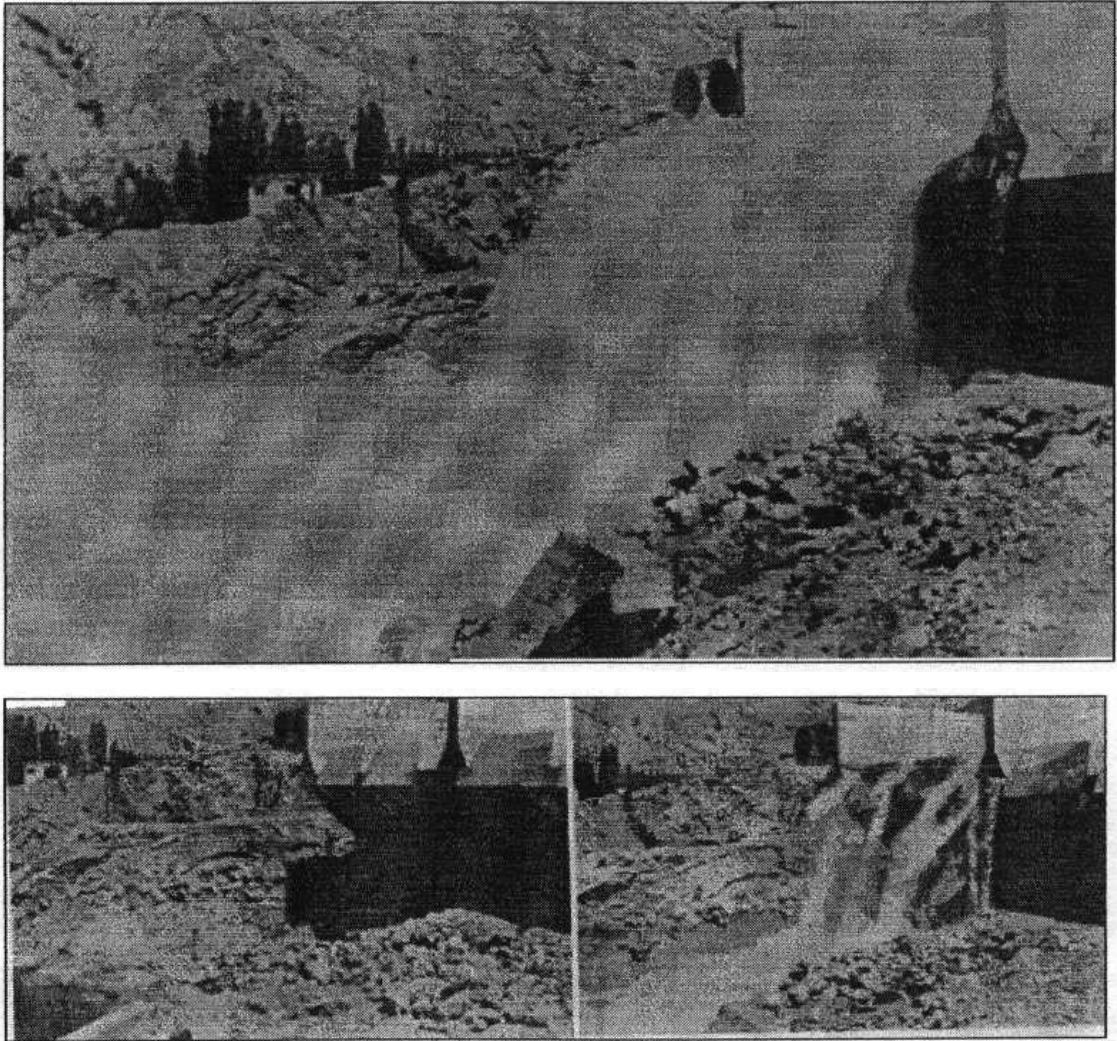
5. DÜŞÜM YATAKLARININ SONUNDAKİ OYULMALARLA İLGİLİ UYGULANMIŞ ÖRNEKLER

5.1 Keban BarajıDolusavak Düşüm Yatağında Meydana Gelen Oyulmalar

Oyulma Nedenleri ve Zemin Yapısı:

Dolusavak düşüm yatağındaki zemin yapısı üst tabakalarda şist ve daha alt tabakalarda ise kireç taşı şeklinde oluşmuştur (Yapılan sondajlardan elde edilen netice).

Üst tabakalarda şist, hava ve su teması ile mukavemetini kaybederek erimekte ve oyulmalara neden olmakta idi. Oyulmaların önlenmesi için koruma yapıları proje kapsamına alınarak tamamlanmıştır. Koruma yapıları inşa edilmeden önceki durum Şekil 5.1’de görülmektedir [17].



Şekil 5.1 Koruma Yapıları Yapılmadan Önce Dolusavak Şutundan Görünüşler

5.1.1 Dolusavak Düşüm Yatağının Oyulmalara Karşı Korunması İçin Yapılan Yapılar

2000 mm'lik Fore Kazık Yapımı:

Keban Barajı dolusavak mansap ağzında, dere yatağı tabanında oluşan oyulmadan dolayı barajın zarar görmemesi amacıyla düşünülen yapının ön cephesini oluşturan, Ø 2000 mm max. L= 60 m kayada fore kazık imalatında kullanılan 5 ana başlık altında toplayabiliriz.

Ø 2000 mm çapında geçici muhafaza borusunun çakılması ve çekilmesi,

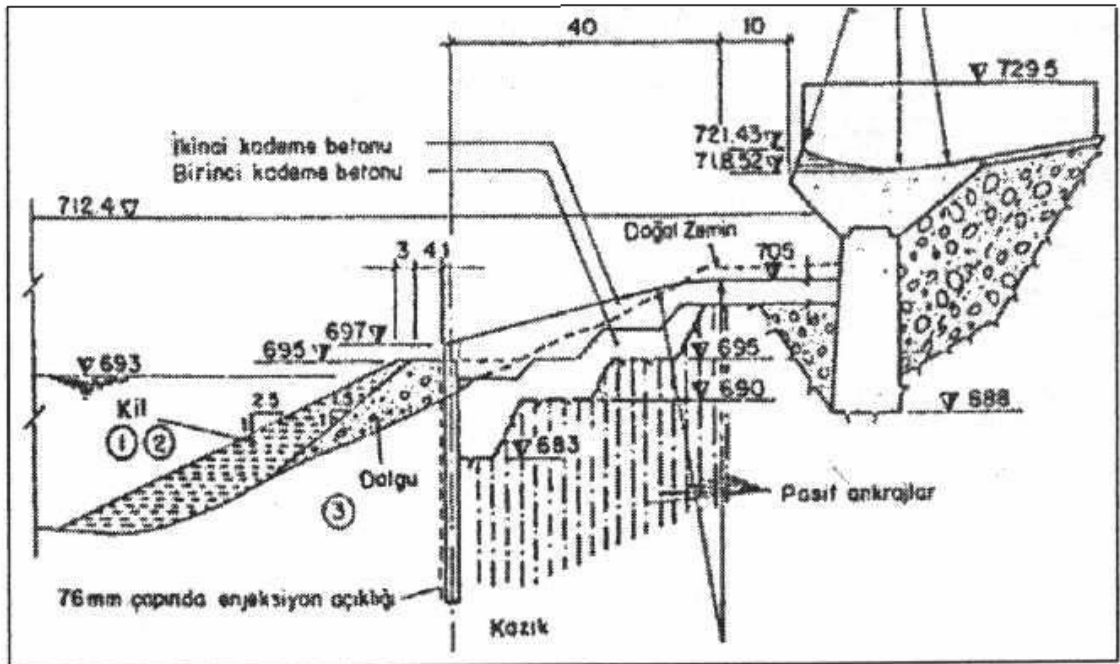
Dolgu malzemesinin forajı,

Kaya zemininin forajı,

Foraj çukuru içerisine donatı demirinin yerleştirilmesi,

Kazık betonun dökülmesi

Bu imalat aşamalarına geçmeden önce yapılacak işe ait kesit Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Keban Barajı Dolusavak Sıçratma Eşiği Mansabında İnşa Edilen Koruma Yapısı

Bu imalat aşamalarında kullanılan makina teçhizatı ve imalat metotlarını özetle inceleyelim.

a) Ø 2000 mm çapında muhafaza borusunun çakılması ve çekilmesi:

Muhafaza borusunun kullanılma amacı, tatbikat sahasında fore kazık hattı boyunca, derinliği 1m ile 9 m arasında değişen kil, tüvanan, çakıl karışımından oluşan dolgu

malzemesinin daha sonraki imalat çalışmaları esnasında kazı çukuru içerisine dökülmesini engellemektedir.

Kullanılan muhafaza boruları Ø 2000 mm çaplı ve kalınlığı 20 mm olan spiral kaynaklı çelik borularıdır. Geçici çelik muhafaza borusunun boyu dolgu derinliğine göre değişiklik göstermekle birlikte, dolgu derinliği ile sınırlı değildir. Çünkü kaya forajı ilerledikçe ana kaya tabakasının üst yüzeyindeki yapılanmaya göre muhafaza borusunun min. 1.50-2.00 m daha kayaya soketlenmesi gerekmektedir. Bunun ana nedeni de, dolgu ile kaya tabakasının birleştiği yerden, gerek foraj esnasında gerekse demir indirilirken veya beton dökülürken olabilecek dökülmeleri ve kazık kalitesinin bozulmasını önlemektir.

Ayrıca yapılan bazı kazıklarda, en üst kaya tabakasını oluşturan yeşil şistin kendini tutamadığı ve devamlı dökülmeler olduğu gözlenmiştir. Bu kaya zemindeki göçüğün, kazık imalatını güçleştirilmesi, beton zaiyatını arttırması ve kazık kalitesini düşürmesinden dolayı engellenmesi kaçınılmaz olmuş bu da geçici muhafaza boru boyunun 24 m' ye çıkartılması ile önlenmiştir. Muhafaza borularının kazık imalatında ikinci bir işlevi de, sonradan kaya forajında kullanılacak olan fore kazık makinasına yataklık ve kılavuzluk etmesidir.

Geçici muhafaza borusunun dolgu zemine çakılması ve çekilmesi işinde ekipman olarak:

- STFA Dizayn Boru Gidajı (Çelik muhafaza borusunu merkezlemek için)
- ICE 1412 Hidrolik Titreşimli Çekiç (60 ton çekme ve çakma kapasiteli)
- STFA Dizayn 600 tm/35 ton Hürmüz tipi Derrick Vinç

Çalışmayı kısaca açıklamak gerekirse, apliance edilen boru gidajına çelik muhafaza borusu vinç vasıtası ile konulur ve yine vinç ile titreşimli çekiç boru üzerine yerleştirilip, boruyu iyice kavradıktan sonra titreşim ile muhafaza borusu zemine çakılır.

b) Dolgu malzemesinin forajı:

Ø 2000 mm çaplı geçici çelik muhafaza borusunun dolgu zemine çakılmasından sonra, bu boru içerisinde kalan dolgu malzemesi , “American Hoist” marka paletli vinç ile kumanda edilen “Cassagrande Grab” tipi kepçe ile veya paletli vinç önüne monte edilen “CMV” markalı rötary tip fore kazık makinası tarafından temizlenir.

Dolgu malzemesinin temizlenmesinden sonra, çelik muhafaza borusunun tabanı ile kaya zemin arasında kalacak boşluklardan dolgu malzemesinin dökülmemesi için, borunun kaya zemine soketlendiğini daha önce belirtmiştik.

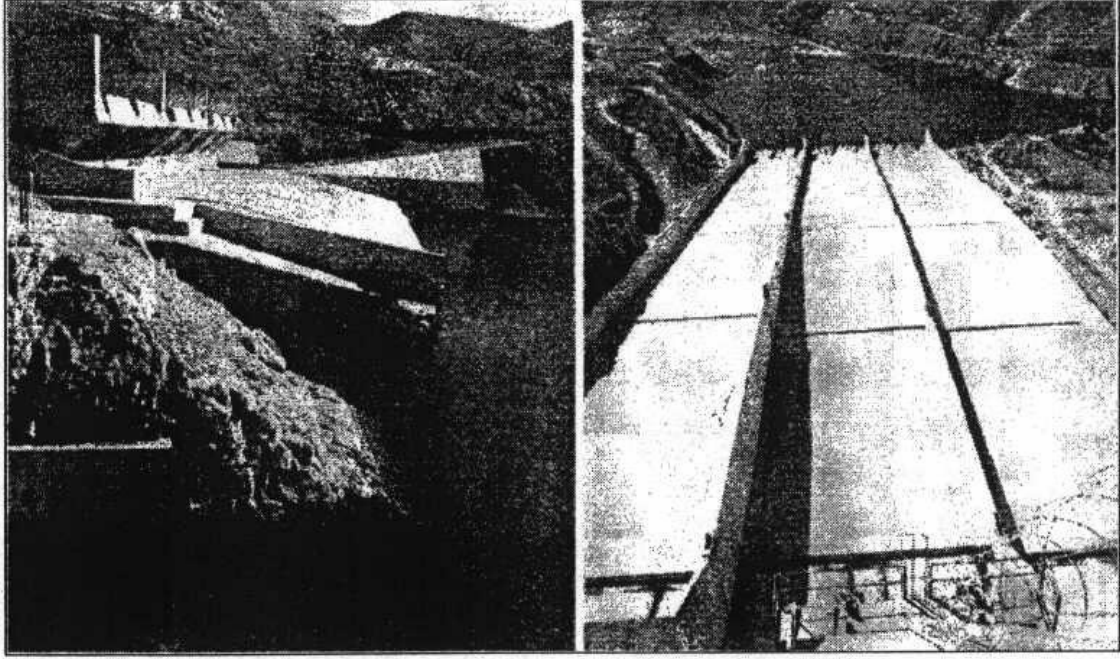
Bu soketleme işleminin yapılması için çelik muhafaza borusu içindeki dolgu temizlendikten sonra, American vinç ile kullanılan 5 ton ağırlıklı “balta” belirli yükseklikten kaya zemin üzerine serbest olarak düşürülür ve bu şekilde ufalanan kaya tekrar grab ve CMV kullanılarak temizlenir ve istenen soketleme derinliğine ulaşılır.

c) Kaya zemininin forajı:

Dolgu zeminin forajının tamamlanması ve dolgunun kazık içerisine dökülmesinin önlenmesinden sonra, kaya zemin foraj çalışmaları başlar. İmalat sahasındaki kaya tabakalarının yapılanması genel olarak şu sırayı takip etmektedir; yeşil şist, kalkışist ve kristalize kireç taşı.

Kazık forajı kireçtaşına 5.00 m girilmesi ile son bulmaktadır.

Tüm bu inşaat işlemleri tamamlandıktan sonra dolusavağın genel görünüşü Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



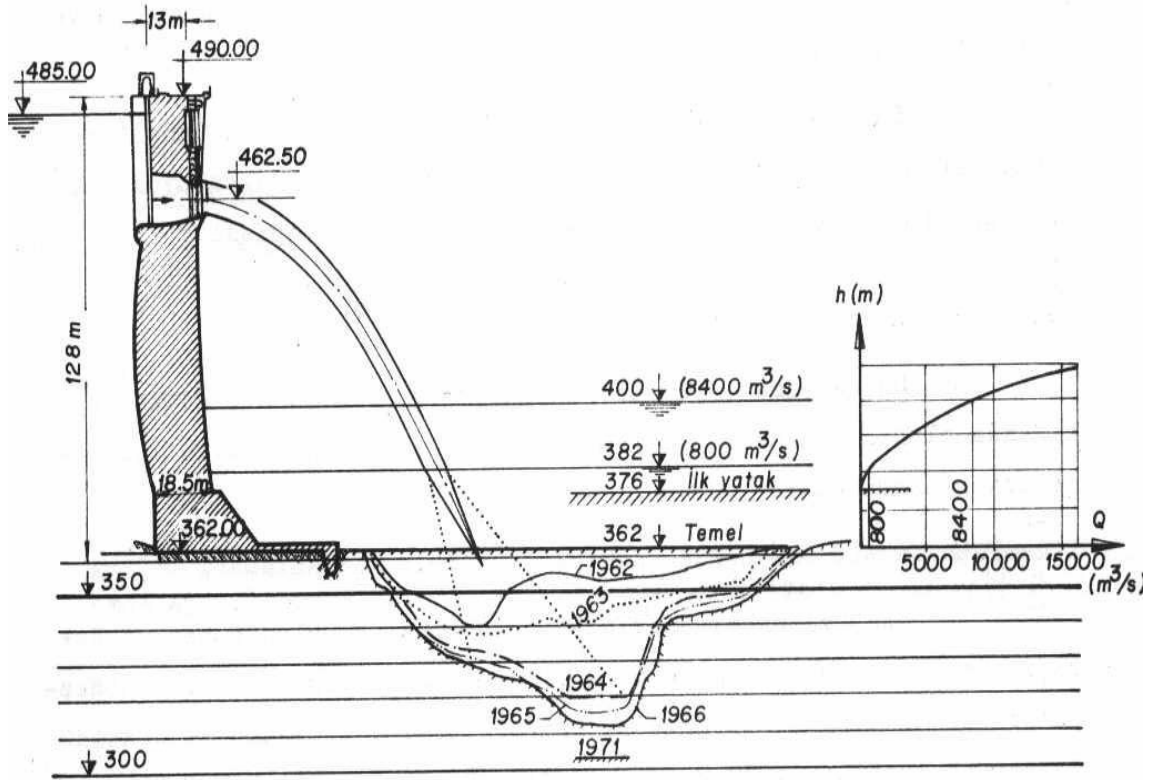
Şekil 5.3 Keban Barajı Dolusavak Mansabı Koruma Yapısı ve Dolusavak Şutu.

5.2 Kariba Barajı Mansabında Meydana Gelen Oyulmalar

Zambezi Nehri üzerine inşa olunmuş bulunan Kariba Barajı, Orta Amerika’da eskiden İngiltere tarafından yönetilen Rodezya’nın iç bölgesinde ve Zambezi Nehri’nin Hint Okyanusu’na döküldüğü yerden takriben 1000 km içeridedir. Bugün Zambezi Nehri ülkeyi iki ayrı bağımsız ülke olarak ikiye ayırmakta ve eski Kuzey Rodezya Zambiya ve Güney Rodezya da Rodezya olarak anılmaktadır. Zambezi Nehri Viktorya Çağlayanı’ndan Hint Okyanusu’na kadar uzanan yaklaşık 1500 km’ lik bir mesafe içinde 900 m’lik bir düşü imkanı ile önemli bir hidroelektrik potansiyele sahiptir.

Kariba Barajı 128 m’lik bir düşü yüksekliğine sahip olup arkasında 280 km uzunluğundaki rezervuarı içinde 160 milyar m³ faydalanılabilecek suyu tutabilmektedir. Zambezi Nehri’nin akıttığı suyun %85’i Kariba Barajı’nda enerji üretimi için kullanılabilmekte,

%9,5 su göl yüzeyinden buharlaşmakta ve %5,5 luk bir kısım da dolusavaktan enerjiye çevrilmeksizin geçmektedir.



Şekil 5.4 Kariba Barajının Mansabında Oluşan Oyulma Çukuru

Barajın inşa olduğu yerdeki Kariba Vadisi, tabanında 200 m'lik bir genişliğe sahip olup, Güney Rodezya'nın gnays platosu içinde oyularak oluşmuştur. Kariba Barajı çift yönlü eğrilığe sahip bir kemer baraj olup yüksekliği 128 m ve kret uzunluğu 650 m'dir.

Enerji üretimi için vadinin her iki yanında iki ayrı yeraltı santrali öngörülmüştür. Bunlardan Rodezya tarafındaki santral 1959 yılından beri 600 m'lik bir güce sahip olarak 6 Francis türbini ile enerji üretmektedir. Zambiya tarafındaki santral de yaklaşık olarak aynı güce sahip olacak bir şekilde gelişmektedir (1972 yılındaki durum). Her iki taraftaki enerji tesisleri nihai durumlarını aldıktan sonra yıllık üretim yaklaşık 8.2 milyar KWh olacaktır.

Bu çalışmanın konusu olan oyulma problemi ile ilgili şu konuyu da açıklamak faydalı olacaktır. Yeraltı santralinin seçilişinin nedeni, inşaat sırasındaki taşkın sularının bütün vadi genişliğini kullanarak geçirebilme zorunluluğudur. Böylece Rodezya tarafındaki yeraltı kuvvet santralinin inşası, baraj gövdesinin belirli bir yüksekliğe erişmesinden sonra mümkün olabilmıştır. Baraj eteğine yakın bir yerde inşa olunacak santralin, taşkın sularının geçişi sırasında yer alabilecek oyulmanın (ki bu oyulmanın hiçbir zaman bugünkü kadar derin olacağı tahmin olunmamıştı) etkisi ile tehlikeli bir duruma düşeceği gözönünde tutulmuştu. Baraj

yerinde yapılan 8 yıllık gözlemler Zambezi'nin $8500 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik bir maksimum debiye sahip olduğunu vermiştir. Halbuki daha sonra inşaat sırasında, Mart 1958'de inşaat yerinden $16000 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik bir debinin geçtiği izlenmiştir. 4 haftalık bir süre içinde toplam yıllık su miktarına denk olan 40 milyar m^3 su baraj inşaatı üzerinden aşmıştır.

Kariba barajında, taşkın sularını mansap tarafına boşaltmak amacıyla kemer gövde içine 6 tane $9 \times 9 \text{ m}$ 'lik kapaklı savak tertiplemiştir. Savakların tabanı maksimum rezervuar seviyesinden 27 m aşağıda bulunmakta ve dolayısıyla boşaltım savakları basınçlı olarak çalışmaktadır. Böylece basınç altında geçen su baraj eteğinden daha uzak bir mesafeye düşmekte ve oluşacak oyulma çukurunun mesafesi de baraj eteğinden uzağa iletilmiş olmaktadır. Savakların boşaltım kapasitesi maksimum göl seviyesinde $8400 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir.

Savaklardan boşalan su jetinin, nehrin kaya tabanına ulaşmaya kadar düşü yüksekliği 100 m ve yatay yöndeki fırlama mesafesi 85 m'dir.

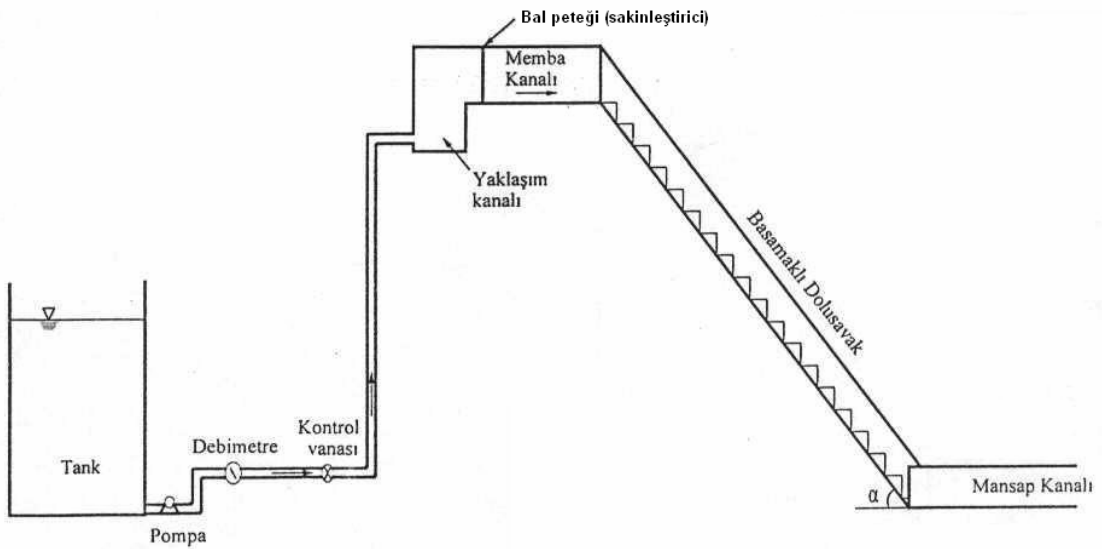
Kariba Barajı'nın mansabında yer alan oyulma çukuru Şekil 5.4'de görülmektedir. Oyulma çukurunun derinliği, 1971 yılında baraj temel seviyesinden itibaren 60 m'yi aşmıştır. Su jeti 80 m'yi geçen bir su yastığını delerek tabana ulaşmakta ve oyulma hala oluşmaktadır. Yapılan kaba hesaplar ve tahminler herhangi bir tedbir öngörülmezse oyulma çukurunun derinliğinin 80 m'yi bulacağını göstermektedir [18].

6.METARYAL VE METOT

6.1.Deney Düzeneği

Basamak tipi dolusavak boşaltım kanallarında deneysel çalışmalar yapmak için Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuarında Şekil 6.1’de kesiti ve Şekil 6.4’de fotoğrafı verilen deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneği laboratuar tabanından 2,72 m yüksekte, genişliği sabit ($b=0,30$ m) olan dikdörtgen kesitli bir kanal olup şüt eğimi $\alpha = 32^\circ$, dolusavak uzunluğu 5,13 m ve memba ve mansap arasındaki mesafe $L = 4,35$ m olacak şekilde farklı basamak boyutları değişikliklerin kolayca yapılabilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Deney düzeneğinde dolusavak boşaltım kanalının yan duvarı akım koşullarını görebilmek amacı ile cam malzemeden teşkil edilmiştir. $h = 15$ cm için $1 = 24$ cm olan bir basamak tipi kullanılmıştır. Sistemde debi, bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 6.2). Vana yardımı ile ayarlanan farklı debi miktarlarında; oyulma derinliği, oyulma boyu, oyulma yastık boyu değerleri ölçölmüştür. Oyulmanın olup olmayacağı dane çapı $d = 0,03$ m olan çakıl esas alınarak incelenmiştir. Kullanılan çakıl malzemesi Palu kumu olup, 500 devirdeki aşınması %17, su emmesi % 0,9 olup iyi bir malzemedir. Kalan malzeme her elek üstünde yıkanmıştır.



Şekil 6.1 Deney Düzeneğinin Kesiti

Deney düzeneği amaca uygun ölçümlerin yapılabilmesi için ölçüm aletleri ile teçhiz edilmiştir.

a) Su seviyesi ölçümleri

Su seviyesi ölçümleri (kanal tabanına dik akım derinlikleri) nokta uçlu (point gage, limnimetre) seviye ölçme aletleri ve dolusavak boşaltım kanalı yan duvarı üzerine yerleştirilen çelik şeritmetreler yardımıyla yapılmıştır.

b) Debi ölçümleri

Yapının memba kısmına yerleştirilen bir debimetre yardımıyla yapılmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Debimetre

c) Hız yüksekliği Ölçümleri

Dolusavak kanalı eteğine yerleştirilen pitot tüpleri vasıtasıyla okunmuştur.



Şekil 6.3 Mansap Havuzu

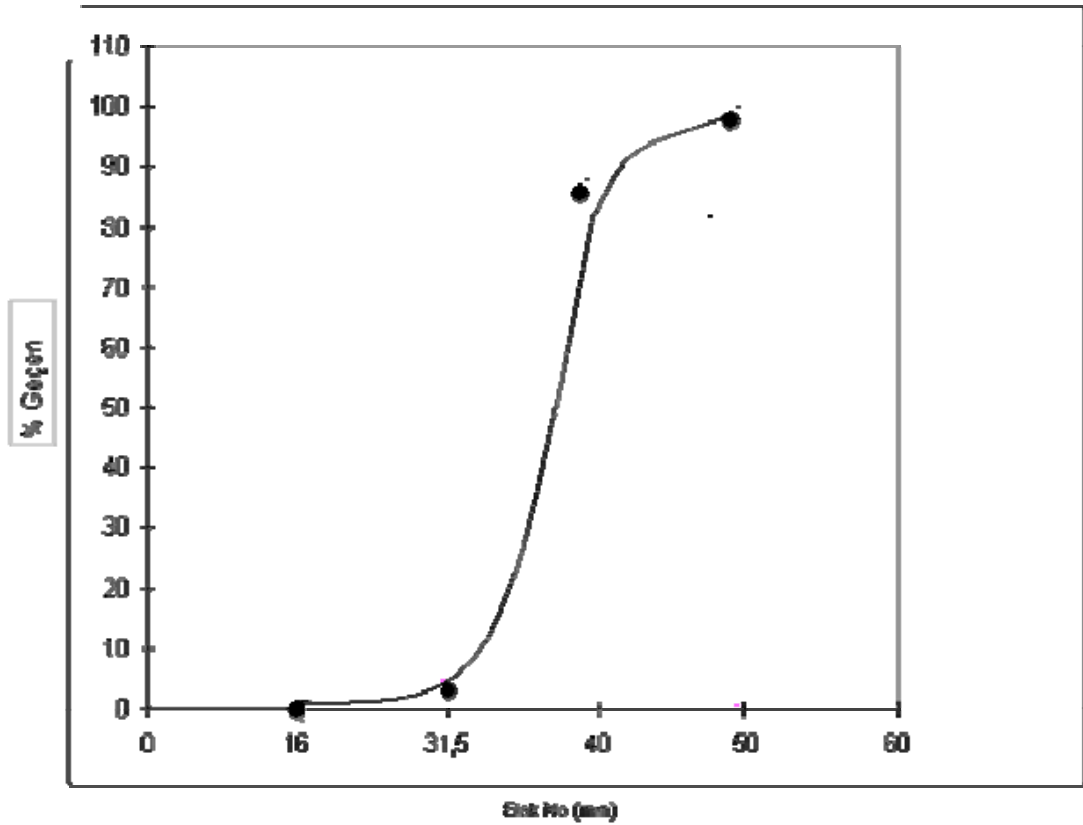


Şekil 6.4 Deney Düzenegi

d) Elek analizi: Kullanılan malzemenin elek analiz değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Elek Analizi Tablosu

Elek No (mm)	Her Elek Üstünde Kalan (kümülatif) (gr)	% Kalan	% Geçen
50	0	0	100
40	238,60	12,97	87,03
31,5	1818,45	98,85	1,15
16	1839,59	100	0



Şekil 6.5 Elek Analizi Grafiği

6.2 Deneylerin Yapılışı

Bu deneysel çalışma, Şekil 6.1’de kesitli verilen deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boşaltım kanalında meydana gelen akımın tipi ve dolusavak sonundaki hız yükseklikleri gibi hidrolik karakteristikler belirlenerek boşaltım kanalı boyunca akım enerjisinin kırılması açısından değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, debi ölçümleri memba tarafa yerleştirilen debimetre vasıtasıyla yapılmış, debi ayarı debimetre önündeki bir küresel vana yardımı ile yapılmıştır. Çalışma sırasında genişliği 30 cm olan dikdörtgen kesitli boşaltım kanalından verilen debiler $Q = 5 \text{ L/sn}$ ile $Q = 38,2 \text{ L/sn}$ arasında değiştirilmiştir.

6.2.1 Dolusavak Boyunca Yapılan Deneyler

Yüksekliği sabit bir deney düzeneğinde yapılan deneyler nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akım koşulları durumunda sabit dolusavak eğiminde yapılmıştır.

Çalışmalar esnasında boşaltım kanalı taban eğim açısı $\alpha = 32^\circ$, basamak yüksekliği $h = 15 \text{ cm}$ ve basamak genişliği $l = 24 \text{ cm}$ için deney yapılmıştır. Deney sırasında ilk alternatif basamak çıkarılarak klasik basamaksız dolusavak için yapılmış, ikinci alternatifte $h = 15 \text{ cm}$ için $l = 24 \text{ cm}$ olan basamaklı dolusavak kullanılmış olup farklı debi miktarlarında hangi tipin olmayı önlemede daha uygun olacağına karar vermek için deneysel çalışmalar, bu koşullar altında yapılmıştır.

6.2.1.1 Klasik Basamaksız Dolusavak İle Yapılan Deneyler (Alternatif 1)

Basamaksız klasik dolusavaklarda $6,11 - 28,8 \text{ L/sn}$ arasında yapılan deneylerde H_1 ve akım tipi Tablo 6.2’de ve Şekil 6.7’de verilmiştir. Tablodan bu tipin tüm akım tiplerinin sel rejiminde olduğu görülmektedir. Tablo 6.3’de oyulma boyu $L_{oyulma} = 0-80 \text{ cm}$, oyulma derinliği $h_{oyulma} = 0-17 \text{ cm}$ ve oyulma yastık boyu $L_{oyulma \text{ yastık}} = 0 - 115 \text{ cm}$ arasında değişmektedir. Şekil 6.6’dan bu tipin oyulma oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Debi arttıkça oyulmanın da lineer olarak arttığı görülmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliğidir. Oyulma derinliği, oyulma boyu ve oyulma yastık boyu bir çelik şerit metre yardımıyla ölçülmüştür.

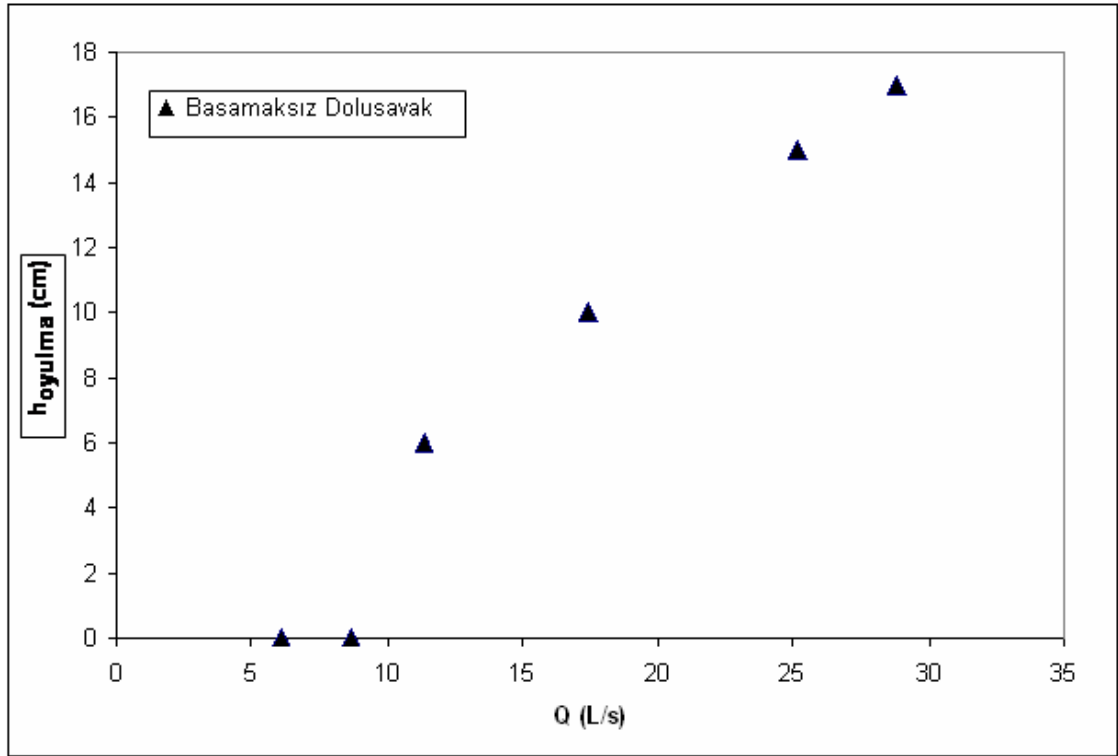
Tablo 6.2 Basamaksız Klasik Dolusavak İçin Akım Tipleri ve H_1 Yükselikleri

Debi, Q [L/ sn]	H_1 [m]	Akım tipi
6,11	0,70	Sel Rejimi
8,7	0,90	Sel Rejimi
11,4	1,20	Sel Rejimi
17,46	1,60	Sel Rejimi
25,16	1,90	Sel Rejimi
Max (28,8)	2,00	Sel Rejimi

Tablo 6.3 Basamaksız Klasik Dolusavak İçin Oyulma Değerleri

Q [L/sn]	Q/B [L/sn.m]	h_{nap} [cm]	$H=h_{nap}+p$ [m]	$J=H/L$	$V_1=\sqrt{2gH}$ [m/sn]	$h_1=\frac{Q/B}{V_1}$ [cm]	$R=\frac{B \cdot h_1}{B + 2h_1}$
6,11	20,37	2	2,74	0,629	7,37	0,278	0,003
8,7	29	3	2,75	0,632	7,38	0,352	0,004
11,4	38	4	2,76	0,634	7,40	0,513	0,005
17,46	58,2	6	2,78	0,639	7,42	0,784	0,007
25,16	83,87	8	2,80	0,643	7,45	1,125	0,010
28,8	96	10	2,82	0,648	7,48	1,283	0,012

$\tau = \gamma \cdot R \cdot J$ [kg/m ²]	$\tau_{kr}=0,06 \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot d$ [kg/m ²]	L_{oyulma} [cm]	h_{oyulma} [cm]	L_{oyulma} yastık [cm]
1,89	3,15	-	-	-
2,53	3,15	-	-	-
3,17	3,15	25	6	20
4,47	3,15	40	10	40
6,43	3,15	70	15	100
7,78	3,15	80	17	115



Şekil 6.6 Debi ile Oyulma Derinliği Değişimi



Şekil 6.7 Basamaksız Klasik Dolusavak

6.2.1.2 Basamak Yüksekliği 15 cm ve Basamak Genişliği 24 cm Olan Basamaklı Dolusavak İçin Yapılan Deneyler (Alternatif 2)

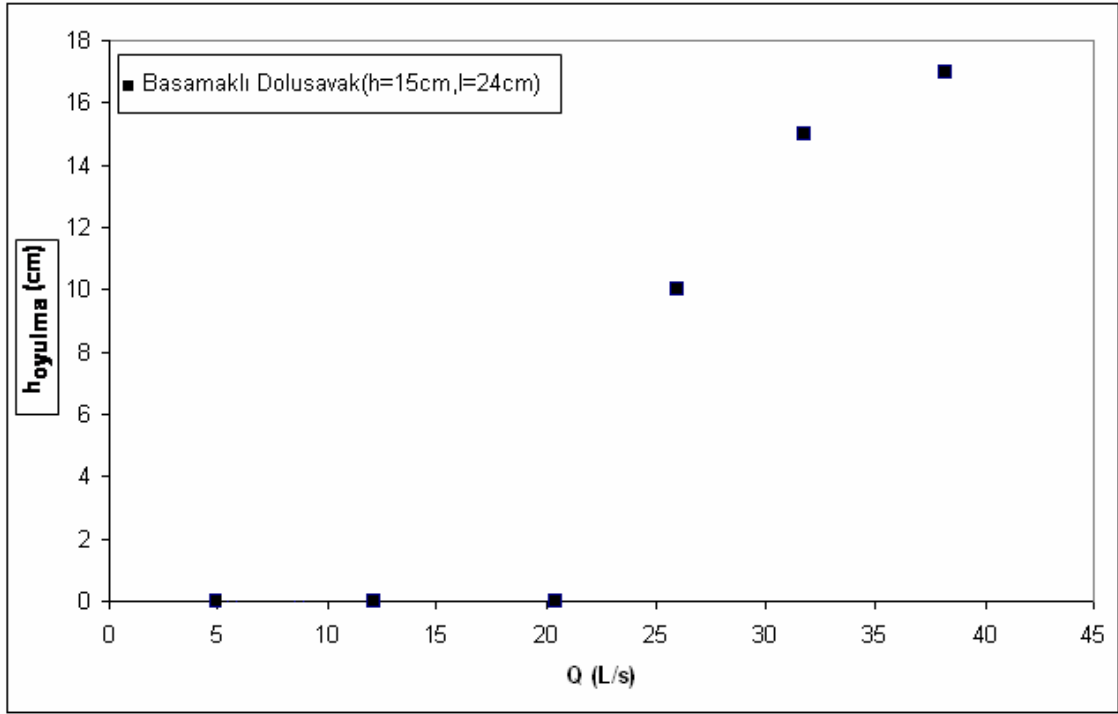
Bu tipte teşkil edilen basamaklı dolusavakta 5-38,20 lt/sn arasında yapılan deneylerde H_1 ve akım tipi Tablo 6.4’de ve Şekil 6.9’da verilmiştir. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görölmektedir. Tablo 6.5’de oyulma boyu $L_{oyulma} = 0-57$ cm, oyulma derinliği $h_{oyulma} = 0-17$ cm ve oyulma yastık boyu $L_{oyulma\ yastık} = 0-60$ cm arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçölmüş hız yüksekliğidir. Oyulma derinliği, oyulma boyu ve oyulma yastık yüksekliği bir elik şeritmetre yardımıyla ölçölmüştür.

Tablo 6.4 $h= 15$ cm ve $l= 24$ cm Olan Basamaklı Dolusavak için Akım Tipleri ve H_1 Yükseklikleri

Debi, Q [L/sn]	H_1 [m]	Akım Tipi
5,0	0,085	Nap Akımı
12,10	0,24	Nap Akımı
20,44	0,35	Geçiş Akımı
25,97	0,41	Sıçramalı Akım
31,77	0,47	Sıçramalı Akım
Max (38,20)	0,49	Sıçramalı Akım

Tablo 6.5 $h= 15$ cm ve $l= 24$ cm Olan Basamaklı Dolusavak için Oyulma Değerleri

Q [L/sn]	Q /B [L/sn.m]	J=H/ L	h/ l	H/h	L/l	L_{oyulma} [cm]	h_{oyulma} [cm]	L_{oyulma} yastık [cm]
5,0	16,76	0,625	0,625	18,13	18,13	-	-	-
12,10	40,33	0,625	0,625	18,13	18,13	-	-	-
20,44	68,13	0,625	0,625	18,13	18,13	-	-	-
25,97	86,57	0,625	0,625	18,13	18,13	40	10	25
31,77	105,90	0,625	0,625	18,13	18,13	50	15	40
38,20	127,33	0,625	0,625	18,13	18,13	57	17	60



Şekil 6.8 Debi ile Oyulma Derinliği Değişimi

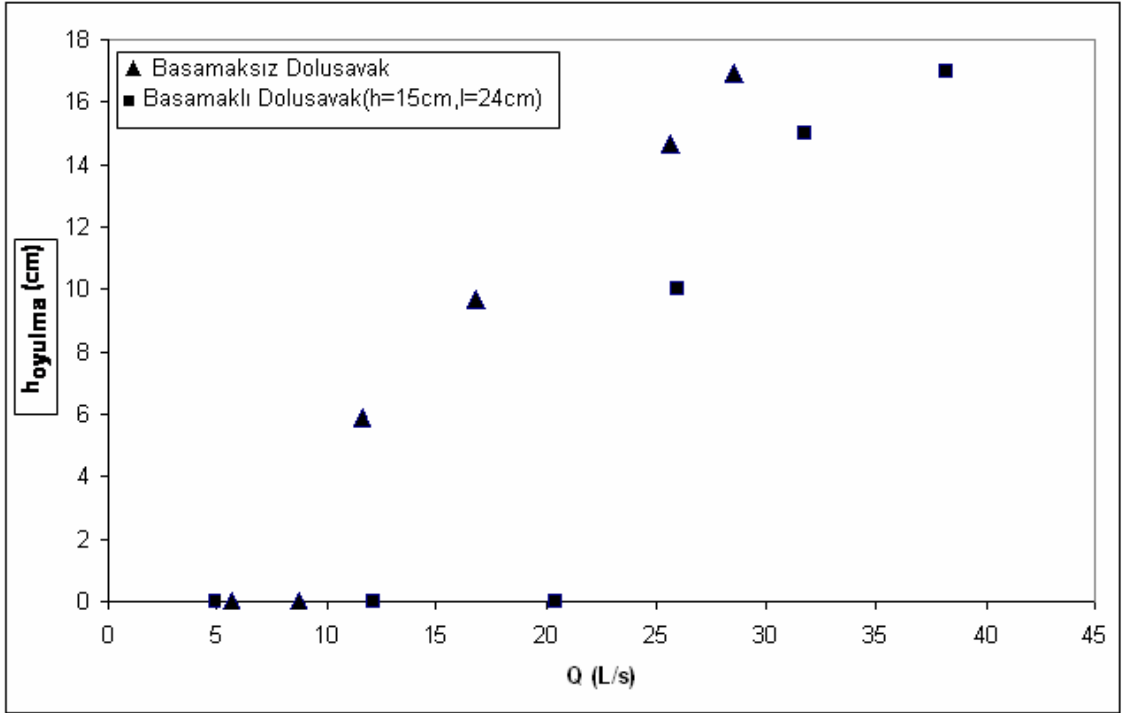


Şekil 6.9 Basamaklı Dolusavak ($h= 15$ cm, $l= 24$ cm)

6.2.2 Alternatiflerin Karşılaştırılması

6.2.2.1 Basamaksız Klasik Dolusavak ile Basamak Yüksekliği 15 cm İle Basamak Genişliği 24 cm Olan Basamaklı Dolusavak Durumlarının Karşılaştırılması

Şekil 6.8’den de görüleceği üzere olaya sadece enerji kırılımı açısından bakılacak olursa en avantajlı çözüm $h = 15$ cm ile $l = 24$ cm olarak teşkil edilen basamaklı dolusavak çözümüdür. Basamaklı dolusavaklarda geçiş akımı koşulları istenmeyen bir durumdur. Bu yönden de bakılacak olursa aynı tip çözüm hem enerji kırılımının fazla olduğu hem de sıçramalı akım koşullarının görüldüğü en kabul edilebilir bir çözümdür (Şekil 6.9).



Şekil 6.10 Debi İle Oyulma Derinliği Değişimi (Alternatiflerinin Karşılaştırılması)



Şekil 6.11 Sıçramalı Akım Örneği

7. SONUÇLAR

Dolusavaklar bir barajın proje maliyetinde önemli bir yer tutan ve baraj güvenliği ile ilgili önemli fonksiyonları olan yapılardır. Barajların dolusavaklarından bırakılan akımın enerjisinin sönümlenmesi için genellikle enerji kırıcı havuzlar veya sıçratma eşikleri kullanılmaktadır. Bunlar da barajlarda maliyeti arttırmaktadır. Son yıllarda özellikle küçük barajların dolusavaklarından mansaba bırakılan akımın enerjisini sönümlemek için basamak tipli dolusavaklar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada problemin genel olarak çözümlendiği söylenemez. Uygulamada karşılaşılan problemin sınır şartları çok karmaşıktır. Sınır şartlarında yapılan bazı kabul ve basitleştirmelerle laboratuvar deneylerine dayanan sonuçlara varılmıştır. Sonuçların genelleştirilebilmesi için daha geniş kapsamlı yeni deneylerin yapılması ve özellikle doğada, bitmiş barajlarda, gözlemlerin yapılması zorunludur.

Bu çalışmada basamaklı dolusavakların enerji sönümleme oranlarını tesbit etmek için bir dizi deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

* Basamaksız klasik dolusavakta akım tipi sel rejiminde olmuştur. Basamaklı dolusavak tipinde ise nap, geçiş, sıçramalı akım gözlenmiştir. Özellikle küçük debilerde (5-12 L/sn) nap akımı gözlenmiş, büyük debilerde ise sıçramalı akım gözlenmiştir.

* Küçük debilerde oyulmanın olmadığı ya da çok küçük olduğu, büyük debilere gidildikçe oyulmanın olduğu ve gitgide arttığı gözlenmiştir.

* Nap akım rejiminde enerji sönümlenmesi, geçiş akımı ve sıçramalı akıma nispeten daha fazla olmuştur.

* Basamaklı dolusavak ile klasik dolusavağın oyulma değerleri karşılaştırıldığı zaman basamaklı dolusavağın oyulma değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

* Basamaklı dolusavaklarla klasik dolusavaklar kıyaslandığında basamaklı dolusavakların toplam enerjinin ortalama %70-%80 ini sönümleyebileceği ve kalan enerjinin kırılması için mansapta küçük bir hidrolik yapıya ihtiyaç duyulacağı görülür.

* Basamaklı dolusavaklar çok büyük enerjiyi alıp sönümler ve inşaa maliyetleri ucuzdur.

KAYNAKLAR

- [1] Aksoy, Ş., Yüksek düşülü barajların dolusavağı mansabında kaya tabandaki yersel oyulmalar. DSİ Genel Müdürlüğü Yayınları Hİ-584 Ankara 1975.
- [2] Yıldız, D., Barajların mansabındaki oyulmalar. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Yayın No: KK-951 Ekim 2001-Ankara
- [3] Şentürk, F., Barajların projelendirilmesinde hidrolik esaslar, DSİ Genel Müdürlüğü Yayınları 1.Baskı, Ankara, 1988.
- [4] Tuna, A., Geçirimli zeminlerde hareketli bağlama inşaatı ve Türkiye'deki hareketli bağlamalar, Elazığ Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi. İnşaat Bölümü Yayınları, Mayıs 1975.
- [5] Qavoum, A., Die Gesetz massigkeit der kalkbildung hinter unterstromten Wehren (tez).
- [6] Press, H., Wehre, zweite Auflage, 1959.
- [7] Hartung, F., Husler, E., Scours, Stilling Basins and Downstream Protection "Under Free Overfall Jets at Dams", Proc.11 Congress, Q41-R.3 ICOLD, 1973, Q41-R.3
- [8] Cola, R., Energy Dissipation of a High-Velocity Vertical Jet Entering A Basin, Proc. IAHR 11. Congress 1965, Paper Nr.1.52
- [9] Martins, R., Contribution to the Knowledge on the Scour Action of Free Jets on Rocky River Beds, Proc. of 11. Congress ICOLD 1973, Q.41-R.44
- [10] Gunko, F.G., Burkov, A.F., Isachenko, N.B., Rubinstein, G.L., Soloviova, A., Yuditsky, G.A. 1965. Research on the Hydraulic Regime and Local Scour of Rivers Bed Below Spillways of High-Head Dams. 1 1th Congress of the I.A.H.R., Leningrad.
- [11] Yasuda, Y., Takahasmı, M., 2000, Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways. Discussion, Journal of Hydraulic Engineering, 126,11, 869-871.
- [12] Kaş, İ., 1998, Basamaklı dolusavaklarda akım ve enerjisinin sönmülenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, 97 s.
- [13] Boes, R.M., Hager, W.H., 2001, Two-phase flow characteristics of stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering: under review.
- [14] Tatewar, S.P., Porey, P.D., Ingle, R.N., 1999, Selection of Step of Step Height for maximum Energy Dissipation on Stepped Spillway. Proc. National Conference on Hydraulics-HYDRO-99, 306-311.
- [15] Chanson, H., 1994, Comparasion of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes , Journal of Hydraulic Research, 32, 2, 213-218.

- [16] James, C.S., Main, A.G., Moon, J., 1998, Enhanced energy dissipation in stepped chutes, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Maritime Engineering. 148, 4, 277-280.
- [17] Cömert, M., 1991. Keban Barajı dolusavak iyileştirilmesi işine ait bilgiler ve uygulanan imalat yöntemleri. DSİ 9. Bölge Müdürlüğü. Elazığ.
- [18] Husler, E., Der Kolk unterhalb der Karibastaumauer, Tiefbau Strassenbau, Oktober 1972-Heft 10.
- [19] Chanson, H., 1994. Hydraulics of Skimming Flows over Stepped Channels and Spillways .Journal of Hydraulic Research, 32, 3, 445-460.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimimi çeşitli okullarda tamamladıktan sonra 1997 yılında Elazığ Balakgazi Süper Lisesi'nden mezun oldu. 1998 yılında girmiş olduğu Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2003 yılında tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimime halen devam etmektedir. İngilizce bilmektedir.