

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞİKLİ VE BASAMAK TIPLI DOLUSAVAKLARDA AKIM
VE ENERJİ SÖNÜMLENMESİNİN İNCELENMESİ**

150157

Muhammed Cihat TUNA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞİKLİ VE BASAMAK TIPLI DOLUSAVAKLARDA AKIM
VE ENERJİ SÖNÜMLENMESİNİN İNCELENMESİ**

Muhammed Cihat TUNA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

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

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Doç. Dr. Ayhan ÜNLÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mualla ÖZTÜRK

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 09.11.2005. tarih ve24-1..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EŞİKLİ VE BASAMAK TIPLI DOLUSAVAKLARDA AKIM VE ENERJİ SÖNÜMLENMESİNİN İNCELENMESİ

Muhammed Cihat TUNA

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 79

Basamaklı dolusavaklar, silindirle sıkıştırılmış beton (RCC) barajların inşa tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde son yirmi yılda oldukça popüler olmuştur. Basamaklı dolusavaklar, bir ağırlık RCC barajın mansap yüzüne oldukça ekonomik bir şekilde yerleştirilebilmektedir. Bu dolusavakların, diğer bir yaygın uygulaması da dolgu barajlarda taşkın dolusavağı olarak da kullanılmasıdır. Basamaklı dolusavakların avantajlarını; kolay inşa edilebilmeleri, kavitasyon riskini azaltması ve boşaltım kanalı boyunca enerjinin büyük bir kısmının sönmülenmesinden dolayı mansap kısımdaki düşüm yatağının boyutlarını önemli ölçüde azaltması olarak saymak mümkündür.

Bu çalışmanın amacı; eşikli basamaklı dolusavakların enerji sönmülme oranlarını tespit etmek ve eşikli basamaklı dolusavakların hidrolik karakteristiklerini belirlemektir. Bu çalışma altı bölümden ibarettir; Birinci bölümde, giriş kısmı sunulmuş, çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde, literatür özeti sunulmuştur. Üçüncü bölümde, basamaklı dolusavakların hidroliği detaylı bir şekilde verilmiştir. Dördüncü bölümde, deney düzeneği anlatılmıştır. Beşinci bölümde, deneylerin yapılışı anlatılmış, elde edilen sonuçlara ait grafikler çizilerek, yorumlanmış ve tartışılmıştır.

Basamaklı dolusavakların klasik savaklara göre daha fazla enerji sönmüledikleri sonucuna varılmıştır. Eşikli basamaklar enerji kırmak bakımından en iyi sonucu vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Basamaklı dolusavaklar, Sıçramalı akım, Nap akımı, Geçiş akımı, Enerji sönmülme, RCC, Eşik

ABSTRACT

MSc Thesis

AN INVESTIGATION OF FLOW AND ENERGY DISSIPATION FOR STEPPED SPILLWAYS WITH END SILL

Muhammed Cihat TUNA

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2004, Page: 79

Stepped spillways have regained popularity over the last 2 decades with the evolution of the roller compacted concrete (RCC) dam construction technique. A stepped chute can be economically integrated into the downstream face of a RCC gravity dam. Another common application is the use of stepped overlays on the downstream face of embankment dam as emergency spillways to safely pass the probable maximum flood (PMF) over the dam crest. Advantage of stepped spillways include ease of construction, reduction of cavitation risk potential, and reduction of the stilling basin dimensions at the downstream dam toe due to significant energy dissipation along the chute.

The aim of this study is to determine the amount of the energy dissipation for stepped spillways with end sill, and hydraulics of the flow in stepped spillways for sill types used in this study. This study includes six section; these; In the first section, introduction is presented. In this section, especially, the aim of this study is given. In the second section, summary of literature is presented. In the third section, hydraulics of stepped spillways is given in detail. In the fourth section, experimental setup is introduced. In the fifth section, experiments, their results and discussions are presented. According to obtained experimental results, graphs are plotted and interpreted. In the sixth section, conclusions and suggestions are given.

Keywords: Stepped spillways, Skimming flow, Nappe flow, Transition flow, Energy dissipation, RCC, Sill

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince yaptığı öneriler ve yardımlarından dolayı tez yöneticim Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU'na, deney düzeneğinin hazırlanması ve deney çalışmalarının yapılmasında yardımlarını esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Ahmet TUNA' ya ve deney çalışmalarının yapılması esnasında yaptığı yardımlardan dolayı Sayın Işıl GÜRÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VIII
TABLoların LİSTESİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN HİDROLİĞİ.....	28
3.1. Genel Bilgiler	28
3.2. Basamaklı Dolusavakların Projelendirilmesi.....	29
3.3. Ön plan hazırlanması.....	32
3.2.1 Savak genişliğinin seçimi.....	32
3.2.2 Savak kretinin tayini.....	32
3.2.3 Maksimum çıkış debisinin meydana gelmesi.....	33
3.2.4 Optimum basamak yüksekliğinin seçimi.....	33
3.2.5 Basamak uzunluğu ve kanal eğim açısının seçimi.....	34
3.2.6 Mansapta açığa çıkan çözünmüş gaz miktarının hesabı.....	34
3.2.7 Hava girişi	34
3.2.8 Yapısal dizayn dahil son şeklin tespiti.....	34
3.3 Prefabrik Beton Basamaklar.....	36
3.4 Uygulanmış Bir Örnek.....	37

3.5	Geleneksel Olmayan Dolu Savak Karakteristikleri.....	38
3.6	Maliyet Durum Çalışmaları.....	39
3.7	Dünyadan Örnekler.....	40
4.	DENEY DÜZENEGİ.....	43
5.	DENEYLERİN YAPILIŞI.....	46
5.1	Dolusavak Boyunca Yapılan Deneyler.....	46
5.1.1	Klasik basamaksız dolusavak ile deneyler (Alternatif 1).....	47
5.1.2	Basamaklı eşiksiz dolusavak için deneyler (Alternatif 2).....	49
5.1.3	Eşik yüksekliği 2 cm bütün basamak kenarları dolu ile yapılan deneyler (Alternatif 3).....	51
5.1.4	Eşik yüksekliği 2 cm bir basamak kenarı dolu bir kenar boş ile yapılan deneyler (Alternatif 4).....	53
5.1.5	Eşik yüksekliği 4 cm bütün basamak kenarları ile yapılan deneyler (Alternatif 5)	
5.1.6	Eşik yüksekliği 4 cm bir basamak kenarı dolu bir basamak kenarı boş ile yapılan deneyler (Alternatif 6).....	58
5.1.7	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 7).....	60
5.1.8	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 8).....	63
5.1.9	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa bir boş basamak ve iki basamak sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 9).....	65
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1.	Deney kesiti.....	7
Şekil 2.2.	Boes ve Hager [1] tarafından hazırlanmış deney düzeneği.....	8
Şekil 2.3.	Nap akımı fotoğrafı (Chanson [3]).....	10
Şekil 2.4.	Sıçramalı akım fotoğrafı (Chanson [3]).....	11
Şekil 2.5.	Altıncı Basamak membasında serbest yüzey havalanma başlangıcı (Chanson [3]).....	12
Şekil 2.6.	Hava konsantrasyonu ve hız dağılım eğrisi (Chanson [3]).....	13
Şekil 2.7.	Ana parametreler ve havalanmanın başlangıç noktasının yeri (Ferrando [24]).....	14
Şekil 2.8.	Diğer yazarlar ile deney çalışmalarının verilerinin karşılaştırılması (Ferrando [24]).....	15
Şekil 2.9.	Zamana bağlı ardışık sıvı hareketi (Chanson [3]).....	17
Şekil 2.10.	Boyutsuz Hava kabarcıklarının dağılım eğrisi (Chanson [3]).....	18
Şekil 2.11.	Boyutsuz Hava kabarcıklarının dağılım eğrisi (Chanson [3]).....	19
Şekil 2.12.	Boyutsuz hava-su hız dağılım eğrisi geçiş akımı için (Chanson [3]).....	20
Şekil 2.13.	Boyutsuz hava-su hız dağılım eğrisi sıçramalı akım için (Chanson [3]).....	20
Şekil 2.14.	Sıçramalı akımda türbülans yoğunluk dağılımı (Chanson [3]).....	21
Şekil 2.15.	Boyutsuz hava kabarcıkları ile türbülans yoğunluk dağılımları arasındaki ilişki (Chanson [3]).....	21
Şekil 2.16.	Basamaklı dolu savak boyunca meydana gelen akımlar (Boes ve Hager [1]).....	22
Şekil 2.17.	Eğimin bir fonksiyonu olarak ortalama hava konsantrasyonu eğrisi.....	26
Şekil 2.18.	Basamak pürüzlüğünün hidrolik yarıçapa oranının bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısının değişimi.....	27
Şekil 3.1.	New Croton barajı.....	29
Şekil 3.2.	Sıçramalı ve nap akımı.....	31
Şekil 3.3.	Wolwedans RCC baraj inşaatı –LASVEGAS.....	36
Şekil 3.4.	Sosnovsky barajı RUSYA -1980.....	37

Şekil 3.5.	Pilchowice barajı yerleşim planı.....	38
Şekil 3.6.	Pilchowice barajı dolusavak enkesiti.....	38
Şekil 3.7.	Les Olivettes Barajı- Fransa.....	40
Şekil 3.8.	Choctaw Barajı – ABD.....	40
Şekil 3.9.	Gold Creek Barajı.....	41
Şekil 3.10.	Stagecoach Barajı-ABD.....	41
Şekil 3.11.	Knellport Barajı.....	41
Şekil 3.12.	Tache Barajı.....	41
Şekil 3.13.	Goulburn barajı – Avustralya.....	42
Şekil 3.14.	Lahontan barajı-Nevada ABD.....	42
Şekil 4.1.	Deney Düzeneginin Kesiti.....	43
Şekil 4.2.	Debimetre.....	44
Şekil 4.3.	Mansap havuzu.....	44
Şekil 4.4.	Deney düzeneği.....	45
Şekil 4.5.	(a) Dikdörtgen enkesitli eşik, (b) Trapez enkesitli eşik.....	45
Şekil 5.1.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değişimi.....	48
Şekil 5.2.	Basamaksız klasik dolusavak.....	49
Şekil 5.3.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değişimi.....	50
Şekil 5.4.	Basamaklı dolusavak.....	51
Şekil 5.5.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değişimi.....	52
Şekil 5.6.	Eşik yüksekliği 2 cm olan basamaklı dolusavak.....	53
Şekil 5.7.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değişimi.....	55
Şekil 5.8.	Eşik yüksekliği 2cm bir basamağı dolu bir basamağı boş olan dolusavak.....	55
Şekil 5.9.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değişimi.....	57
Şekil 5.10.	Eşik yüksekliği 4 cm olan basamaklı dolusavak.....	57

Şekil 5.11.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	59
Şekil 5.12.	Eşik yüksekliği 4cm olan bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak.....	59
Şekil 5.13.	Nap akım örneği.....	60
Şekil 5.14.	Sıçramalı akım örneği.....	61
Şekil 5.15.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	62
Şekil 5.16.	Eşik yüksekliği 4cm den 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak.....	62
Şekil 5.17.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	64
Şekil 5.18.	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak.....	65
Şekil 5.19.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	67
Şekil 5.20.	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa, bir basamak boş ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak.....	67
Şekil 5.21.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	68
Şekil 5.22.	Sıçramalı akım örneği.....	69
Şekil 5.23.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	70
Şekil 5.24.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	71
Şekil 5.25.	Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değışimi.....	72
Şekil 5.26.	Havalanmayan bölge uzunluğu ile h_c / h ilişkisi.....	73

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 2.1.	Boes ve Hager [1] tarafından alınan deney setinin özellikleri.....	7
Tablo 3.1.	Dolusavak maliyetleri.....	39
Tablo 5.1.	Basamaksız klasik dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	47
Tablo 5.2.	Basamaksız klasik dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	48
Tablo 5.3.	Basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	49
Tablo 5.4.	Basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	50
Tablo 5.5.	Eşik yüksekliği 2cm olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	52
Tablo 5.6.	Eşik yüksekliği 2 cm olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	53
Tablo 5.7.	Eşik yüksekliği 2cm olan bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	54
Tablo 5.8.	Eşik yüksekliği 2 cm bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	54
Tablo 5.9.	Eşik yüksekliği 4cm olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	56
Tablo 5.10.	Eşik yüksekliği 4 cm olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	56
Tablo 5.11.	Eşik yüksekliği 4cm olan bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	58
Tablo 5.12.	Eşik yüksekliği 4 cm bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	58
Tablo 5.13.	Eşik yüksekliği 4cm den 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	61
Tablo 5.14.	Eşik yüksekliği 4cm den 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	61

Tablo 5.15.	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	63
Tablo 5.16.	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	64
Tablo 5.17.	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa, bir basamak boş ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri.....	66
Tablo 5.18.	Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa, bir basamak boş ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları.....	66

SEMBOLLER

a	hava-su spesifik alanı (1/m);
a_{ort}	ortalama hava-su spesifik alanı (1/m);
C	hava konsantrasyonu;
C_{ort}	ortalama hava konsantrasyonu : $(1 - Y_{90}) * C_{mean} = d$
D_H	hidrolik yarıçap (m); $D_H = 4*d*W/(W + 2*d)$ dikdögen bir kanal için;
D_t	türbülans yayılımı(m^2/s)
D_0	boyutsuzluk katsayısı
d	1- basamak kenarında normal eğimde ölçülmüş akım derinliği; 2- karakteristik derinliği (m): $d = \int_0^{Y_{90}} (1 - C) * dy$; 3- kanal boyu (m);
d_{cr}	kritik akım derinliği (m)
E	enerji yüksekliği (m)
F_{ab}	kabarcık içeriği
$(F_{ab})_{max}$	maksimum kabarcık içeriği
H	Toplam yük (m);
H_1	Hız derinliği (m)
H_2	Akım derinliği (m)
h	basamak yüksekliği (m) (dikey olarak);
l	basamak uzunluğu
κ	Van Karman sabiti;
H_{dam}	Baraj Yüksekliği (m)

q_w	Dikdörtgen kesitli kanalın birim genişliğinden geçen debi
K'	integrasyon sabiti
K^*	$K^* = \tan h^{-1}(\sqrt{0,10}) = 0,32745015...$
k_s	kavitasyon derinliği (m)
L_{cav}	kavitasyon uzunluğu (m),
N	hız-güç denklemi üst indisi
P	basınç (Pa);
Q	debi (m^3/s);
R	en kesit düzeltme katsayısı;
S_f	sürtünme katsayısı;
s	basamak yüksekliği
T	kabarcık dağılım zamanı (s);
Tu	türbülans dağılımı: $Tu = u'/V$
Tu'	karakteristik türbülans dağılımı
t, t'	zaman (s);
U_w	temiz su akım hızı (m/s) : $U_w = q_w/d$;
V	hız (m/s);
V_c	kritik hız (m/s); dikdörtgen kanallar için
V_{90}	karakteristik hız (m/s) hava konsantrasyonu 90%;
V_o	serbest akım hızı (m/s);
W	kanal genişliği (m);
Y_{90}	karakteristik derinlik (m) hava konsantrasyonu 90%;
y	1- mesafe (m) dolusavak tabanından dik olarak ölçülmüş mesafe; 2- mesafe (m) basamak kenarlarından akım yönüne dik olarak ölçülmüş.

1. GİRİŞ

Barajların dolusavaklarından bırakılan akımın enerjisinin sönümlenmesi için genellikle enerji kırıcı havuzlar veya sıçratma eşikleri kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle küçük barajların dolusavaklarından mansaba bırakılan akımın enerjisini sönümlemek için basamak tipli dolusavaklar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Basamaklı dolusavaklar, akımın enerjisinin büyük bir bölümünü dolusavak boşaltım kanalı boyunca sönümlediklerinden mansaptaki enerji kırıcı yapının boyutlarının ve maliyetinin azaltılması amacı ile kullanılmaktadır. Bu tip dolusavaklar daha çok uygulama kolaylığı bakımından RCC (silindirle sıkıştırılmış beton) barajlarda ve uygulama birim debisi $q = 15-20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'\text{ye}$ kadar olan dolusavaklarda kullanılmaktadır. Basamaklı dolu savakların uygulanmasındaki esas amaç, enerji sönümlenmesinin optimizasyonu ve yapının kabul edilebilir bir işletme ömrüne sahip olmasıdır.

Oldukça pürüzlü veya basamaklı bir yüzeyden geçen akımın enerjisi büyük oranda sönümlenmektedir. Basamaklı dolusavak boşaltım kanalındaki basamaklar akım enerjisinin büyük bir kısmını basamaklar boyunca tedricen sönümlenmesini sağlayarak, mansaba yapılacak enerji kırıcı yapının boyutlarını önemli ölçüde azaltmaktadırlar. Basamak tipli enerji kırıcı uygulamaların 3500 yıldan beri kullanıla geldiği bilinmektedir.

Yeni inşa tekniklerin uygulanmaya başlanmasıyla ve yapım tekniğindeki gelişmeler sonucunda basamaklı dolusavaklara olan ilgi daha da artmıştır. Bu tip dolusavakların tasarımında oldukça dikkatli olunması zorunludur. Bu nedenle bunların tasarımında deneysel olarak hidrolik laboratuvarlarında ve bilgisayarlarda nümerik olarak basamaklı dolusavakların hidroliği araştırılmış ve projelendirilmesi ilgili kriterler sunulmuştur.

Dolusavak boşaltım kanalı boyunca yerleştirilen basamaklar mansapta ihtiyaç duyulan enerji kırıcı havuzun boyutlarını azaltarak ekonomik fayda sağladıkları gibi havuzun yerleştirilmesinde ortaya çıkan yer yetersizliği sorununa da çözüm getirmeleri açısından da avantaja sahiptirler.

Basamaklı kanallar, arıtma tesislerinde akımın havalandırılması ve oksijen transferi amacıyla da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada basamaklı dolusavakların enerji sönümleme oranları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla ulaşmak için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrolik Laboratuvarında bir deney düzeneği kurulmuştur.

Bu çalışmada enerji sönümlleme oranlarını tespit etmek için birçok alternatif üzerinden bir dizi deneyler yapılmıştır. Bu çalışmanın asıl amacı, boşaltım kanalı üzerinde en iyi enerji sönümlleme tipini belirlemektir. Bu amaçla eşikli basamaklı tipler kullanılmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Aşağıda hidrolik yapılardaki basamaklı dolusavaklar hakkında yapılmış olan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Boes ve Hager [1] “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.

Chanson ve Toombes [2] “Basamaklı bir dolusavakda sıçramalı ve geçiş akım şartlarında hava girişinin deneysel araştırmaları” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada nap, geçiş ve sıçramalı akımlar için büyük bir deney setinde hız, akım derinliği, hava kabarcık oranları, sürtünme katsayısı gibi parametrelerin değişim miktarları üzerine araştırmalar yapmışlardır.

Chanson [3] “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 dolusavakda ki farklılıklar araştırılmıştır.

Rice ve Kadavy [4] “RCC barajlardaki basamaklı dolusavaklarda model çalışmaları” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Fiziksel model çalışmaları RCC barajlarda dizayn kolaylığı ve hidrolik performans bakımından basamaklı dolusavakların önerilebilecek iyi bir çözüm olduğunu göstermiştir.

Yasuda ve Takahashi [5] “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.

Tatewar, Porey ve Ingle [6] “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 [7] “Basamaklı dolusavaklarda oluşan nap, geçiş veya sıçramalı akımın önceden tahmini” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada sıçramalı akım hallerinde basit bir analitik metot elde edilmeye çalışılmıştır. Bu metot basamak sonlarındaki akım jetinin çarpmalarındaki momentum yönlerinin değişimine dayanmaktadır.

Robinson, Rice ve Kadavy [8] “RCC barajların basamaklı dolusavaklarında enerji sönümlenmesi” hakkında bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada RCC barajlarda basamaklı düşüler çok uygun bir çözüm olduğundan Randleman Barajı’nın 1/40 ölçeğinde modeli teşkil edilerek iki boyutlu akım hali için optimum basamak yüksekliği ve enerji sönümlenmesi miktarı normal dolusavaklarla mukayese edilmiştir.

Yasuda [9] “Basamaklı düşülerde sıçramalı akım karakteristiklerinde basamak kavitasyon alanı” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada basamakların şekli ve büyüklüğünün akım koşullarında basamak aşınmalarına, enerji sönümlenmesine, basınç şiddeti ve dağılımına etkilerini araştırmışlardır.

Boes [10] “Basamaklı dolusavaklarda enerji sönümlenmesi ve iki safhalı akım” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada farklı eğimlerde farklı basamak yükseklikleri dikkate alınarak hava giriş noktalarının tayini, kavitasyon riski olmaksızın maksimum birim debinin miktarı, enerji sönümlenme karakteristiklerinin üzerine bir araştırma yürütmüşlerdir.

Boes [11] “İki safhalı eşikli akımda fiziksel model çalışmaları” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada iki safhalı serbest yüzeyli akımların araştırılması için yeni bir deneysel yaklaşım yapılmıştır. Çalışma sunucunda basamaklı dolusavakların pürüzsüz dolusavaklara nispeten daha çok enerji sönümleme karakterine sahip oldukları anlaşılmıştır.

Boes [12] “İki safhalı basamaklı dolusavak akımı modelinde ölçek tesirleri” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada Reynold ve weber sayılarının limit değerleri hava konsantrasyon ve karışım hızını etkilediklerinden bu etkilerin en az olduğu değerler tayin edilmiştir. Standart basamak yüksekliğinin 0,6 m olması halinde minimum ölçek faktörünün 10 veya 15 olması gerektiği bulunmuştur. (Tablo 2.1.).

Yasuda ve Ohtsu [13] “Basamaklı kanal düşülerinde dalış karakteristikleri” hakkında bir çalışma yürütmüşlerdir.

Boes ve Hager [14] “Basamaklı dolusavaklarda iki safhalı akım karakteristikleri” hakkında bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada basamaklı dolusavaklarda iki safhalı hava-su akımlarında minimum dolusavak boyutunun nasıl meydana gelebileceği araştırılmış bunun gerçekleşebilmesi için weber ve reynold sayılarının asgari değerlerine indirgenmesinin gerekli olduğu görülmüştür.

Minor ve Hager [15] “Basamaklı dolusavakların hidroliği” hakkında bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada özellikle sıçramalı akımlar için basamaklı dolusavakların tasarımı model çalışmaları için iki farklı düşü eğimi geliştirilmiştir.

Tatewar ve Ingle [16] “Eğik basamaklı dolusavaklarda nap akımı” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada eğik basamaklı dolusavaklar üzerindeki nap akım rejiminin enerji sönümlenmesi için bir metot önerilmiştir. Yapılan analizde basamak eğiklik açısının etkileri araştırılmıştır.

James, Main ve Moon [17] “Basamaklı düşülerde enerji sönümlenmesinin artırılması” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada alternatif akım kırıcılara göre dik basamaklı dolusavakların enerji sönümlenmesinde ki rolü ve geometrisi araştırılmıştır. V şekilli basamakların enerji sönümlenmesini artırabileceği görülmüştür.

Pinheiro ve Relvas [18] “Dolgu barajlar üzerinde geleneksel olmayan dolusavaklar” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada dolgu barajlar üzerinde yapılabilecek olan dolusavaklar ve bunların maliyet analizleri üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Pinheiro ve Fael [19] “Basamaklı dolusavaklarda nap akımı oluşumu ve enerji sönümlenmesi” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı dolusavak eğimlerinde meydana gelecek olacak toplam enerji yükünün miktarı ve bunun basamaklı bir dolusavakla ne kadar bir kısmının sönümlenebileceğinin tespiti hakkında bir deneysel çalışma yapılmıştır.

Chamani ve Rajaratham [20] “Basamaklı dolusavaklar üzerindeki sıçramalı akım karakteristikleri” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada büyük bir basamaklı dolusavak modelinde farklı iki eğimde ve değişik (y_c / h) oranlarında dolusavakta gelişen sıçramalı akım karakteristiklerinin çalışıldığı bir laboratuar deney çalışması yapılmıştır.

Pegram, Mottram [21] “Basamaklı dolusavak modellerinde sıçramalı akım hidroliği” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı eğimler ve basamak yükseklikleri altında sıçramalı akım koşullarında basamaklı dolusavakta meydana gelebilecek etkiler araştırılmıştır.

Chanson [22] “Basamaklı düşülerde nap ve sıçramalı akım koşullarında enerji sönümlenmesinin karşılaştırılması” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada farklı dolusavak boyutlarında ve akım şartlarında enerji sönümlenme karakteristikleri saptanmış ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Büyük savaklarda sıçramalı akımlarda ve küçük savaklarda nap akımı koşullarında kinetik enerji sönümlenmesinin maksimum olduğu görülmüştür.

Chamani ve Rajaratham [23] “Basamaklı dolusavaklarda sıçramalı akım başlangıcı” hakkında bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada basamaklı dolusavakta meydana gelecek olan sıçramalı akımın önceden tahmini için bir denklem verilmektedir.

Ferrando [24] “Basamaklı dolusavaklarda havalandırılmalı akım başlangıcı” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada üniform pürüzlülük, eğim açısı ve verilen debinin değeri için

dikdörtgen bir düşüde havalanma noktasının başlangıcının tayini konusunda bir deneysel çalışma yürütülmüştür.

Rogala ve Redowicz [25] “Pilchowice barajının iyileştirilmesi” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Pilchowice barajının iyileştirme problemleri anlatılmıştır.

Chanson [26] “Basamaklı dolusavakların hidrolik tasarımı ve mansap enerji kırıcıları” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada modern basamaklı dolusavaklar yeniden gözden geçirilmiş ve temel akım koşulları tanıtılmıştır. Sıçramalı akımlarda serbest yüzeyli havalanma için yeni formüller geliştirilmiştir.

Matos ve Frizell [27] “Dolgu barajlarda dolusavak kapasitesinin artırılmasında basamakların rolü” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada dolgu barajlar üzerindeki basamaklı dolusavakların hidrolik tasarım verileri ve özel proje detayları konusunda bir araştırmaya yapılmıştır.

Matos, Frizell ve Pinheiro [28] “Dolgu barajlar için beton basamakların akıma karşı korunması ve dizaynı” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada basamaklı dolusavaklarda akım mukavemeti, ilave edilecek olan beton blokların şekli ve stabilitesi tartışılmıştır.

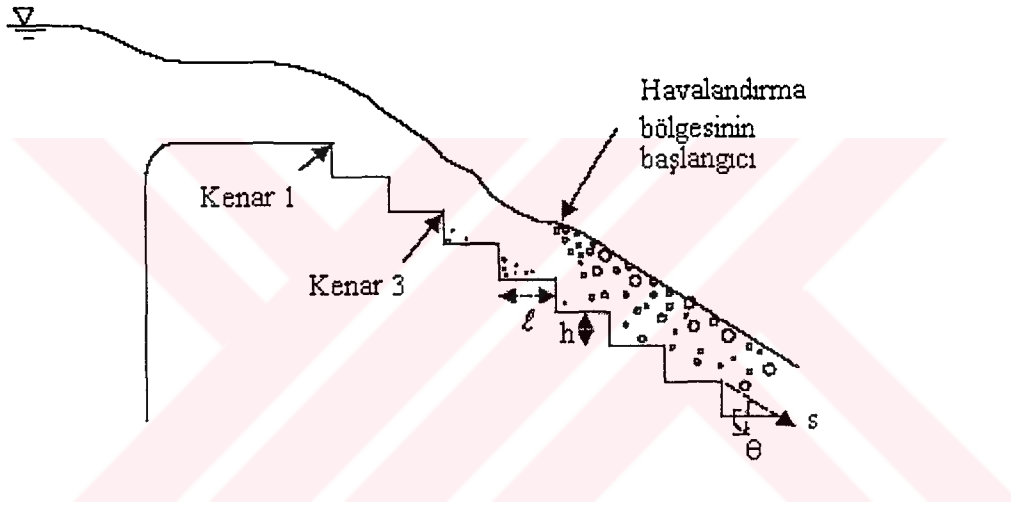
Kaş [29] “Basamaklı dolusavaklar da akım ve enerjisinin sönümlenmesi” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada boşaltım kanalı taban eğim açısının ve basamak geometrisinin akım karakteristiklerine etkisi araştırılmış olup kanal taban eğim açısı ve basamak geometrisi arasındaki optimum ilişki deneysel olarak bulunmuştur.

Deneyler genişliği $b = 0,50$ m, uzunluğu $L = 5,70$ m olan bir prizmatik dikdörtgen kanalda yapılmıştır. Tabanın yatay θ açısı 30° , 40° , 50° derece bir başka deyişle eğimi (düşey/yatay) (1/1.73, 1/1.19, 1/0.84) olarak alınmıştır.

Basamak yüksekliği, $s = 23.1$ mm, 46.2mm ve 92.4 mm olmak üzere üç farklı yükseklikler alınmıştır. $\theta = 30^\circ$ için $s=23.1$ mm, $\theta = 50^\circ$ için $s=92.4$ mm test edilmiş ve $\theta = 40^\circ$ için de $s=46.2$ mm alınmıştır. Yapılmış olan bu deneylerde dolusavak boyunca taban eğiminin ve basamak genişliğinin sabit olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 2.1. Boes ve Hager[1] tarafından alınan deney setinin özellikleri

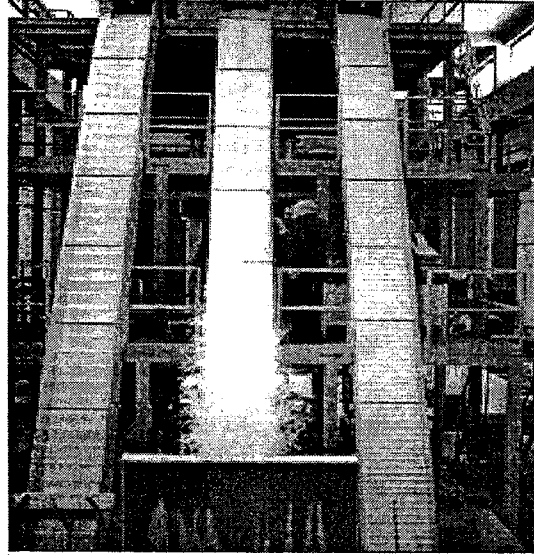
θ [°]	Eğim [V:H]	s [m]			
		0.3	0.6	0.9	1.2
30	1:1.73	8.3	23.4	43.1	66.3
40	1:1.19	15.2	42.9	78.7	121.2
50	1:0.84	17.4	49.2	90.4	139.2



Şekil 2.1. Deney kesiti (Boes ,2003)

Bütün sonuçları verilecek olan bu çalışmalar standart basamaklı dolusavaklar için gelecekte referans teşkil edecektir. Çünkü Boes ve Hager[1]'e göre dolusavak kret'inin hayali konumu genel dolu savak denkleminin analitik olarak çözümlenmesiyle anlaşılır. Bu denklemler dolu savak profilinin datalarına uygun olarak kabul edilir.

Dış basamağın ağız enkesitinin seçiminde hem akım hızı hem de hava konsantrasyonu ölçümleri için iki tip fiber optik sonda kullanılmıştır. Bu temel fiziksel ölçümler havanın ve suyun farklı optik kırılma indekslerinin altında ve üstünde yapılmıştır. Deney tertibatının şekil ve detaylı açıklaması 2003 yılında Boes ve Hager [1] tarafından verilmiştir. (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Boes ve Hager [1] tarafından hazırlanmış deney düzeneği

Basamaklı dolu savaklarda üç farklı akım rejimi oluşmaktadır. Bunlar Nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akımdır.

Genellikle nap akımı düşük debi ve büyük basamaklarda meydana gelmektedir.

Naptan sıçramalı akıma geçiş kritik derinliğin basamak yüksekliğe oranı ile izah edilebilir. Nap Akımından Sıçramalı Akıma geçiş için Boes ve Hager [1] aşağıdaki formülleri önermişlerdir.

$$\frac{h_c}{s} = 0.91 - 0.14 \tan \theta \quad (1)$$

Burada,

h_c : kritik derinlik

s : basamak yüksekliğidir.

Nap akımı $\frac{h_c}{s} = 0,20$ ve $\theta = 34^\circ$ Urft Barajı basamaklı dolusavağın da 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 [6] 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 spesifik enerji gözlenirken dolusavak üzerindeki enerji kırılımı görülmüş ve enerji dağılımının varyasyonu ile basamak yüksekliği çalışmaları için bütün debi değerleri daima göz önünde tutulmuştur. Bütün bu çalışmalar sonucunda basamak yüksekliği arttıkça enerji sönümlenmesinin de belirli maximum bir değere kadar arttığı yazarlar tarafından gözlenmiştir.

$$(\Delta E/E)_{\max} = f(h_o/H, y_c/H, S) \quad (2)$$

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 ($m^3/sn/m$)

$$(\Delta E/E)_{\max} = K + a((h_o/H) + b(y_c/H) + c.S)) \quad (3)$$

$$\frac{\Delta E}{E} = 1 - \frac{(1-\alpha)^N \left[1 + 1,5(y_c/h) + \sum_{i=1}^{N-1} (1-\alpha) \right]}{N + 1,5(y_c/h)} \quad (4)$$

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

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

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

b) Grafiksel Metot

$(\Delta E/E)_{\max}$ in 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 $q = 0,0708 \text{ m}^3/\text{s}$
- b.) Dolusavak mansap eğimi $s = 0,842$
- c.) Toplam dolusavak yüksekliği $H = 8 \text{ m}$

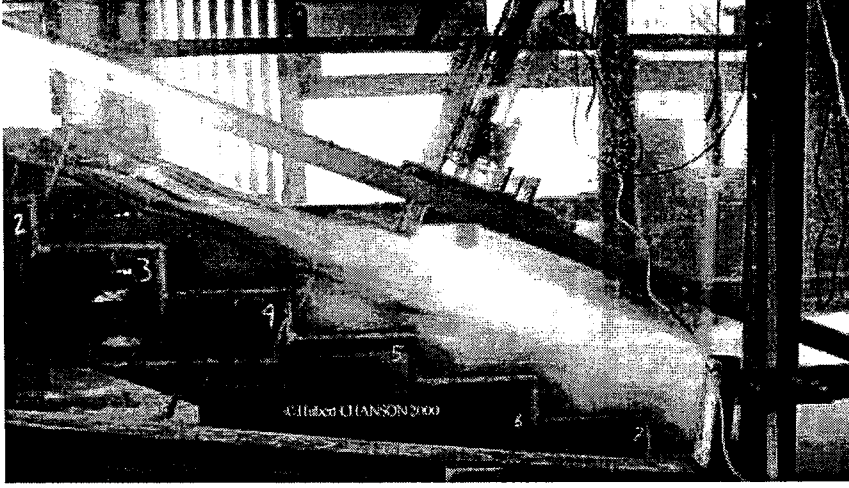
Tatewar, Porey ve Ingle [6]'ye göre h_o in yaklaşık değeri 0,50m civarındadır. Matematiksel metot da ilk yaklaşım değeri olarak $h_o = 0,44 \text{ m}$ ve grafiksel metot da $h_o = 0,47 \text{ m}$ olarak alınmıştır.



Şekil 2.3. Nap akımı fotoğrafı (Chanson [3])

Sıçramalı akım rejimi için, basamağa göre enerji sönümlemesi 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 [3], James, Main ve Moon [17] tarafından yapılmış enerji sönümlemesi 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 [3] bir dizi araştırmalar yapmıştır [3].



Şekil 2.4. Sıçramalı akım fotoğrafı (Chanson [3])

Mansabın serbest yüzeyli havalandırma noktasının başlangıcı bir hızlı serbest yüzey havalandırması olarak gözlenmiştir. Hava konsantrasyonunun dağılımı özellikle basamak kenarlarında ölçülmüş ve sürekli pürüzsüz bir profil gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar şekil 2.5. de gösterilmiş ve hava kabarcık dağılım denkleminin analitik çözümü yapılmıştır.

$$C = 1 - \tan h^2 \left[K - \frac{\frac{y}{Y_{90}}}{2 * D_0} + \frac{(\frac{y}{Y_{90}} - \frac{1}{3})^3}{3 * D_0} \right] \quad (5)$$

Burada ;

C : konsantrasyon

y : ölçülmüş mesafe

Y_{90} : c= 90 % için karakteristik mesafe

k : integrasyon sabiti

D_0 : ortalama hava konsantrasyonunun bir fonksiyonu

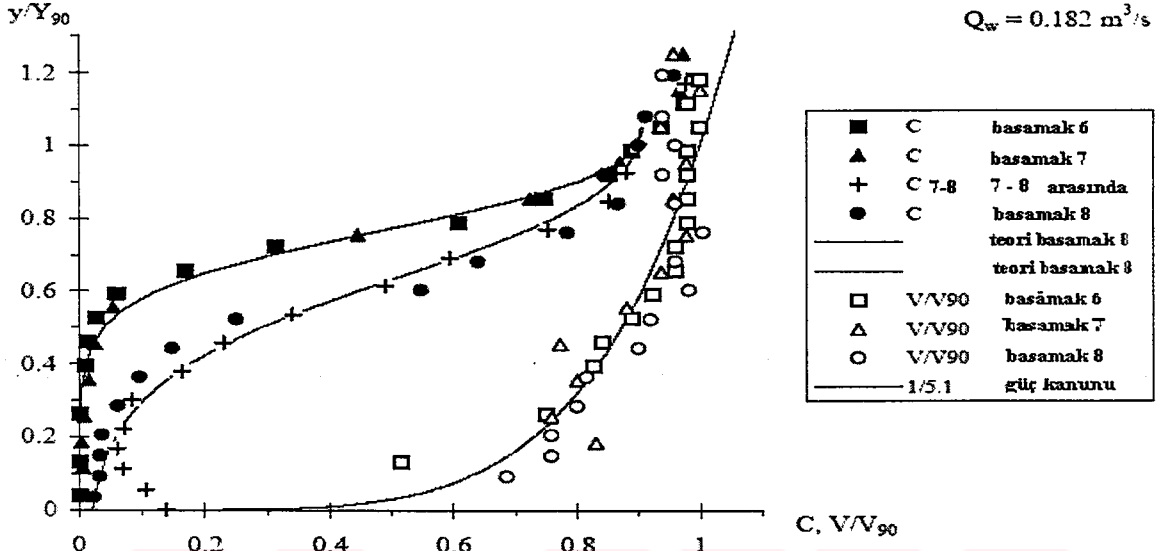
Güç Kanunu:

$$\frac{V}{V_{90}} = \left(\frac{y}{Y_{90}} \right)^{1/N} \quad (6)$$

Burada: V_{90} : karakteristik hız C= 90 % için.

$N : 5,1$ ile $6,0$ arasında bulunan bir değer

$d_c/h = 1,5$ olarak alınır.



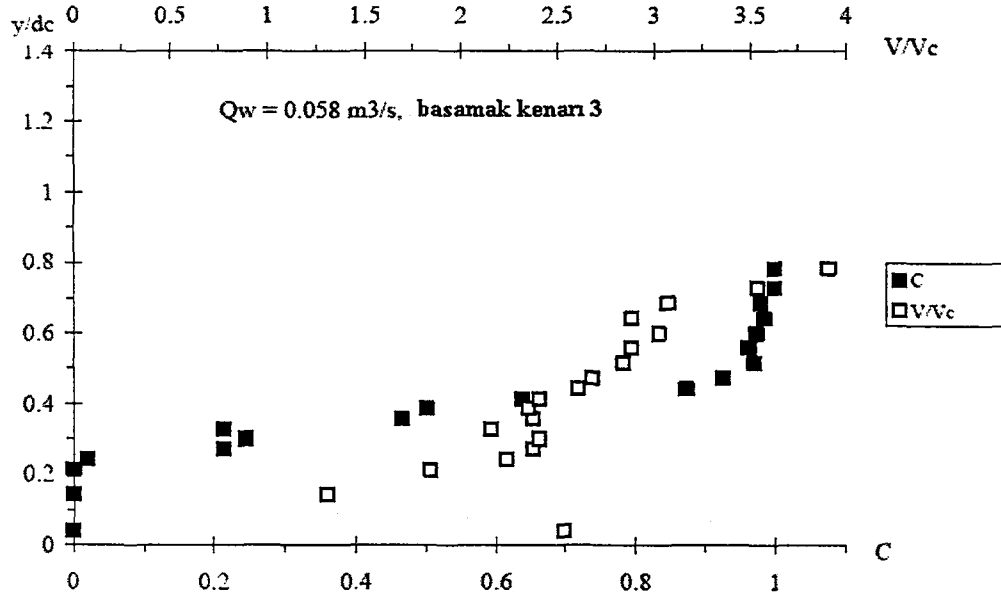
Şekil 2.5. Altıncı Basamak membasında serbest yüzey havalanma başlangıcı (Chanson,2001)

Geçiş akımında hava-su dolaşım özellikleri ile ilgili olarak Chanson'un yaptığı araştırmaya göre serbest yüzeyli havalandırma bütün geçiş akımı değerleri için oldukça etkili olarak saptandı. Mansabın serbest yüzeyli havalandırma noktasının başlangıcındaki ortalama hava konsantrasyonunun tipik değeri $0,20$ de $0,60$ 'a kadardır. Birinci kenarındaki maksimum ortalama hava içeriği $\% 78$ olarak ölçülmüştür. Ardışık basamak kenarlarında ana hava dağılımı ve hız çok yakinen gözlenmiştir. Şekil 2.6 , hava-su dolaşım özelliklerinin tipik bir oranını göstermektedir[3].

Bütün basamak kenarlarındaki hava konsantrasyon oranı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$C = K * \left(1 - \exp\left(-\lambda * \frac{y}{Y_{90}}\right) \right) \quad (7)$$

Burada; K ve λ ortalama hava içeriğinin bir fonksiyonudur.

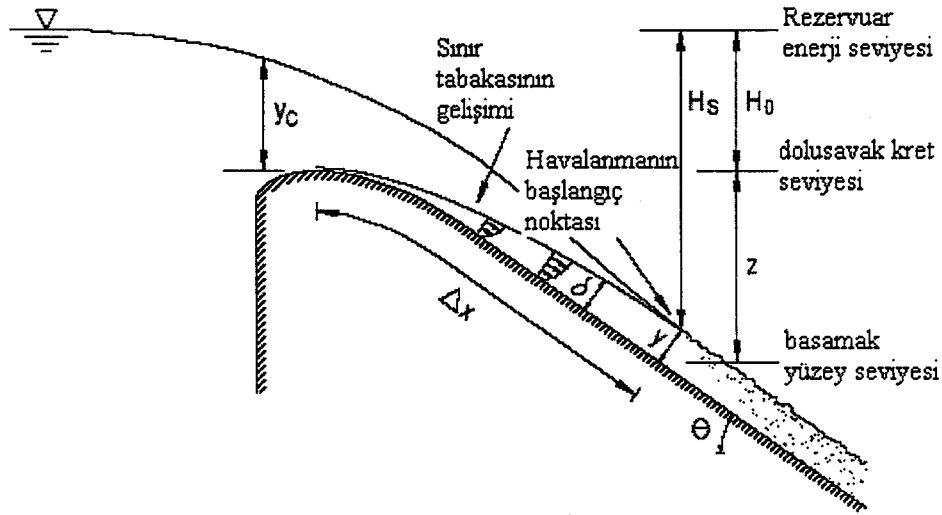


Şekil 2.6. Hava konsantrasyonu ve hız dağılım eğrisi (Chanson, 2001)

Basamaklı dolu savaklarda kendiliğinden yeni başlamış havalandırma akımı ile ilgili bir çalışma Ferrando [24] tarafından yapılmıştır bu çalışmaya göre, bir Δx konumu vasıtasıyla havalanmanın meydana gelmeye başladığı başlangıç noktası tayin edilebilir. Akım yüzeyine ve su gövdesinin içerisine havanın girmeye başladığı kanalın ters yüzü boyunca çeşitli inceleme ve ölçümler yapılmıştır. Bu bölge aynı zamanda kendiliğinden havalanmanın doğal olarak geliştiği başlangıç bölgesi olarak da isimlendirilir.

Bu konu ile ilgili ilk yaklaşımlar gösterir ki genel bir kural olarak; gelişmek de olan sınır tabakasının serbest yüzeyli akıma ulaştığı yer doğal havalandırmanın başlangıcıdır. O zaman söylenebilir ki sınır tabakasının kalınlığı normal kanal tabanı için ölçülmüş olan akım derinliğine eşittir. Ancak bu kural düşük eğimli kanallar için geçerli olmamaktadır. Gerçekten kendiliğinden gelişen havalandırmanın başlangıç noktası tayin edilmek isteniyorsa ki bu noktada akım yüzeyine kadar ulaşan taban kesme kuvvetleri vasıtasıyla türbülans oluşmaktadır.

Ferrando [24] kanal kesitindeki sınır tabakasının başlangıç ve gelişiminin direkt olarak tayin edilebildiğini göstermiştir(Şekil 2.7). Ferrando [24] tarafından başlangıç noktasının tayini için ilginç bir metot önerilmiştir. Bu metot kayıp katsayısı, eğriler ve reynold sayısının da kullanıldığı bir yöntemdir.



Şekil 2.7. Ana parametreler ve havalanmanın başlangıç noktasının yeri (Ferrando [24])

$$\frac{\delta}{\Delta x} = 0.0212 \left(\frac{\Delta x}{H_s} \right)^{0.11} \left(\frac{\Delta x}{K_s} \right)^{-0.10} \quad (8)$$

$$H_s = H_0 + z - y \cdot \cos \theta \quad (9)$$

Burada; δ : sınır tabakası kalınlığı

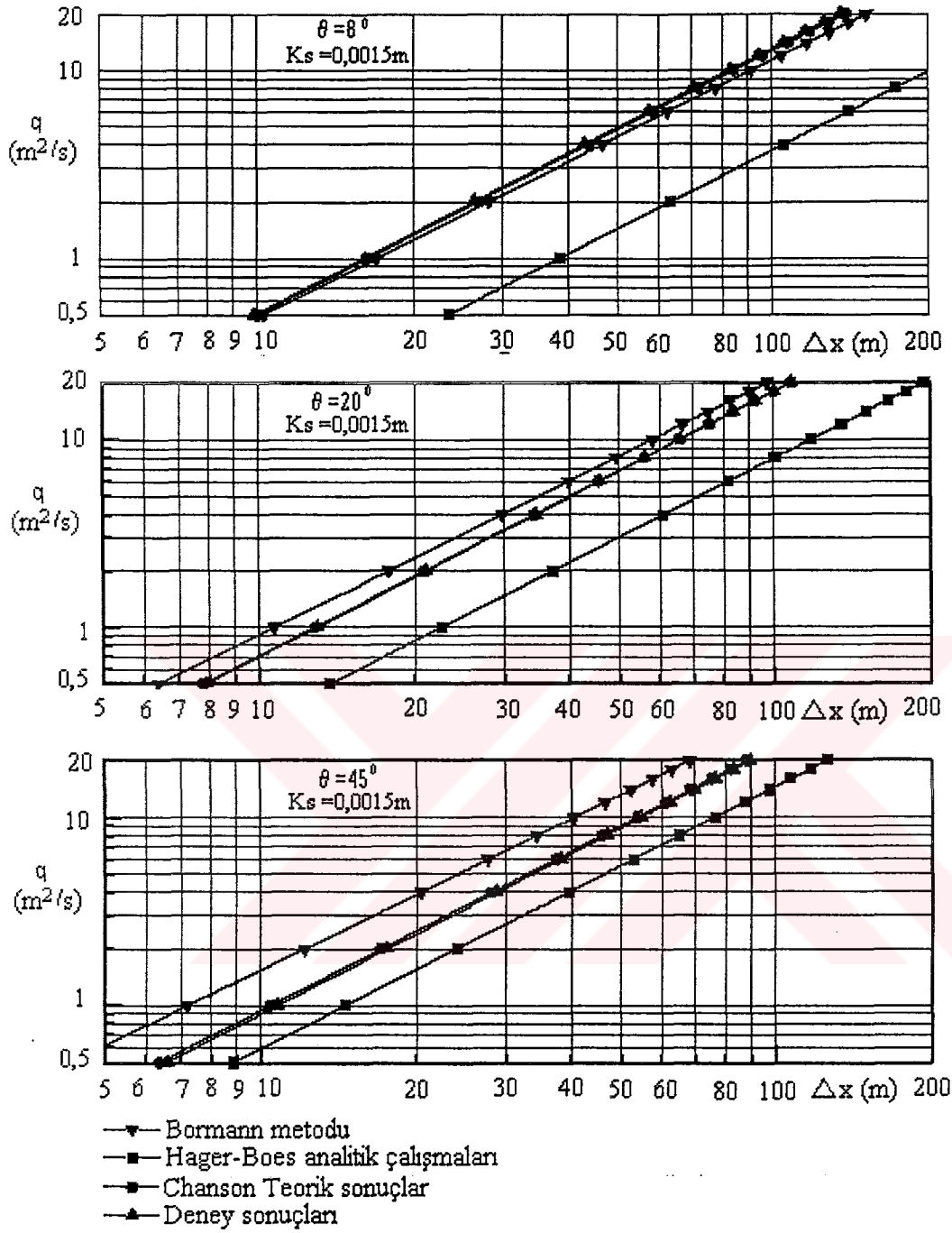
H_s : enerji yükü

K_s : üniform pürüzlülük katsayısı

$$\Delta x = \left(\frac{q}{0.05642 \cdot K_s^{0.056} (\sin \theta)^{0.34}} \right)^F \quad (10)$$

Burada F üst indisi aşağıdaki gibi formülize edilebilir.

$$F = \left(1.46443 \cdot K_s^{0.0054} (\sin \theta)^{0.0027} \right)^{-1} \quad (11)$$



Şekil 2.8. Diğer yazarlar ile deney çalışmalarının verilerinin karşılaştırılması (Ferrando [24])

Şıçramalı akımlarda kavitasyon çevrimi çalışmaları Chanson], tarafından yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

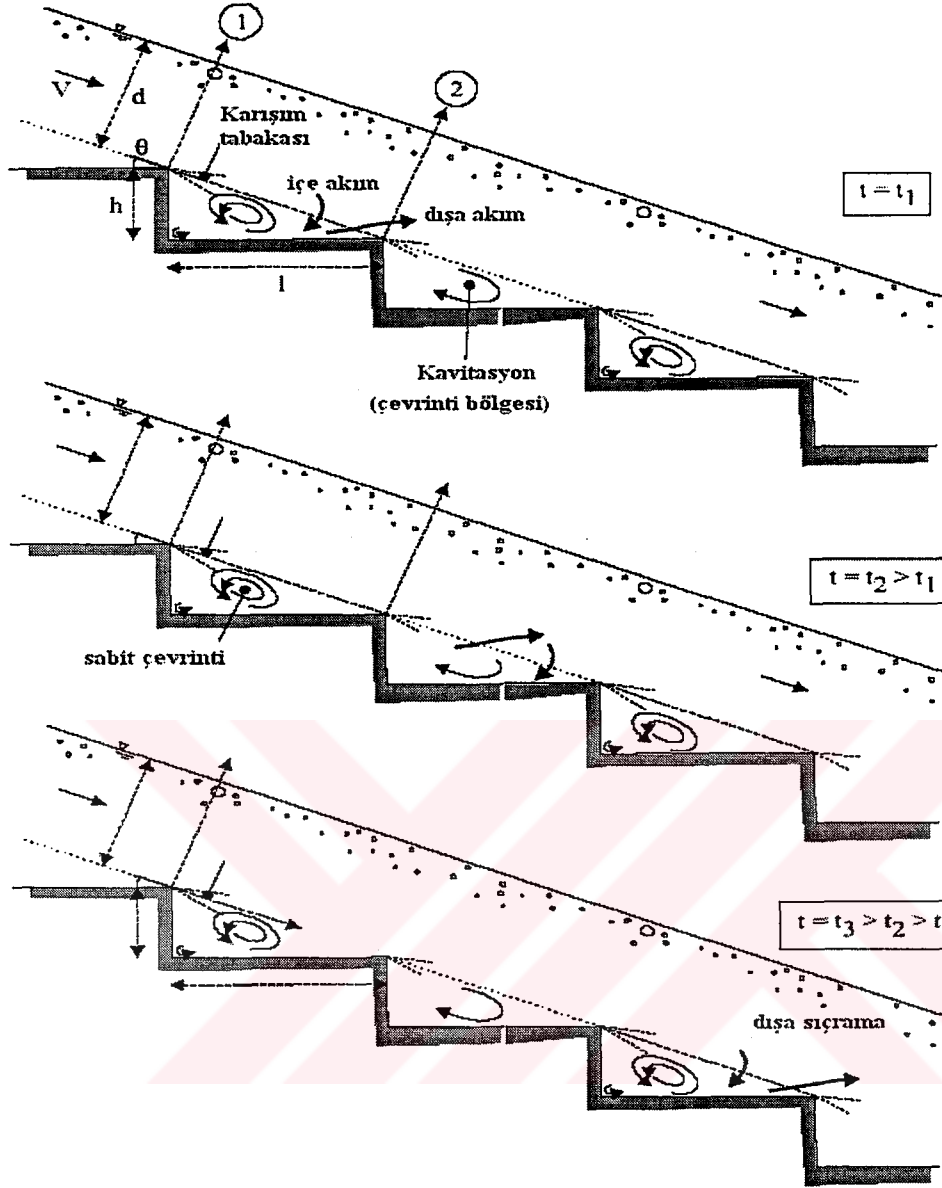
Sıçramalı akımlarda üç boyutlu yani enine, boyuna ve dikine kavitasyon çevrimi her bir basamak için gözlenmiştir. Çevrim vortexleri mansabın başlangıç noktasının yanından itibaren

hava kabarcıklarının girmeye başladıkları yerden itibaren gözlenmiştir. Ana akım kavitasyon akımındaki permanent olamayan momentum denklemi vasıtasıyla karakterize edilebilir.

Değişik zamanlardaki çevrinti akımı ana akımın içine doğru yerleşir. Şekil 2.9'da Chanson, basamaklardaki farklı zamanlara göre olan kavitasyonu göstermektedir. Üst ve alt zaman ölçekleri arası farkın çok az olduğu kabulü yapılır. Yatay basamaklı geniş düşüler için boyutsuz kavitasyon sıklığının şiddeti aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir[3].

$$\frac{F_{ej} * (h * \cos \alpha)}{U_w} \cong \frac{f}{5} \quad (12)$$

Burada ; U_w : ana akım hızı (m/sn)
f : Darcy sürtünme katsayısı
h : basamak yüksekliği (m)
 α : taban eğimi dir.



Şekil 2.9. Zamana bağlı ardışık sıvı hareketi (Chanson,2001)

Şekil 2.10 ve 2.11, kabarcık miktarlarının boyutsuz olarak dağılımını göstermektedir[3]. Bu değer denklem 12 ile ifade edilmiştir.

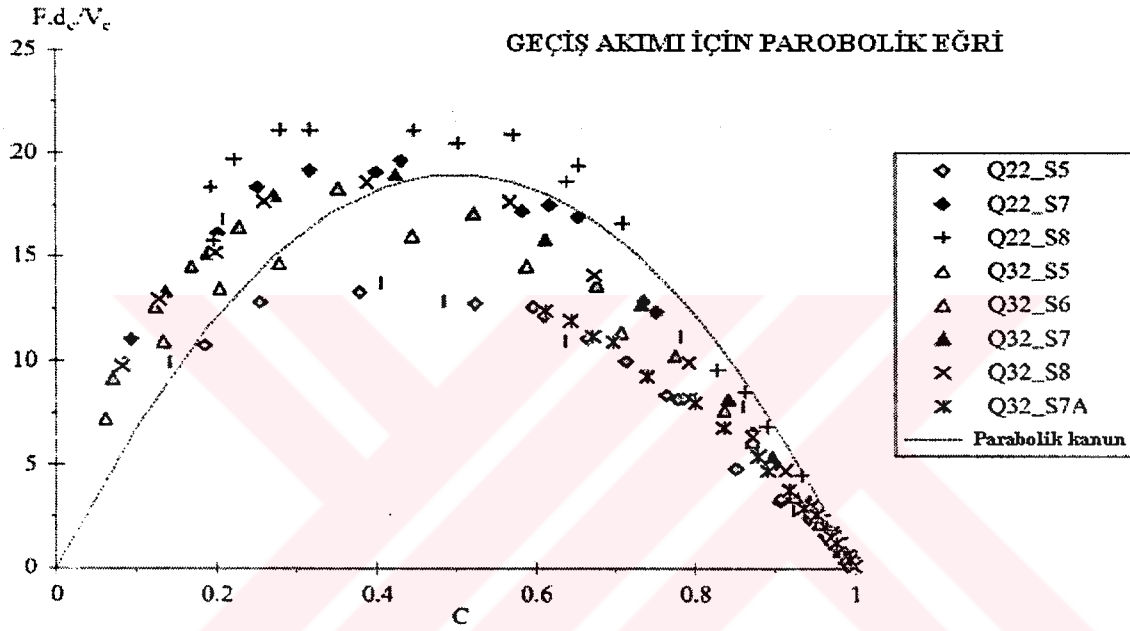
$$\frac{F^* d_c}{V_c} \quad (13)$$

Burada; V_c : Kritik hız (m/sn) ve dikdörtgen kanallar için $V_c = (g \cdot d_c)^{1/2}$ olarak hesaplanır.

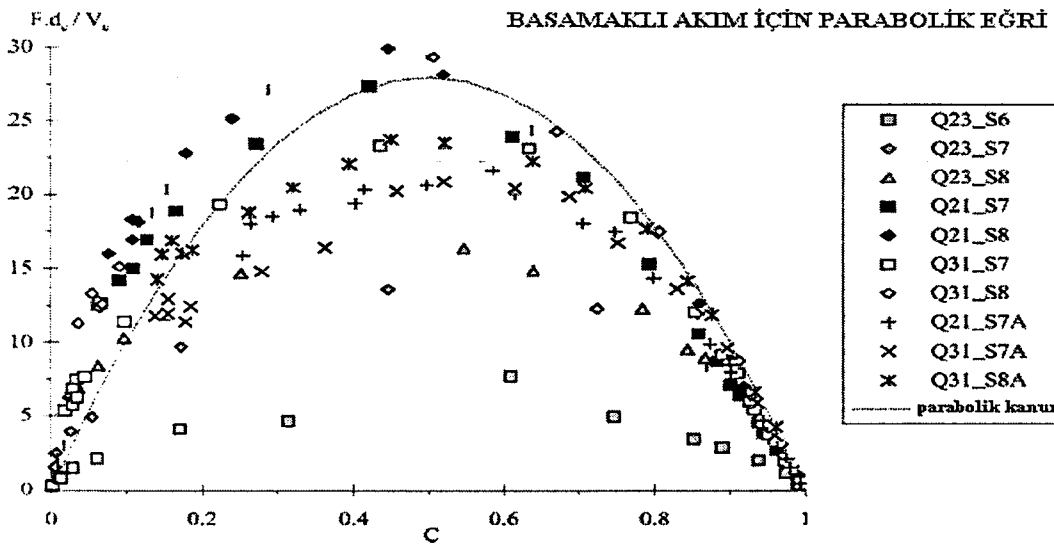
$$\frac{F}{F_{\max}} = 4 * C(1 - C) \quad (14)$$

Veriler aşağıda parabolik eğriler ile mukayese edilmiştir. Burada; $F_{\max}$, $C = \% 50$ için maksimum kabarcık frekansı, F frekans ve C konsantrasyondur.

Geçiş akımı ve sıçramalı akım için çizilen böyle bir parabolik bağıntı açık kanal akımlarında, hidrolik sıçramalarda ve jet akımlarında da gözlenmektedir.



Şekil 2.10. Boyutsuz Hava kabarcıklarının dağılım eğrisi (Chanson [3])



Şekil 2.11. Boyutsuz Hava kabarcıklarının dağılım eğrisi (Chanson [3])

Hava-su hızı ve hız salınım profilleri ile ilgili formüller Chanson, tarafından verilmiştir. Buna göre hava-su hız dağılımları şekil 2.12. ve 2.13 de ortalama hız ve türbülans şiddeti T_u ile ifade edilmektedir. Geçiş akımlarındaki hız ölçümleri basamak kenarında yapılmıştır.

$$\frac{V}{V_{\max}} \cong 0.85 + 0.075 \left(\frac{y}{Y_{90}} \right) \quad (15)$$

Burada; $V_{\max}$: maksimum hız (m/ sn)

y/Y_{90} :1,60 – 2,00 arasında gözlenmiştir.

Şekil 2.11 ile teorik bir karar verilememiş sadece kaba bir dağılım olduğu gözlenmiştir. Geçiş akımları nispeten küçük su derinliklerinde ve pürüzsüz basamak yüksekliklerinde karakterize edilir. Örneğin;

$$\frac{d}{(h * \cos \alpha)} < 0.4 \quad (16)$$

için geçiş akımı görülür.

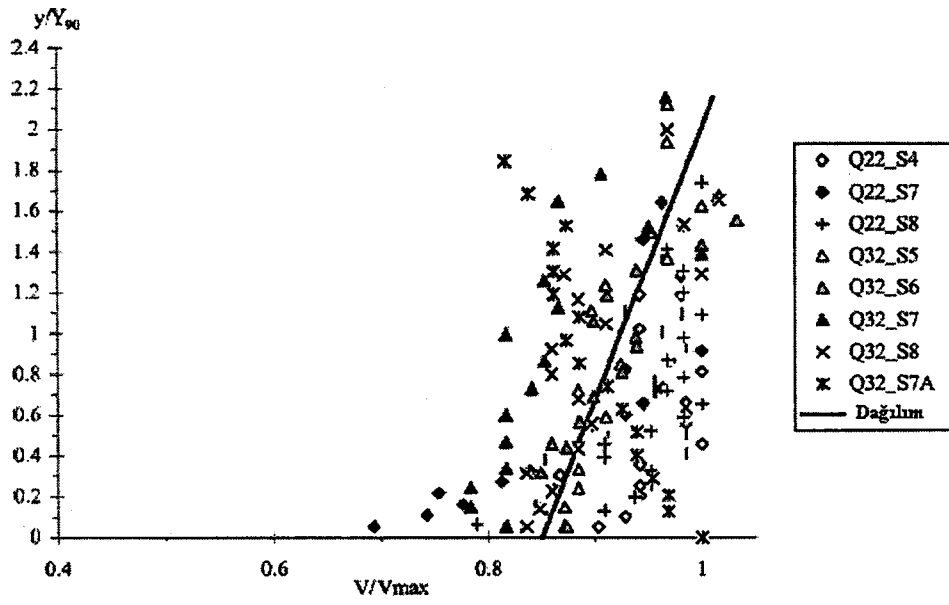
Burada; d: eşdeğer temiz su derinliği (m)

α : eğimdir.

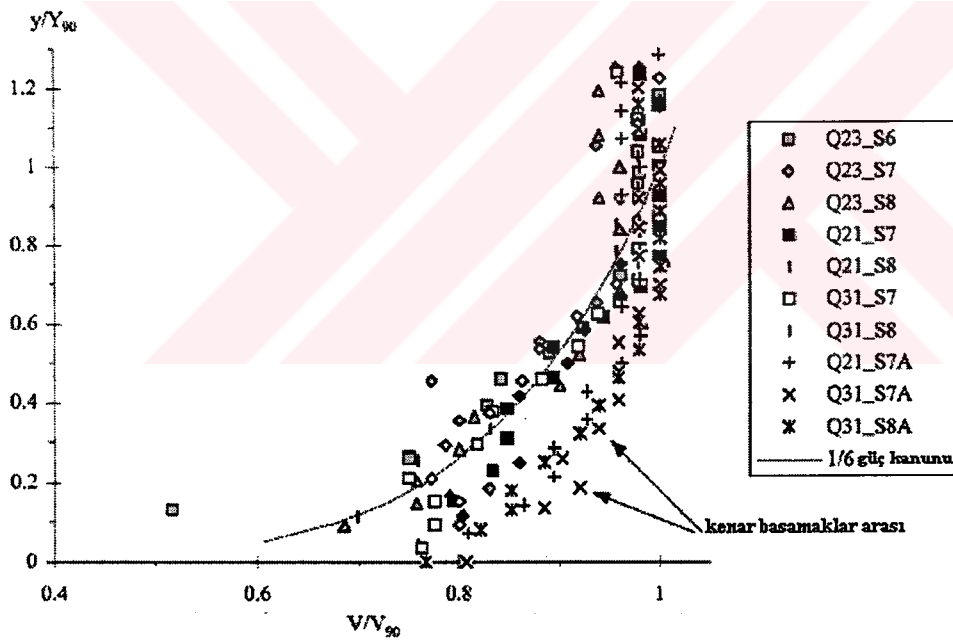
Sıçramalı akımlarda kenar düşümler de ölçülen hız değerleri güç kanununun uygulanmasıyla aşağıda verilen eşitlikle elde edilir.

$$\frac{V}{V_{90}} = \left(\frac{y}{Y_{90}} \right)^{1/6} \quad (17)$$

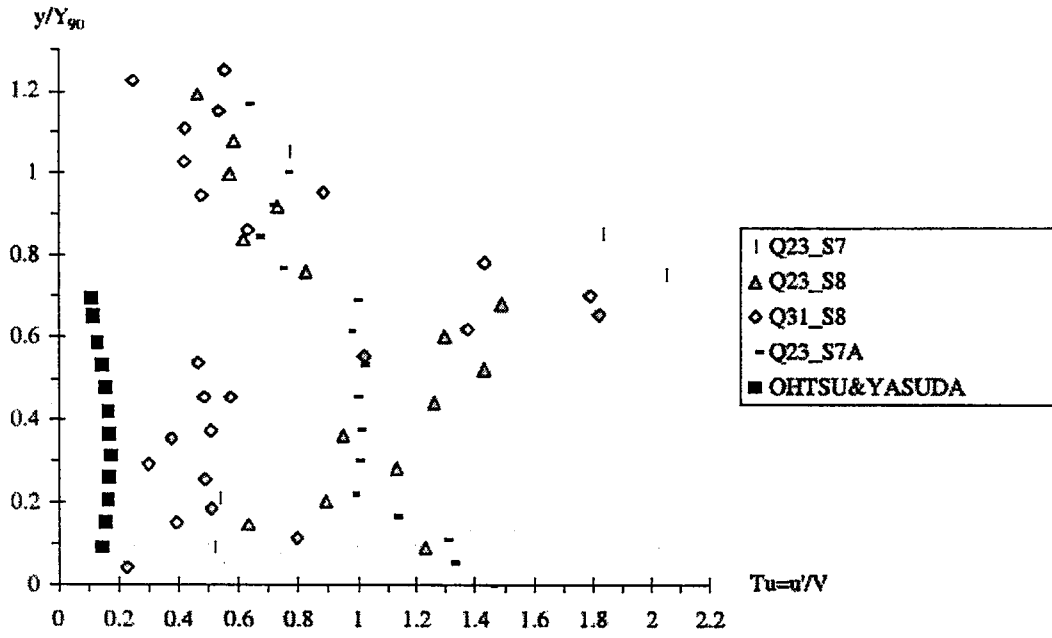
Bu formüldeki üst indisi Boes [10] yapmış olduğu çalışmalarda $\alpha = 30^\circ$ için 1/ 1,67 ve $\alpha = 50^\circ$ için 1/ 5,8 olarak tespit etmiştir. Matos ve Frizell [28] ise 1/ 5,10 olarak bulmuştur.



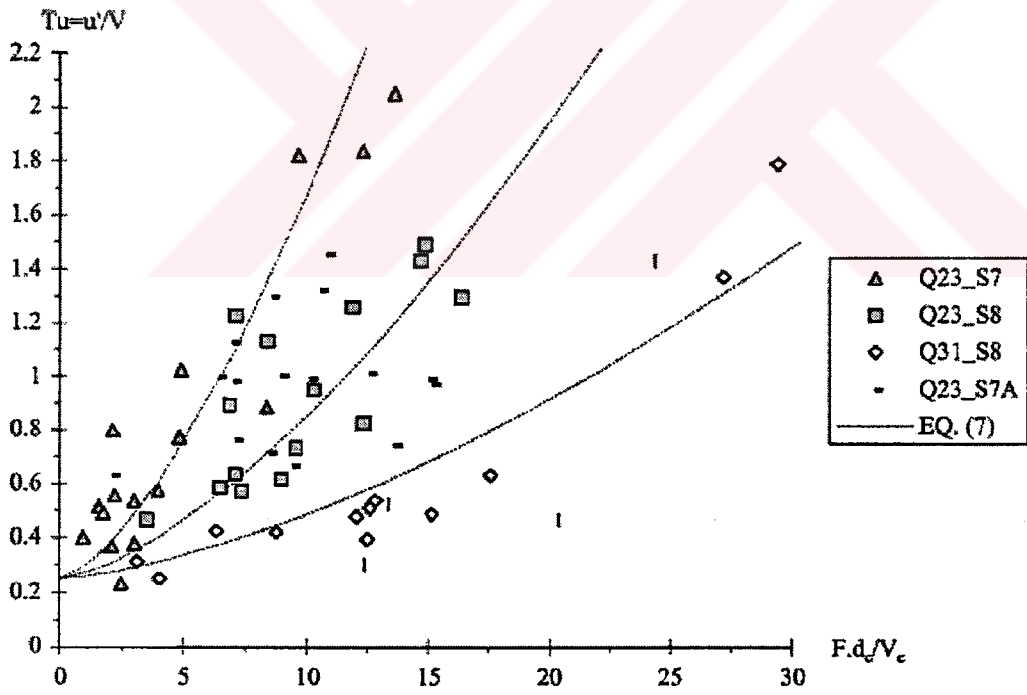
Şekil 2.12. Boyutsuz hava-su hız dağılım eğrisi geçiş akımı için (Chanson [3])



Şekil 2.13. Boyutsuz hava-su hız dağılım eğrisi sıçramalı akım için (Chanson [3])



Şekil 2.14. Sıçramalı akımda türbülans yoğunluk dağılımı (Chanson [3])



Şekil 2.15. Boyutsuz hava kabarcıkları ile türbülans yoğunluk dağılımları arasındaki ilişki (Chanson [3])

Türbülansın şiddeti Chanson tarafından

$$T_u = 0.25 + k \left(\frac{F^* d_c}{V_c} \right)^{1.5} \quad (18)$$

olarak bulunmuştur.

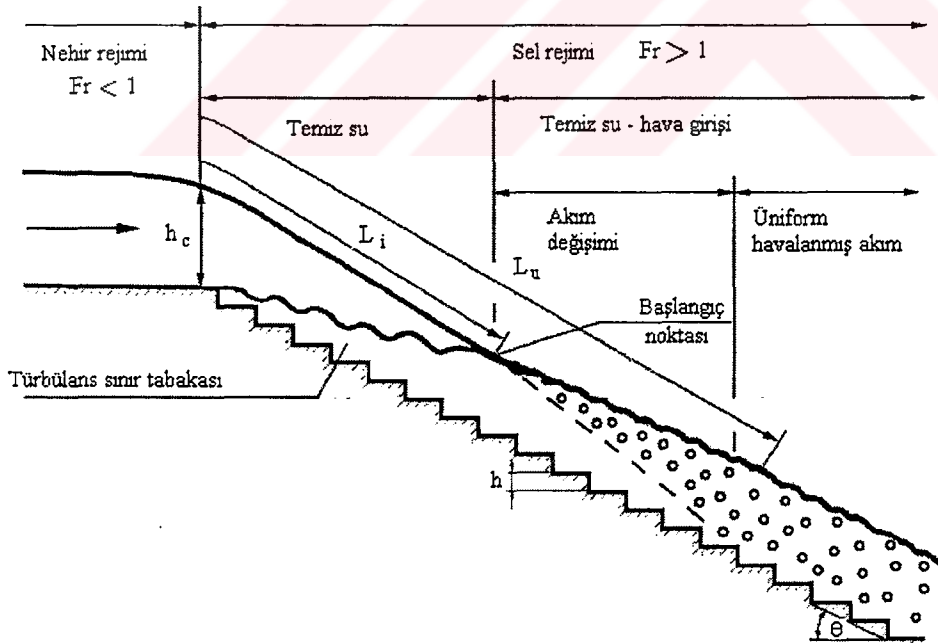
Üniform iki boyutlu akım için Boes ve Hager tarafından yapılan çalışmada mansaba doğru dolu savak sonundaki akım dikkate alınarak bütün deneysel sonuçlar üç farklı yolla değerlendirilmiştir[1].

Birincisi düşü sonundaki ve menba kesitindeki hava konsantrasyon profilleri mukayese edilmiştir. Boes ve Hager bu durumda üniform akımın tamamen gelişmediğini gösterdiğinden ikinci metodla üniform akım şartlarının kontrol edilmesi gerekir. Bu nedenle mansap su yüksekliği için h_w eşdeğer temiz su yüksekliği ve $h_{90} = h(c=0,90)$ değerleri dikkate alınmalıdır. Üçüncü kriter daha ileri çalışmalarda sürtünme katsayısının tayini gereken yerlerde kullanılmaktadır.

Üniform ortalama derinlikte hava konsantrasyonu Boes ve Hager tarafından

$$C_u = 1 - \frac{h_w}{h_{90}} \quad (19)$$

şeklinde formüle edilmiştir[1].



Şekil 2.16. Basamaklı dolu savak boyunca meydana gelen akımlar (Boes ve Hager, 2001)

Akım Derinliği için üniform eşdeğer temiz su derinlikleri, basamak yüksekliği s,

pürüzlülüğün bir fonksiyonu olarak froude sayısı $F_r = \frac{q_w}{(g * \sin \theta * s^3)^{1/2}}$ ile

normalleştirilirse

Burada;

q_w : birim genişlik debisi ($m^3 / sn/m$)

g : yerçekim ivmesi

θ : düşü açısı olmak üzere

$$\frac{h_w}{s} = 0.23 * F_r^{0.65} \quad (20)$$

elde edilir.

h_w : üniform su derinliği (m)

$$\text{Bu denklem } \frac{h_w}{s} = 0.215 * F_r^{2/3} \quad (21)$$

olarak düzeltilmiştir.

$$\text{Veya } \frac{h_w}{h_c} = 0.215 (\sin \theta)^{-1/3} \quad (22)$$

olur.

Burada üniform su derinliği h_w nin h_c kritik derinliğe oranının şut(düşü) açısı θ ile ilgili olduğu görölmektedir[1].

Üniform karışım derinliği h_{90} için Boes ve Hager [1], 20 denklemini vermektedirler.

$$\frac{h_{90}}{s} = 0.5 * F (0.1 \tan \theta + 0.5) \quad (23)$$

Bazı bağıntılardan $\frac{H}{h_c} = 24 * (\sin \theta)^{2/3}$ elde edilmiştir.

$\theta = 52^\circ$ lik ağırlık tipi bir barajın $H/h_c \approx 20.50$ olur.

Sürtünme Katsayısı için Boes ve Hager Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı f_w değerini tayin etmek için h_w su derinliği ile

$\sin \theta = \frac{v^2}{2g} (f_w * D)$ bağıntısını kullanmışlardır. Hidrolik yarıçap $R = D/4$ olduğundan

$$D = 4R = \left(\frac{4 * b * h_w}{b + 2h_w} \right) \text{ ve } U = \frac{q_w}{h_w} \text{ hız olduğundan}$$

$$f_w = \frac{8 * g * b * h_w^3 * \sin \theta}{q_w^2 (b + 2h_w)} \quad (24)$$

elde edilir.

Boes ve Hager [1] ilk defa dikdörtgen enkesitli kanal ile dairesel en kesitli kanallar arasında $w=0.60$ şekil düzeltme faktörü kullanmışlardır.

Böylece $K = S * \cos \theta$ olmak üzere

$$\frac{1}{\sqrt{f_w}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{w * R_e * \sqrt{f_w}} + \frac{(K / w.D)}{3,71} \right] \quad (25)$$

olur.

Burada $R_e : \frac{u * D}{\nu} = \frac{4 * Q}{[\nu * (b + 2h_w)]}$ olarak reynold sayısıdır.

ν : suyun kinematik vizkositesi

Q : suyun debisidir.

Taban sürtünme katsayısı f_b yi tayin etmek için Boes ve Hager [1] aşağıdaki yolu önermiştir.

1. f_w değeri tayin edilir
2. f_s kenar duvar sürtünmesi için

$$\frac{1}{\sqrt{f_s}} = -2 \log \left[\frac{2,51 * f_w}{w * R_e * \sqrt{f_s^3}} \right] \quad (26)$$

bağıntısı kullanılır.

3. f_b taban sürtünme katsayısı için

$$f_b = f_w + 2(f_w - f_s) (h_w/b) \quad (27)$$

Eşitliği yardımıyla tayin edilir.

Hava Girişi ve Enerji sönümlenmesi Matos, Frizell ve Pinheiro tarafından yapılan çalışmada basamaklı dolu savaklarda mansap eteğindeki kinetik enerjinin bilinmesi çok önemlidir. Lokal hava konsantrasyonu C , hava hacminin ortalama değerinin kısmi hacme oranlaması vasıtasıyla hesaplanabilmektedir. Eşdeğer temiz su derinliği aşağıdaki denklem vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$d = \int_0^{Y_{90}} (1 - C) * dy \quad (28)$$

Burada; y : dolusavak yüzeyine dik olarak ölçülmüş mesafe (m)

Y_{90} = lokal hava konsantrasyonunun % 90 olduğu derinliktir.

Ortalama derinlik hava konsantrasyonu için aşağıdaki denklem yazılmıştır.

$$d = (1 - C_{ort}) * Y_{90} \quad (29)$$

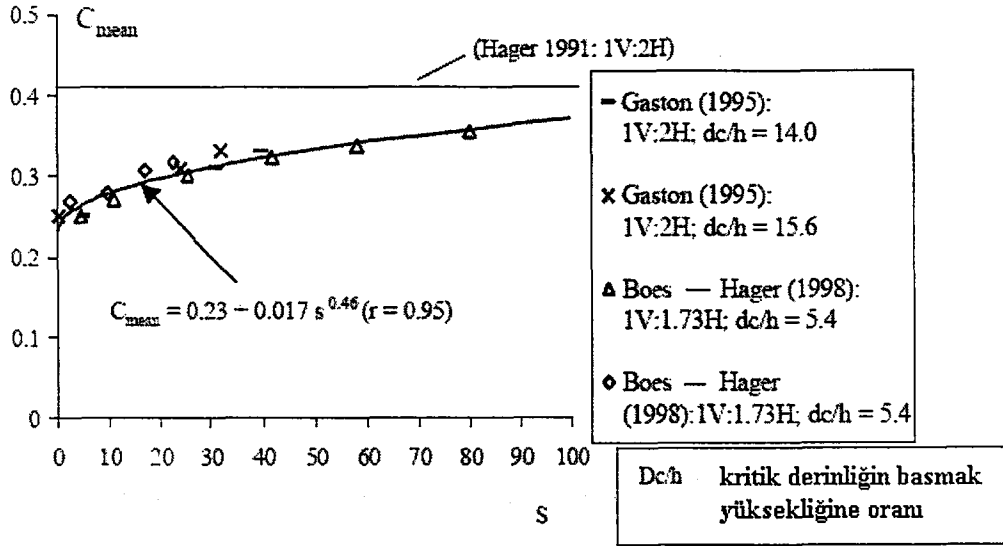
Ortalama su hızı için ise şu denklem yazılmıştır.

$$U_w = \frac{q_w}{d} \quad (30)$$

Ortalama hava konsantrasyonu Matos, Frizell ve Pinheiro tarafından şöyle verilmektedir.

$$C_{ort} = 0.23 + 0.017 * s^{0.46} \quad (31)$$

Aşağıdaki şekil 2.17 de eğimin bir fonksiyonu olarak ortalama hava konsantrasyonun referans değerleri verilmektedir.



Şekil 2.17. Eğimin bir fonksiyonu olarak ortalama hava konsantrasyonu eğrisi

Basamaklı dolu savaklar üzerindeki serbest akımlardaki sürtünme katsayısı şu faktörlere bağlı olarak yazılabilir[29].

$$f = \Phi \left[\frac{k}{D_h}, \sin \alpha, C_{ort} \right] \quad (32)$$

Burada; k: pürüzlü basamak yüksekliği
 D_h : hidrolik yarıçapdır.

Basamaklı dolu savaklar için eğim aynı alınmıştır.

$\frac{k}{D_h}$ ve C_{ort} in bir fonksiyonu olarak yazılabilir.

Tozzi, Gaston, Rice ve Kadavy [4] tarafından toplanmış olan verilerin analizi sonucunda elde edilmiş f^* 'in deneysel sonuçları Şekil 2.18. Rice ve Kadavy [4] de detaylı olarak verilmiştir. Rice ve Kadavy [4] tarafından aşağıdaki amprik formül önerilmiştir.

$$f = \frac{2 * g * \sin \alpha * D_h}{U_w^2} \quad (33)$$

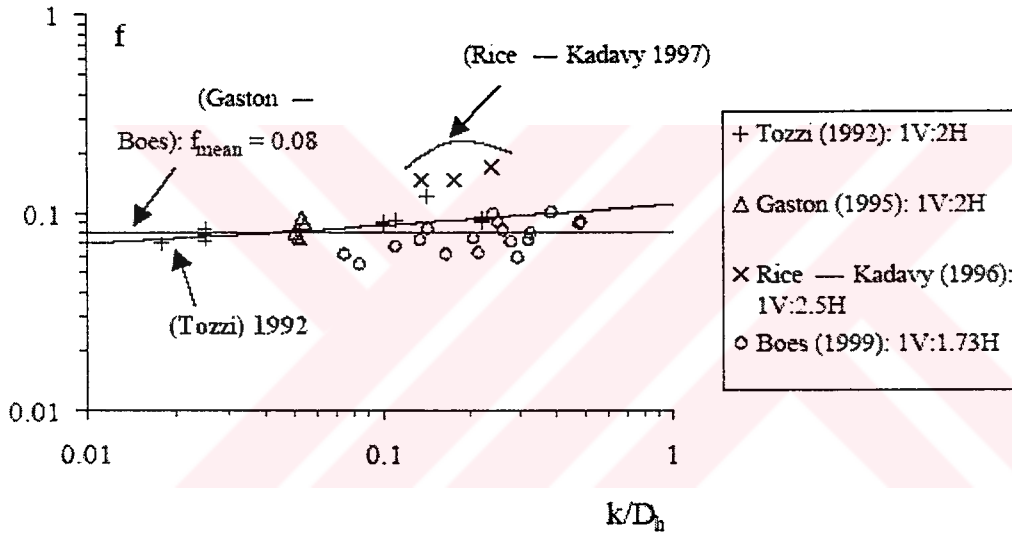
Burada;

g = yerçekim ivmesi

D_h = hidrolik yarıçap

U_w

Boes [11] tarafından deneysel data verilmiş ve şu sonuca ulaşılmıştır. Son ortalama hava konsantrasyonu artmamasına rağmen sürtünme eğiminin taban eğimiyle yakın bir paralellik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 2.18.Basamak pürüzlüğünün hidrolik yarıçapa oranının bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısının değişimi

3.BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN HİDROLİĞİ

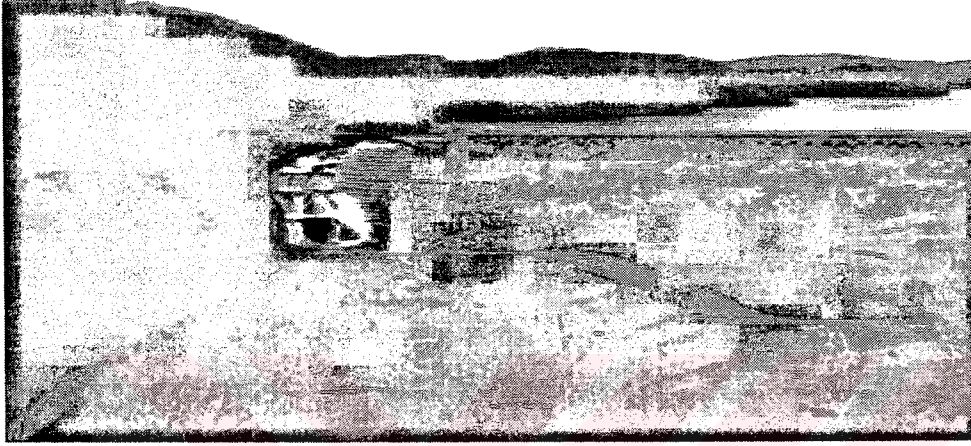
3.1. Genel Bilgiler

Basamaklı dolu savaklar önceleri gerçek mühendislik kurallarına uygun olmasa da yaklaşık 3500 yıldır kullanılmaktadır. İnsanoğlu bu yapıyı da doğadan esinlenerek yapmaya başlamıştır. Gold Creek ve New Croton 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 enerjiyi sönümler ve mansap tarafta ihtiyaç duyulan enerji kırıcı yapıların boyutlarını ve maliyetini önemli derecede azaltır. Klasik dolusavaklar ile kıyaslandığında, basamaklı dolusavaklarda, toplam enerjinin ortalama %70-%80'inin sönümlenebileceği ve kalan enerjinin kırılması için mansapta küçük bir hidrolik yapıya ihtiyaç duyulacağı görülmüştür.

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 dolu savaklar 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 silindirle sıkıştırılmış beton barajları (RCC) ve gabionlar örnek gösterilebilir. Yeni inşa tekniklerinin gelişmesiyle basamaklı dolu savakların hidrolik özelliklerinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

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. Memba ve mansap yüzü bu şekilde inşa edildiği için mansap yüzüne basamaklı dolusavak yapmak oldukça ucuz olmaktadır. Günümüzde basamaklı dolusavak denilince akla ilkönce 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 tasarımında deneysel

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



Şekil 3.1. New Croton barajı

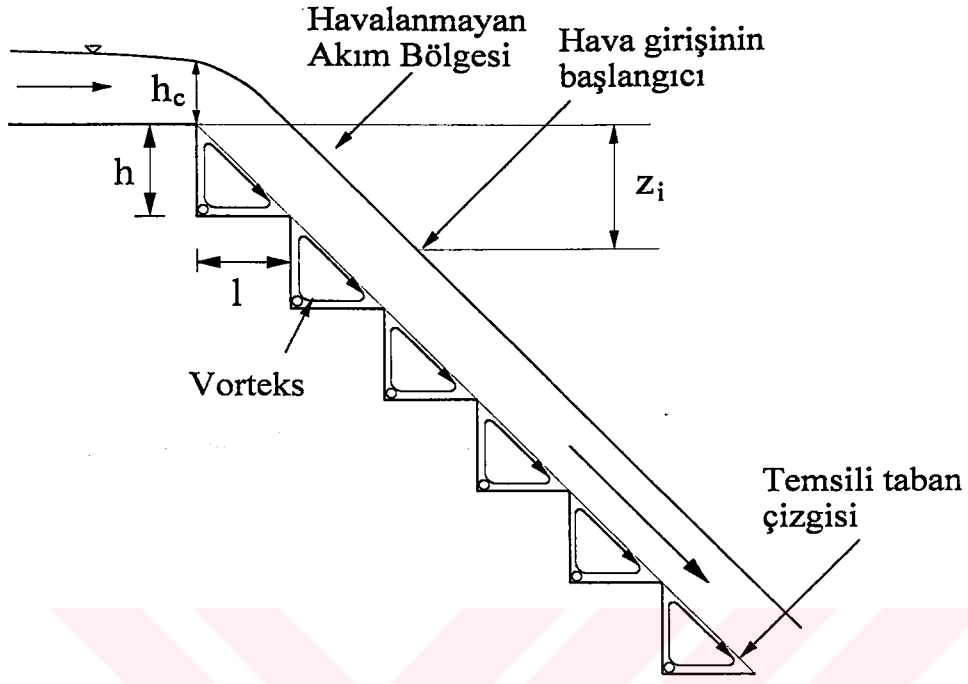
3.2. Basamaklı Dolusavakların Projelendirilmesi

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

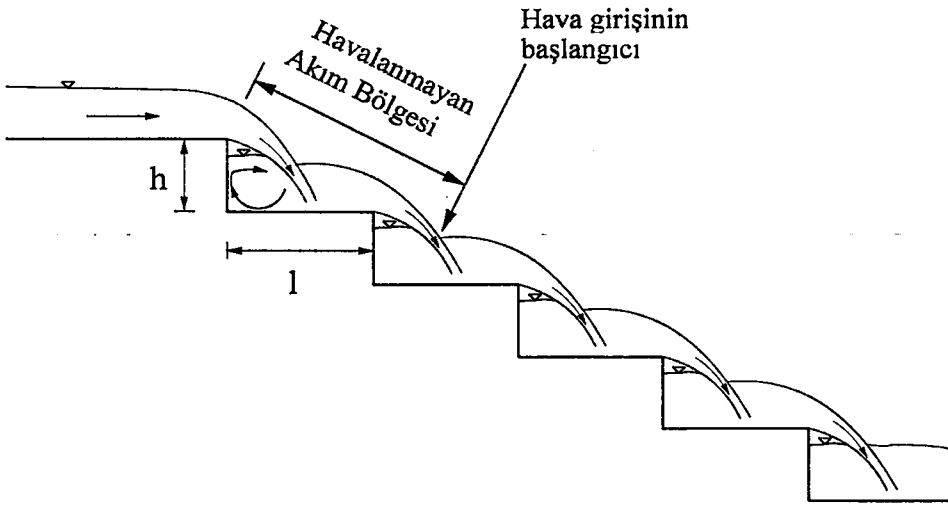
Bir dolusavağın projelendirilmesinde öncelikle yanıt aranacak sorular şunlardır:

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

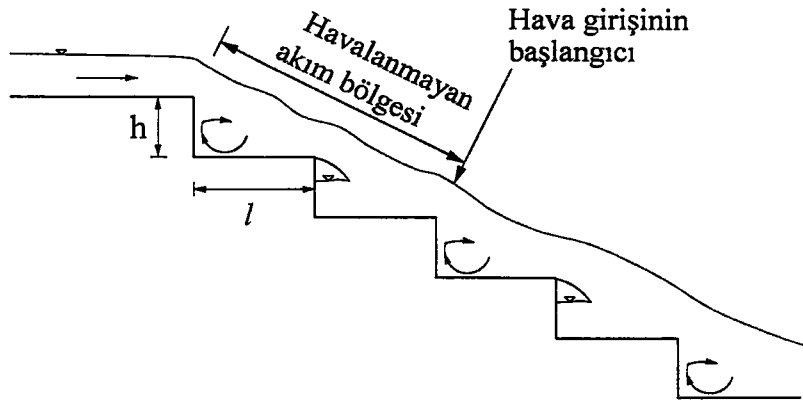
(b) Sıçramalı Akım



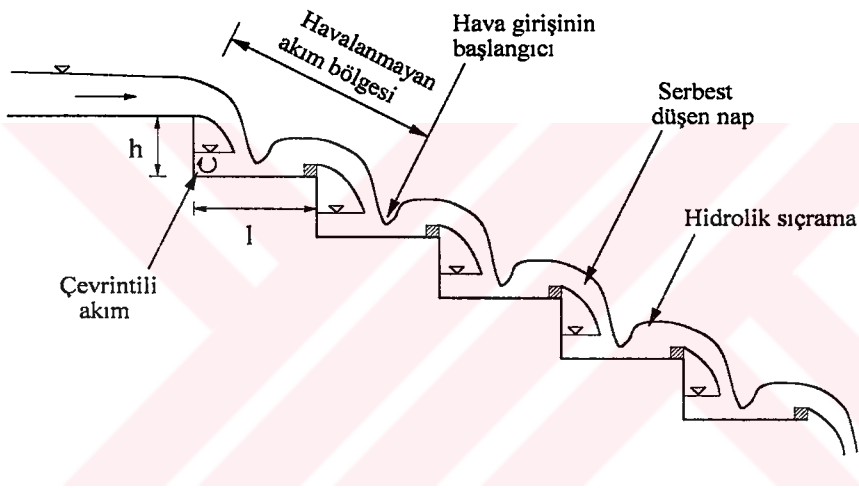
(a) Nap Akım



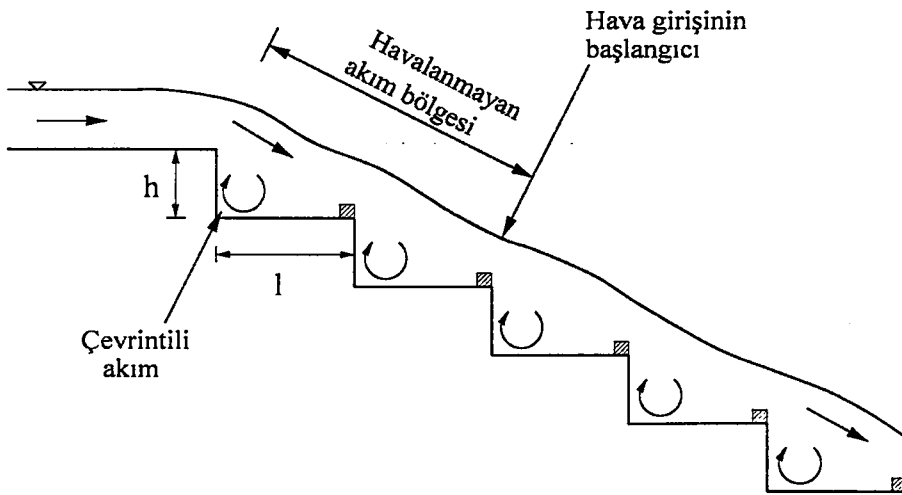
(c) Geçiş Akımı



(d) Nap Akım



(e) Sıçramalı Akım



Şekil 3.2.Basamaklı Dolusavaktaki Sıçramalı, nap ve geçiş akımı

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 göz önüne 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.

3.2.1. Ön plan hazırlanması

Basamaklı dolusavakların planı birçok durumda geleneksel dolu savak 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 dolu savaklar için başlangıç planı hazırlanması amacıyla yaygın olarak yapılan işlemlerdendir.

3.2.2. Savak genişliğinin seçimi

Savak genişliğinin seçimi, barajın cret uzunluğu dikkate alınarak yapılır. Mansap nehir yatağı genişliği ve ayaklardan dolayı savak genişliğinin etkin azaltılma imkânı ve kenar duvar girişleri genişlik seçimi için etkili olan kriterlerden bazılarıdır. Bütün dolusavaklar için çok önemli bir değerde göz önüne 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. Kret de oluşan bu büyük yük spesifik debiyi tetikler. Şimdiye kadar geniş kretli basamaklı dolusavaklar da spesifik debi $q=25-30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ civarında alınarak dizayn işlemleri yapılmıştır. Bu sınırlamanın en önemli nedeni kavitasyon zararlarından kaçınmaktır.

Üniform akım dikkate alındığında ve taban hava konsantrasyonu yeteri kadar büyük olarak sağlandığında da $q_{\max} = 140 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ nin üzerinde alınabilir. 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 sönmelenmesi sağlanabilir.

3.2.3. Savak kretinin tayini

Hidrolik tasarım kriterleri kret şeklinin kullanımına göre bütün dolusavakların projelendirilmesini kapsar. Basamaklı dolusavaklarda genellikle sabit yükseklikli basamaklardan küçük yükseklikli basamaklardan tedricen artan büyük 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 spesifik 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 debisinin 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 spesifik 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 içersine alınır. RCC barajlarda çok sık olarak inşa edilen basamakların yükseklikleri 30 cm ve 120 cm arasında değişmektedir. Zaten dünyada yapılan basamaklı dolu savaklarda 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 spesifik 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 kırımını sağlamak bakımından küçük basamaklara nispeten daha uygundur. Zaten 60 cm den daha küçük basamaklar tavsiye edilmemektedir.

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.

3.2.7. Mansapta açığa çıkan çözünmüş gaz miktarının hesabı

Bölgenin iklim koşulları ve suyun kimyasal bileşimi göz önüne alınarak yapının havalandırma etkinliği tahmin edilmelidir. Göz önüne alınması gereken en genel parametrelerden biriside budur.

3.2.8. Hava girişi

Serbest yüzeyin türbülans sınır tabakasına ulaştığı noktada, türbülansın derecesi yeteri kadar büyükse su alışının içine hava girmeye başlar. Bu nokta havalanma noktasının başlangıcı olarak isimlendirilir. İlgili eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$Z_i = L_i \cdot \sin \theta$ havalanma uzunluğu olmak üzere,

$$26^\circ < \theta < 55^\circ \text{ için } \frac{Z_i}{s} = 4,93 \cdot F_r^{0,84} \quad (34)$$

olur. Burada; $F_r = \frac{q}{(g \cdot \sin \theta \cdot s^3)^{1/2}}$ olmak üzere froude sayısı

q: Birim debi ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

s: Basamak yüksekliği (m)

θ : Dolusavak eğimi

Havalanmayan bölgenin uzunluğu için ise;

$$26^\circ < \theta < 55^\circ \text{ için } L_i = \frac{q^{0,84}}{g^{0,42} \cdot (\sin \theta)^{1,42} \cdot s^{0,26}} \quad (35)$$

eşitliği verilmektedir.

3.2.9. Yapısal dizayn dahil son şeklin tespiti

İlk önce dolusavağın temel boyutları ve şekline karar verilir. Detaylı yapısal dizayn daha sonradan ilave edilir. İnşa ve yapım aşamasında doğru pozisyonda karar verilmektedir. Donatılar hakkında kararlar alınmalıdır. RCC barajlar takviyesizdir ve basamak düşüşlerindeki donatının yerleştirme işlemi komplikedir. Bazen prefabrike takviye elemanları da kullanılır. Basamaklı dolusavaklar da yapılan deneyler göstermektedir ki spesifik debinin uygulandığı akıma göre savaklanmanın meydana getirdiği gerilme basamaklar tarafından karşılanmaktadır. Bu kuralın doğruluğunu ispatlamak amacıyla başka araştırmalarda yapılmış ve bunun büyük basamaklarda ve büyük debilerde daha geçerli olduğu görülmüştür.

Basamak kenarları daima kritik öneme haiz noktalardır. Kenar kırılmaları savaklanmanın ardından hasar görebilir ve oldukça kötü bir görüntü ile karşılaşılır. Ayrıca bu zayıf nokta diğer olası zararların da başlangıç noktasıdır. Bunun önlenmesi amacıyla kenar üzerlerinde 2-3 cm lik takviye aşamaları yapılmaktadır.

Mansap kısmı kenar duvarları ve ayakların seçimi için giriş debisi azaltılmasının minimize olma karakteri oldukça büyük öneme haizdir.



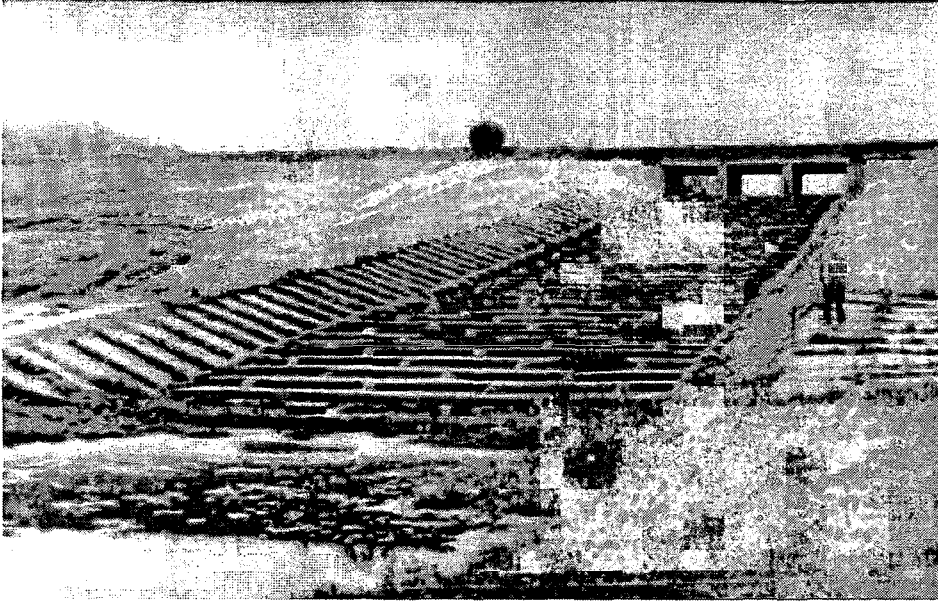
Şekil 3.3. Wolwedans RCC baraj inşaatı -LASVEGAS

3.3. Prefabrik Beton Basamaklar

İlk defa Sovyet mühendisler tarafından dolgu barajların mansap yüzlerinde bir beton basamak düşü tasarımı yapmak amacıyla uygulanmıştır.

Enerji kırılmasına yardımcı tasarım ile birlikte birbirine bağlı tekil komşu blokların teşkili bir basamak yapısının kullanımını sağlamaktadır.

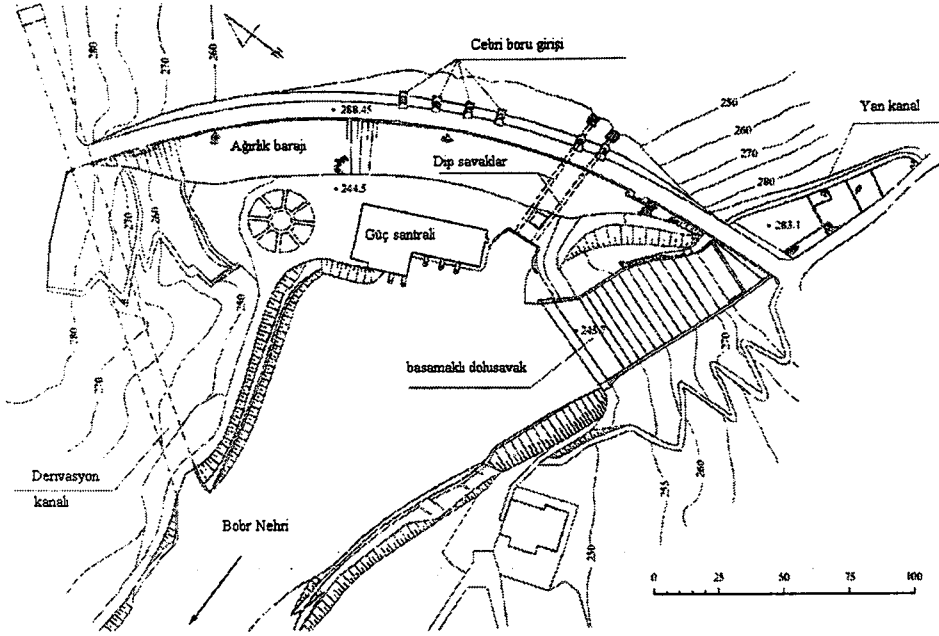
Amerika ve İngiltere’de tasarım metotları birçok defa test edilmiş ve prefabrik sistem ile betonarme sistem arasındaki reel maliyet karşılaştırması tam olarak yapılamamıştır. Ancak şu kesindir ki prefabrik sistem zaman ve uygulama kolaylığı açısından birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Beton blok sistemlerin bir diğer ilginç tarafı da betonun esnekliği sayesinde dolgunun yerleştiği basamak kanal tabanı ile uyum sağlayabilmesidir. Prefabrik beton blok sisteminin kolay bir tasarım metodu vardır.



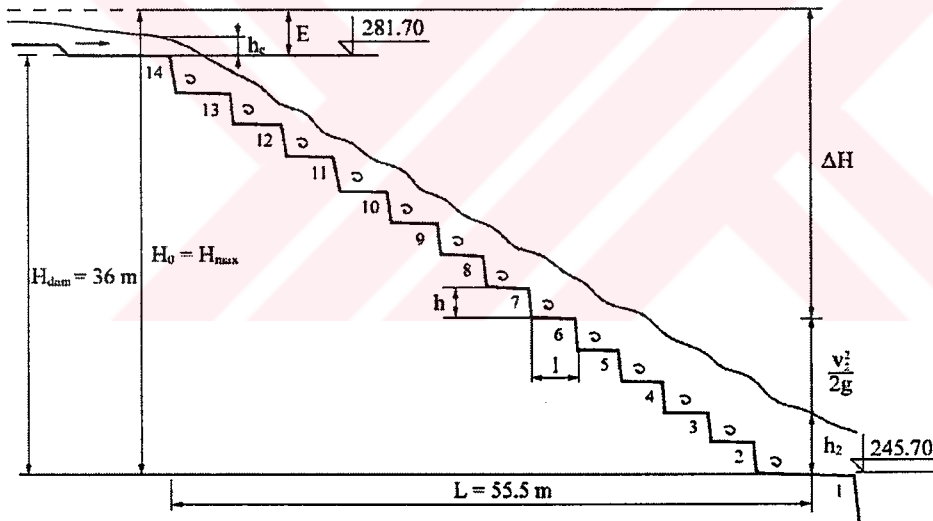
Şekil 3.4. Sosnovsky barajı RUSYA -1980

3.4. Uygulanmış Bir Örnek

1912 yılında Fransa'nın Bobr nehri üzerinde inşa edilmiş Pilchowice barajında başlangıçta 33^o meyilli klasik dolusavaklar ve kenar kanallar vasıtasıyla akım taşınmakta idi. Fakat barajın alt ve sol tarafında dolu savak vasıtasıyla yapılan deşarjlardan sonra ciddi aşınma sorunları ortaya çıktı ve barajın güvenliği ile ilgili bazı problemler gündeme geldi. 1940'larda bazı bilim adamları dolusavaktaki aşırı enerjinin kırılmasını sağlamak amacıyla on dört basamaktan oluşan bir ilavenin dolusavak içine monte edilmesine karar verdiler. Basamakların düşey kenarları taşla güçlendirilmiş cüruf çimento şerbeti vasıtasıyla güçlendirildi. Basamak yükseklikleri yukarıdan aşağıya doğru 2,40 m den 3,00 m ye kadar artırıldı ve genişlikler de 23 m ile 33 m arasında olacak biçimde teşkil edildi. Basamakları destekleyen kenar tutucu duvarların durumu bu son işlemten önce çok kötü bir halde olmasına rağmen basit inşaat onarım teknikleri tarafından yeniden kullanılabilir hale getirildi. Günümüzde bu baraj halen aktif olarak görevini sürdürmekte ve enerji üretebilmektedir. (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6)



Şekil 3.5. Pilchowice barajı yerleşim planı



Şekil 3.6. Pilchowice barajı dolusavak enkesiti

3.5. Geleneksel Olmayan Dolu Savak Karakteristikleri

Barajların mansap eğimlerinde üç farklı tip geleneksel olmayan dolusavak tipi göz önüne alınabilir.

1). Tip 1: Donatılı beton kanal

2). Tip 2:Basamaklı dolu savak

3). Tip 3:Prefabrik Beton Bloklı Basamaklı dolusavak

Hidroliksel bir yaklaşımla yapılsa Tip1 basamaklı dolusavaklar da bulunan kanat duvarlarına benzemektedir. Bununla beraber Tip1 dolgu barajlarda bulunursa drenaj bölgelerin de ve basamak dizayn noktalarında bir dizi özel tedbir alınmalıdır.

Tip 2 de yani basamaklı dolu savaklarda enerji sönümlenmesi diğer uygulamalarına göre nispeten artar.

Tip 3 prefabrik beton bloklı dolusavaklar Sovyet dizayncılar tarafından geliştirilmiştir. Bunların temel karakteristikleri kama şekilli prefabrik beton bloklardır. Bu bloklar akımdan arta kalan suyun filtre edilmesi amacıyla drenaj kanalları ile birlikte kullanılır.

3.6. Maliyet Durum Çalışmaları

Geleneksel olmayan dolusavakların maliyeti ile geleneksel dolusavaklar çözümleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Portekiz’de ki üç barajda yapılmış olan karşılaştırma aşağıda tablo halinde gösterilmiştir. Bu barajların bazı özellikleri şöyledir.

Foz do Guadiana barajı $H=21$ m , ogee cretli ve düşüm havuzlu $q=24 \text{ m}^3/\text{s}$

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

Riberia de oerias barajı $H=27$ m serbest akımlı dolusavak ogee cretli $q=291 \text{ m}^3/\text{s}$

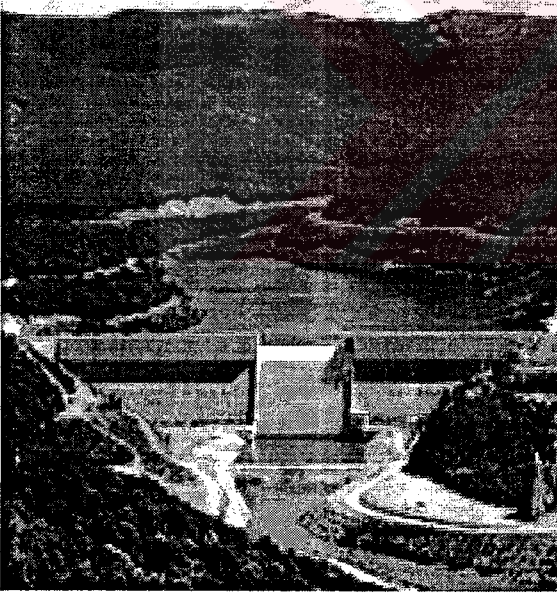
Tablo3.1. Dolusavak maliyetleri

BARAJ	dolusavak maliyetleri (1000 EUR)ve diğer geleneksel çözümlerden farklılık yüzdeleri						
	Geleneksel	Tip 1		Tip 2		Tip 3	
Foz do Guadiana	465	236	-49%	201	-57%	160	-66%
Enxoe	512	321	-37%	310	-39%	181	-65%
Ribera de Oerias	1415	1527	+8%	1951	+38%	710	-50%

3.7. Dünyadan Örnekler

Basamaklı dolusavaklar RCC ve dolgu barajlar üzerinden taşkın debilerini oldukça güvenli bir şekilde geçirebilirler. Maksimum spesifik debi günümüzde $25-30 \text{ m}^3/\text{s}$ civarında uygulanmaktadır. Eğer basamaklardaki havalandırmanın değeri artırılabilirse bu değerin artırılması muhtemeldir. Büyük basamaklar hidrolik performans açısından ele alındığında pozitif bir etkiye sahip oldukları söylenebilir.

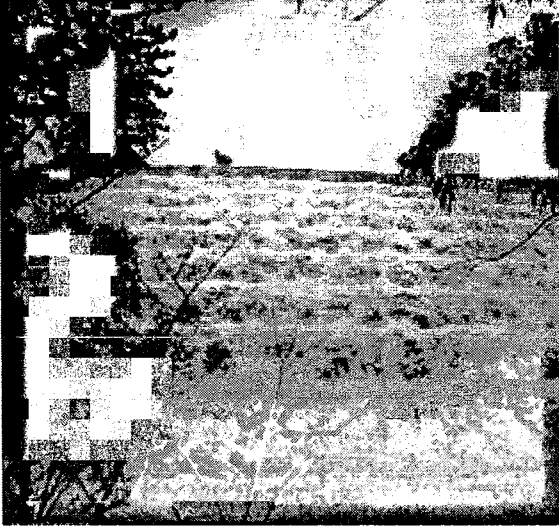
Yapılan bazı yayınlarda basamak boyunca enerji kırılımının reel değeri abartılmaktadır. Verilen bu üst değerler kullanımı beğendirmek amacıyla. Her ne kadar yüksek oranda bir enerji sönümlenmesi mevcutsa da baraj ayakucuna bir düşüm havuzu yapılması esastır. Baraj gölü seviye eğrileri yeterince hassas olarak hazırlanmalıdır. Maksimum debinin varlığı enerji sönümlenmesi bakımından hassas bir durum ve bir tehlike başlangıcı olmayacak şekilde gerekli boyutlandırma işlemleri yeter derecede sağlıklı olarak hazırlanmalıdır. Rezervuar alanına gelecek su ile bağlantılı olan bütün yükseklik eğrilerinin tayininde azami gayret ve dikkat sarf edilmelidir. Çünkü bu kapasite ve baraj performansını doğrudan etkileyecek olan bir faktördür.



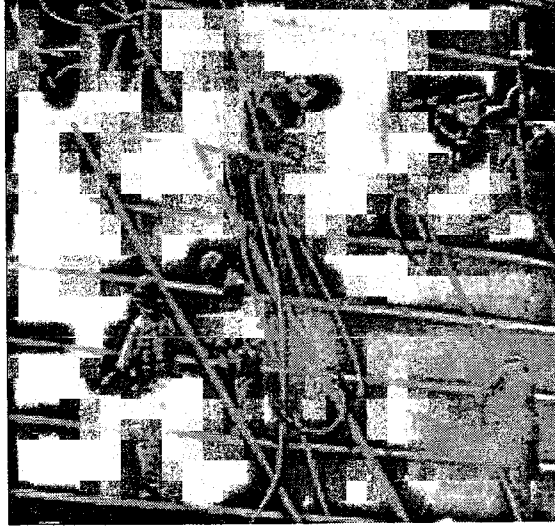
Şekil 3.7. Les Olivettes Barajı- Fransa



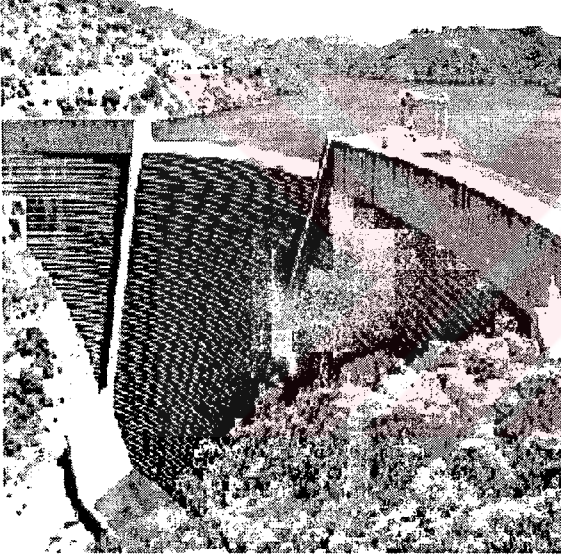
Şekil 3.8. Choctaw Barajı - ABD



Şekil 3.9. Gold Creek Barajı



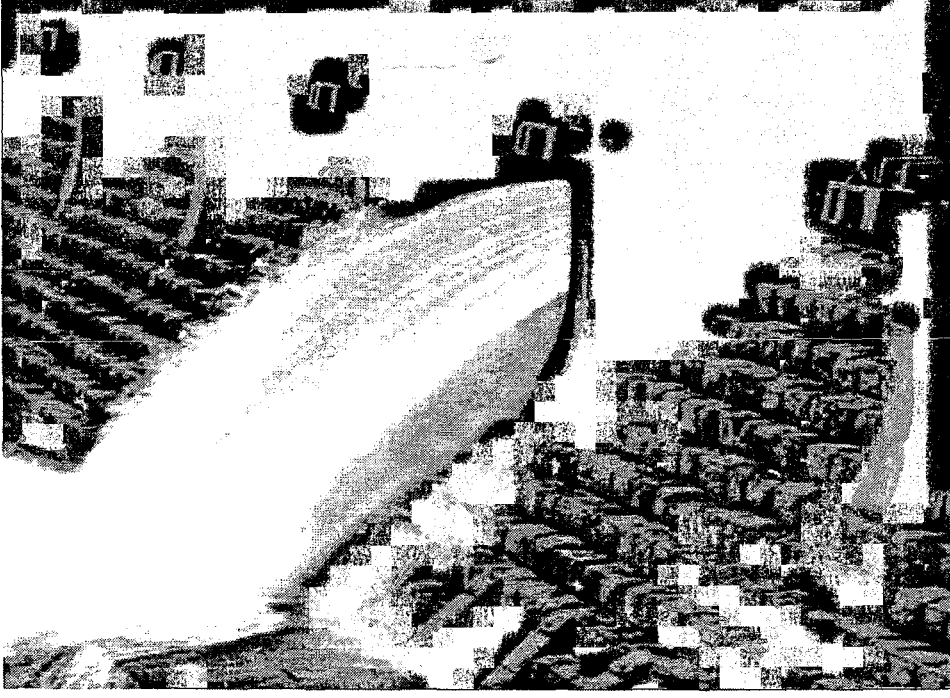
Şekil 3.10. Stagecoach Barajı-ABD



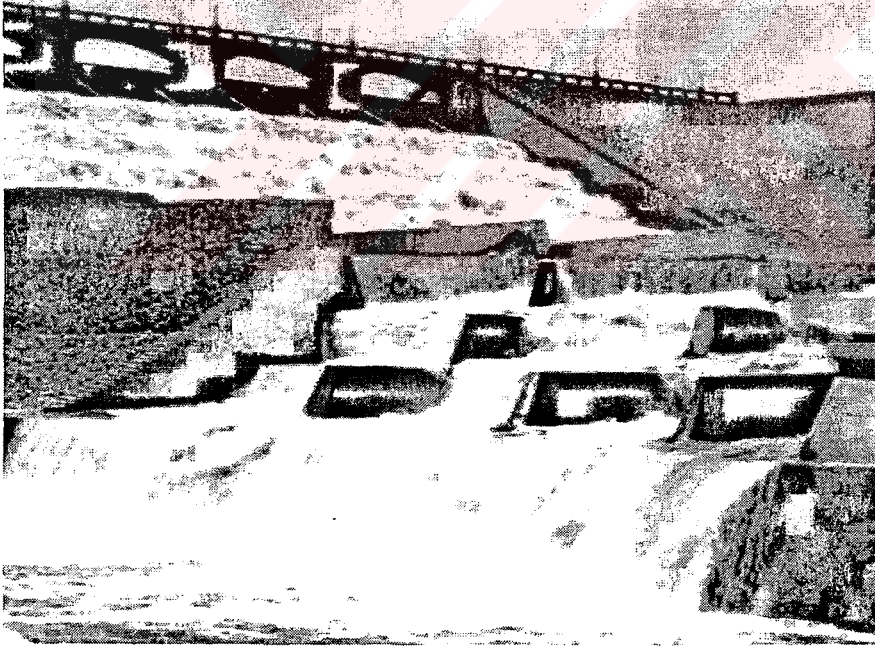
Şekil 3.11. Knellport Barajı



Şekil 3.12. Tache Barajı



Şekil 3.13. Goulburn barajı – Avustralya



Şekil 3.14. Lahontan barajı-Nevada ABD

4. DENEY DÜZENEGİ

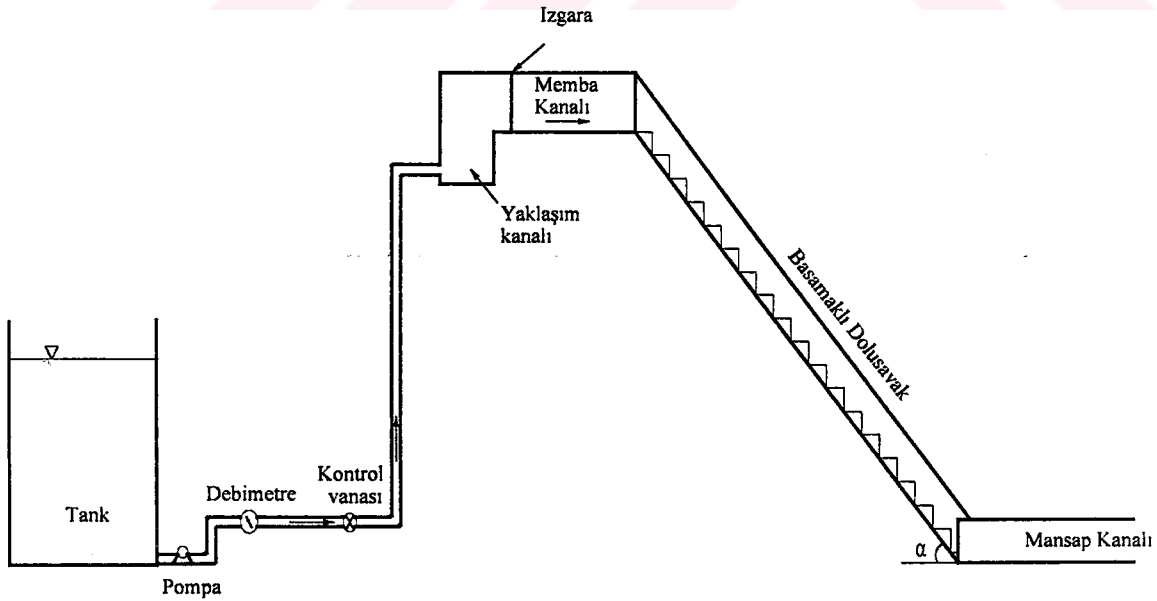
Basamak tipi dolusavak boşaltım kanallarında deneysel çalışmalar yapmak için Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında Şekil 4.1 de kesiti ve Şekil 4.4 de fotoğrafı verilen, bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneği laboratuvar tabanından 2,50 m yüksek, genişliği sabit ($b=0,29$ m) olan dikdörtgen kesitli bir kanal olup dolusavak mansap eğimi $\alpha=30^{\circ}$ ve dolusavak uzunluğu $L = 5.51$ m olacak şekilde farklı basamak boyutları değişikliklerinin kolayca yapılabilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Deney düzeneğinde dolusavak boşaltım kanalının yan duvarı akım koşullarını görebilmek amacı ile cam malzemeden teşkil edilmiştir.

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

Basamak uçlarına, kesitleri Şekil 4.5'te gösterilmiş olan yükseklikleri 2 cm, 4 cm'lik dikdörtgen ve 4 cm ile başlayıp 1 cm'e giden trapez kesitli ahşap malzemeden yapılmış eşikler yerleştirilmiştir. Sistemde debi, bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). Vana yardımı ile ayarlanan farklı debi miktarlarında; kritik akım derinliği, h_c , ve basamakların bittiği noktadaki hız yükseklikleri ve mansap havuzundaki akım derinlikleri ölçülmüştür.

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



Şekil 4.1. Deney Düzeneginin Kesiti

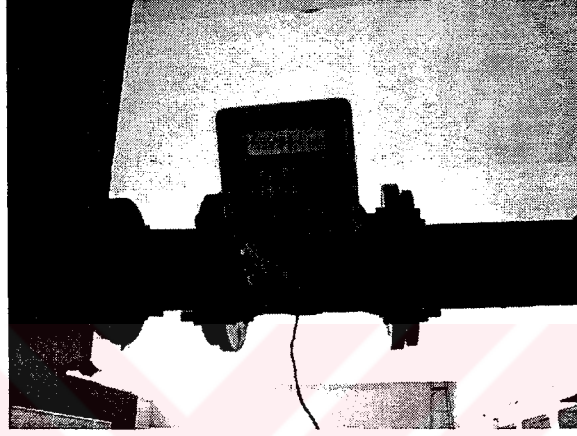
Deney düzeneği amaca uygun ölçümlerin yapılabilmesi için ölçüm aletleri ile teçhiz edilmiştir. Bu ölçümler ve kullanılan aletler aşağıda açıklanmıştır.

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 şerit metreler yardımıyla yapılmıştır.

b) Debi ölçümleri

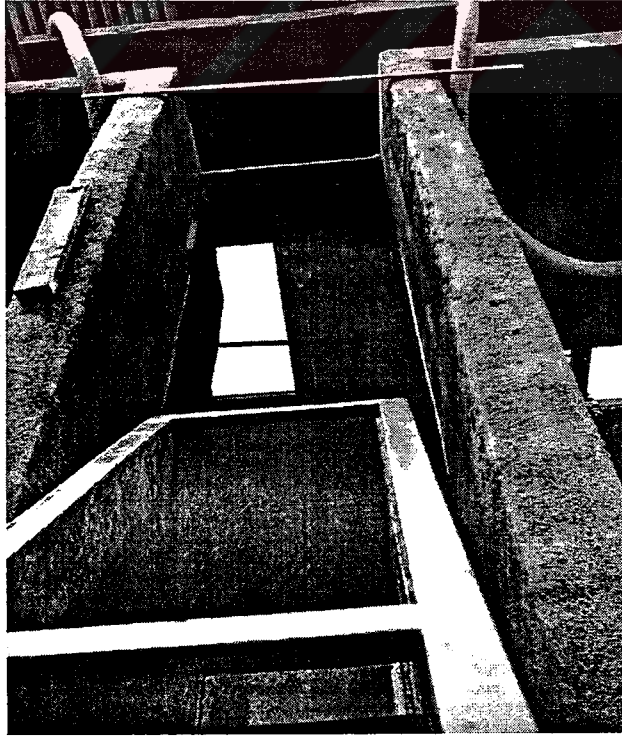
Yapının menba kısmına yerleştirilen bir debimetre yardımıyla yapılmıştır.(Şekil 4.2)



Şekil 4.2. Debimetre

c) Hız yüksekliği ölçümleri

Dolusavak kanalı ucuna yerleştirilen pitot tüpleri vasıtasıyla okunmuştur.



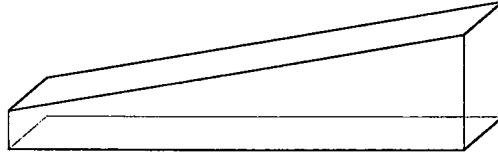
Şekil 4.3. Mansap havuzu



Şekil 4.4. Deney düzeneği



(a)



(b)

Şekil 4.5. (a) Dikdörtgen enkesitli eşik, (b) Trapez enkesitli eşik

5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Bu deneysel çalışma, Şekil 4.1.'de kesiti verilen deney düzeneği kullanılarak iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada boşaltım kanalındaki, havalanmayan bölgenin uzunluğu, meydana gelen akımın tipi ve dolusavak sonundaki hız yükseklikleri gibi hidrolik karakteristikler belirlenerek boşaltım kanalı boyunca akım enerjisinin kırılması açısından değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise boşaltım kanalı topuğunda bulunan mansap havuzundaki akım koşulları incelenerek boşaltım kanalı boyunca yerleştirilen basamaklar üzerindeki eşiklerin mansap havuzunda oluşan su yüksekliklerine etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada, debi ölçümleri memba tarafa yerleştirilen debimetre vasıtasıyla yapılmış, debi ayarı debimetre önündeki bir küresel vana yardımı ile yapılmıştır. Çalışma sırasında genişliği 29 cm olan dikdörtgen kesitli boşaltım kanalından verilen debiler $Q = 5$ lt/s ile $Q = 45,30$ lt/s arasında ve kritik akım derinlikleri ise 3,10 cm ile 13,60 cm arasında değiştirilmiştir.

Basamak tipi dolusavaklar da ölçümü oldukça zor olan akım derinliklerini ölçerken oldukça dikkatli çalışılmış ve hata payının minimize edilebilmesi için bazı ölçümler birkaç kez tekrarlanarak, ortalamaları alınmıştır.

5.1. Dolusavak Boyunca Yapılan Deneyler

Yüksekliği sabit bir deney düzeneğinde yapılan deneyler nap akımı, geçiş akımı ve sıçramalı akım koşulları durumunda sabit dolusavak eğiminde ve basamaklar üzerine yükseklikleri farklı üç tip eşik yerleştirilerek yapılmıştır.

Çalışmalar esnasında boşaltım kanalı taban eğim açısı $\alpha = 30^\circ$, basamak yüksekliği $h = 10$ cm ve basamak genişliği $b = 17,88$ cm için deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında ilk alternatif basamaklar çıkarılarak klasik basamaksız dolusavak için yapılmış, ikinci alternatifte, genişlik ve yüksekliği yukarıda verilmiş olan basamaklı dolusavak kullanılmış, üçüncü alternatifte de basamaklar üzerine yüksekliği 2 cm, genişliği 29 cm olan ahşaptan imal edilmiş eşikler bütün basamak uçlarında olacak şekilde teşkil edilmiştir. Dördüncü alternatifte de 2 cm yükseklikli eşikler bir basamak kenarında olup, diğerinde olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Beşinci alternatifte de 4cm yükseklikli eşikler bütün basamak kenarlarına yerleştirilmiştir. Altıncı alternatifte 4 cm yükseklikli eşikler bir basamak ucunda olup diğerinde olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Yedinci alternatifte, yüksekliği 4 cm den başlayıp 1cm'ye kadar azalan

trapez kesitli eşikler bütün basamak uçlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak yerleştirilmiş, sekizinci alternatifte de trapez kesitli eşiklerin 4 cm'lik kısımları üç kez sağa üç kez sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak dizilmiş ve sonuncu bir başka değişle, dokuzuncu alternatifte trapez kesitli eşikler iki sağa, bir boş basamak ve iki sola şaşırtmalı olarak dizilmiş olup farklı debi miktarlarında hangi eşik tipinin enerji sönümlenmesinde daha uygun olacağına karar vermek için bir dizi deneysel çalışmalar, bu koşullar altında yapılmıştır.

5.1.1. Klasik basamaksız dolusavak ile yapılan deneyler (Alternatif 1)

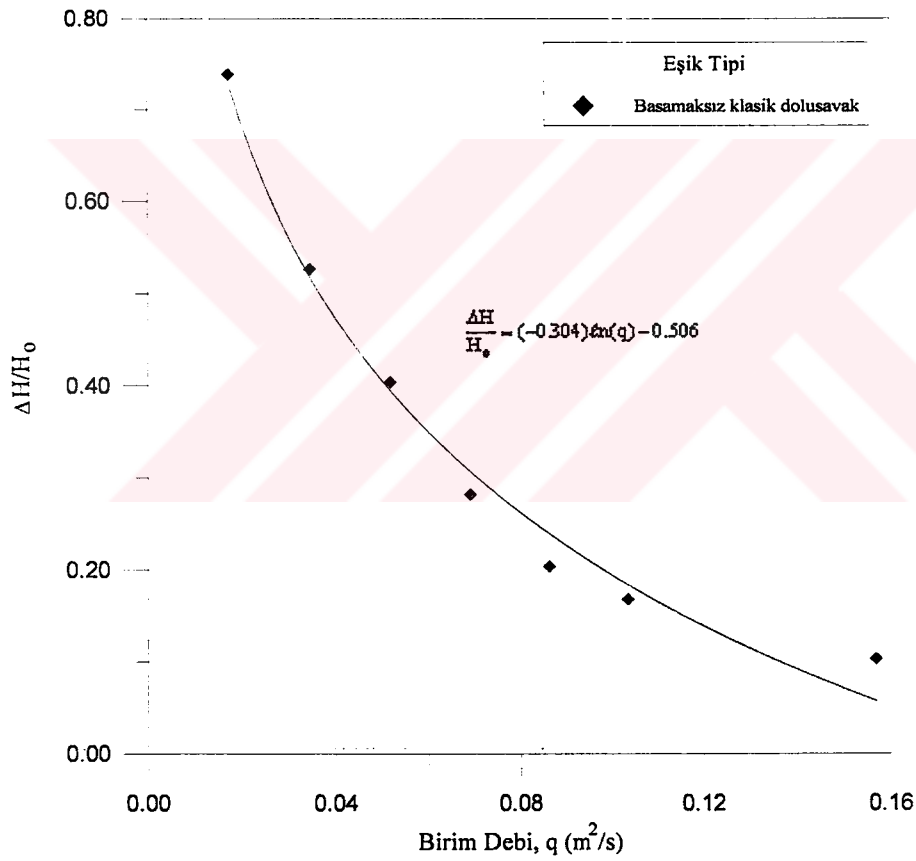
Basamaksız klasik dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.1'de ve Şekil 5.2 de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.1'de sunulmuştur. Tablodan bu tipin tüm akım tiplerinin sel rejiminde olduğu görülmektedir. Tablo 5.2'de $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri 0.7388 ve 0.1034 arasında değişmektedir. Şekil 5.1 den bu tipin enerji sönümlenme oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

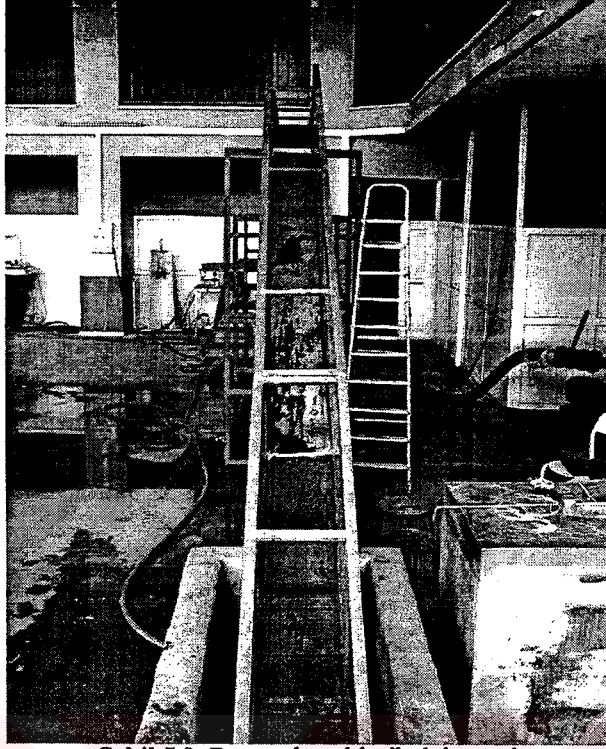
Tablo 5.1. Basamaksız klasik dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalanmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,60	0,209	Sel Rejimi	-
0,0010	1,10	0,231	Sel Rejimi	-
0,015	1,40	0,240	Sel Rejimi	-
0,020	1,70	0,246	Sel Rejimi	-
0,025	1,90	0,265	Sel Rejimi	-
0,030	2,00	0,290	Sel Rejimi	-
Max (0,0453)	2,20	0,315	Sel Rejimi	-

Tablo 5.2. Basamaksız klasik dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H_o [m]	H_1 [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,60	1,6968	0,7388
0,03448	0,0495	2,3243	1,10	1,2243	0,5267
0,05172	0,0648	2,3472	1,40	0,9472	0,4035
0,06896	0,0785	2,3678	1,70	0,6678	0,2820
0,08620	0,0912	2,3868	1,90	0,4868	0,2040
0,10345	0,1029	2,4044	2,00	0,4044	0,1682
0,15689	0,13592	2,4539	2,20	0,2539	0,1034





Şekil 5.2. Basamaksız klasik dolusavak

5.1.2 Basamaklı eşiksiz dolusavak için deneyler (Alternatif 2)

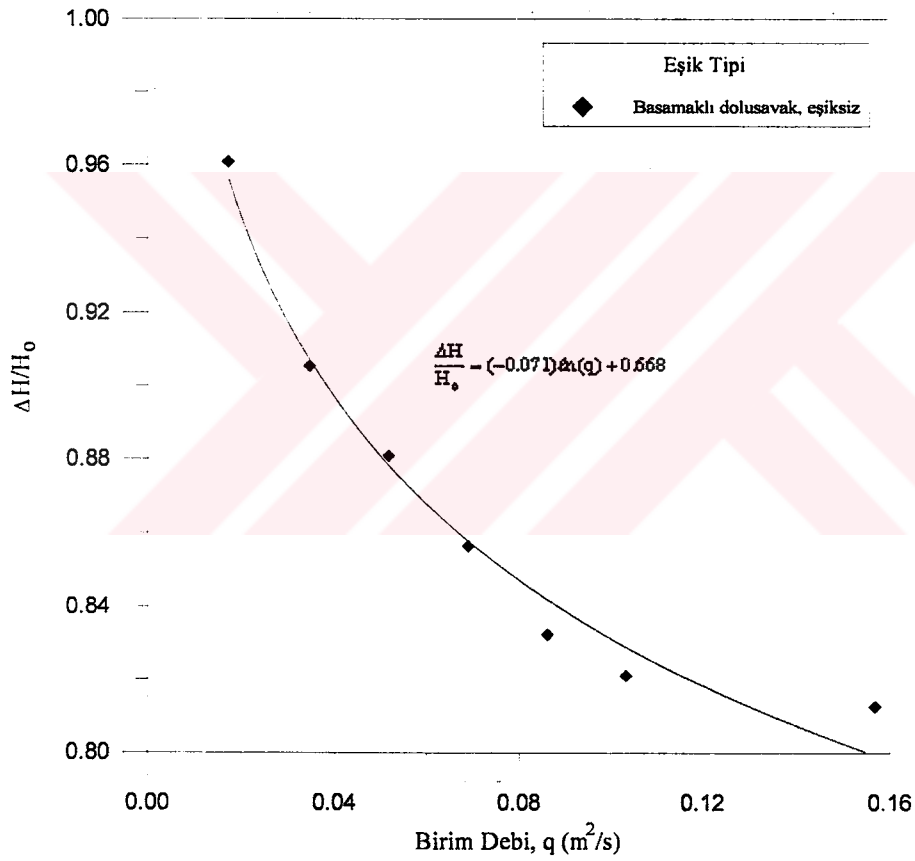
Basamaklı dolusavaklarda 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.3’de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.3’de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Tablo 5.4’de $\frac{\Delta H}{H_0}$ değeri 0.9608 ve 0.8216 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

Tablo 5.3. Basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H_1 [m]	H_2 [m]	Akım Tipi	Havalanmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,085	0,225	Nap Akımı	0,44
0,0010	0,22	0,247	Nap Akımı	0,60
0,015	0,28	0,256	Geçiş Akımı	0,80
0,020	0,34	0,268	Geçiş Akımı	0,83
0,025	0,40	0,274	Sıçramalı Akım	0,90
0,030	0,47	0,281	Sıçramalı Akım	0,95
Max (0,0453)	0,50	0,327	Sıçramalı Akım	1,25

Tablo 5.4. Basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H_o [m]	H_1 [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,09	2,2068	0,9608
0,03448	0,0495	2,3243	0,22	2,1043	0,9053
0,05172	0,0648	2,3472	0,28	2,0672	0,8808
0,06896	0,0785	2,3678	0,34	2,0278	0,8564
0,08620	0,0912	2,3868	0,40	1,9868	0,8324
0,10345	0,1029	2,4044	0,43	1,9744	0,8211
0,15689	0,13592	2,4539	0,46	1,9939	0,8216



Şekil 5.3. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ in değişimi



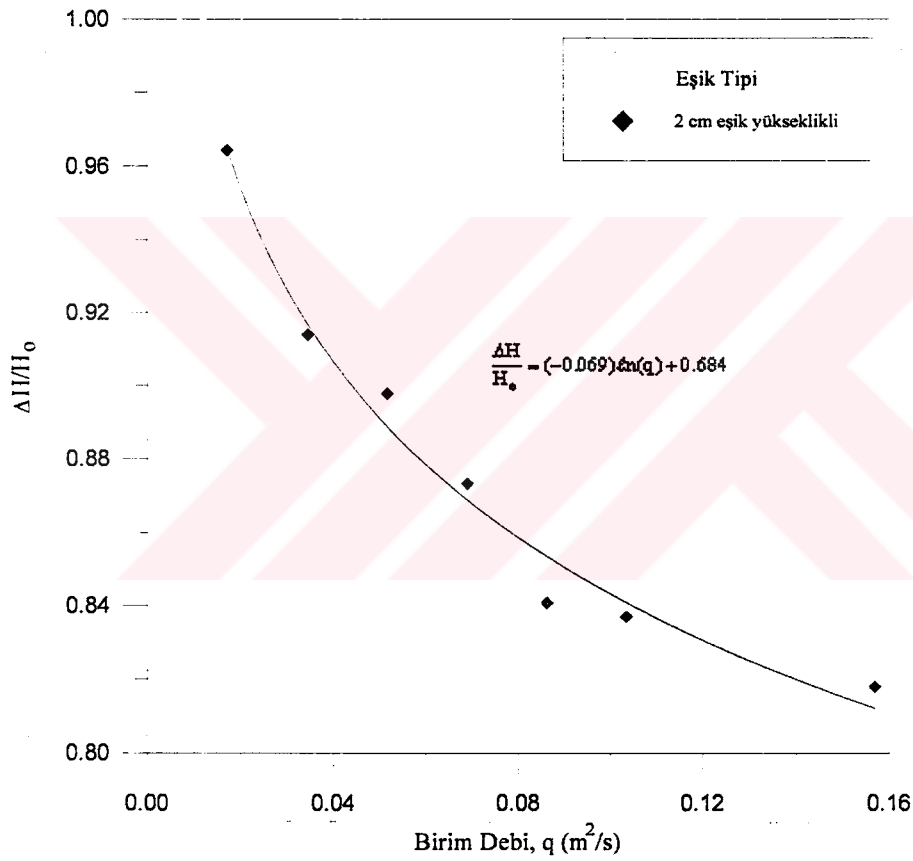
Şekil 5.4. Basamaklı dolusavak

5.1.3. Eşik yüksekliği 2 cm bütün basamak kenarları dolu ile yapılan deneyler (Alternatif 3)

Eşik yüksekliği 2 cm bütün kenarları dolu olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.5,de ve Şekil 5.6 da verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.5’de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Tablo 5.6’da $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri 0.9463 ve 0.8180 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

Tablo 5.5. Eşik yüksekliği 2cm olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalanmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,082	0,218	Nap Akımı	0,32
0,0010	0,20	0,231	Nap Akımı	0,54
0,015	0,24	0,254	Geçiş Akımı	0,65
0,020	0,30	0,259	Geçiş Akımı	0,77
0,025	0,38	0,281	Sıçramalı Akım	0,88
0,030	0,392	0,298	Sıçramalı Akım	0,104
Max (0,0453)	0,445	0,316	Sıçramalı Akım	1,12



Şekil 5.5. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi



Şekil 5.6. Eşik yüksekliği 2 cm olan basamaklı dolusavak

Tablo 5.6. Eşik yüksekliği 2 cm olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$Q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H_o [m]	H_1 [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,082	2,2148	0,9463
0,03448	0,0495	2,3243	0,20	2,1243	0,9139
0,05172	0,0648	2,3472	0,24	2,1072	0,8978
0,06896	0,0785	2,3678	0,30	2,0678	0,8733
0,08620	0,0912	2,3868	0,38	2,0068	0,8408
0,10345	0,1029	2,4044	0,392	2,0124	0,8370
0,15689	0,13592	2,4539	0,445	2,0089	0,8180

5.1.4. Eşik yüksekliği 2 cm bir basamak kenarı dolu bir kenar boş ile yapılan deneyler (Alternatif 4)

Eşik yüksekliği 2 cm bir kenarı dolu bir kenarı boş olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.7’de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.7’de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Basamaklı dolusavaklar da geçiş akımı koşulları fazla istenmeyen bir durumdur bu eşik tipinde oldukça fazla olarak görüldüğünden uygun değildir.

Tablo 5.8’de $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri 0.9630 ve 0.8430 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak

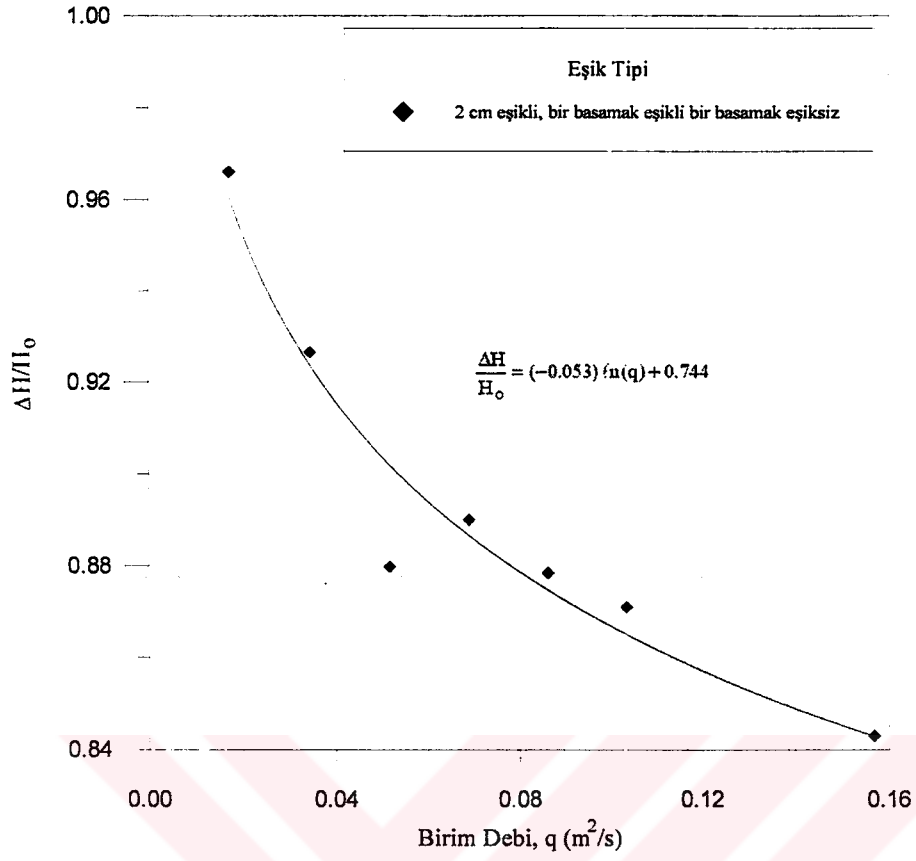
sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H₂ boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir. Şekil 5.8

Tablo 5.7. Eşik yüksekliği 2cm olan bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalanmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,078	0,221	Nap Akımı	0,23
0,0010	0,171	0,239	Nap Akımı	0,30
0,015	0,26	0,249	Geçiş Akımı	0,62
0,020	0,28	0,256	Geçiş Akımı	0,91
0,025	0,29	0,273	Geçiş Akımı	0,98
0,030	0,31	0,279	Geçiş Akımı	1,10
Max (0,0453)	0,385	0,316	Sıçramalı Akım	1,37

Tablo 5.8. Eşik yüksekliği 2 cm bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H _o [m]	H ₁ [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,078	2,2188	0,9660
0,03448	0,0495	2,3243	0,171	2,1533	0,9265
0,05172	0,0648	2,3472	0,26	2,0652	0,8798
0,06896	0,0785	2,3678	0,28	2,1078	0,8901
0,08620	0,0912	2,3868	0,29	2,0968	0,8785
0,10345	0,1029	2,4044	0,31	2,0944	0,8710
0,15689	0,13592	2,4539	0,385	2,0689	0,8430



Şekil 5.7. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi



Şekil 5.8. Eşik yüksekliği 2cm bir basamağı dolu bir basamağı boş olan dolusavak

5.1.5. Eşik yüksekliği 4 cm bütün basamak kenarları ile yapılan deneyler (Alternatif 5)

Eşik yüksekliği 4 cm bütün kenarları dolu olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.9'de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.9'de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Tablo 5.10'de $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri 0,9717 ve 0,8369 arasında değişmektedir.

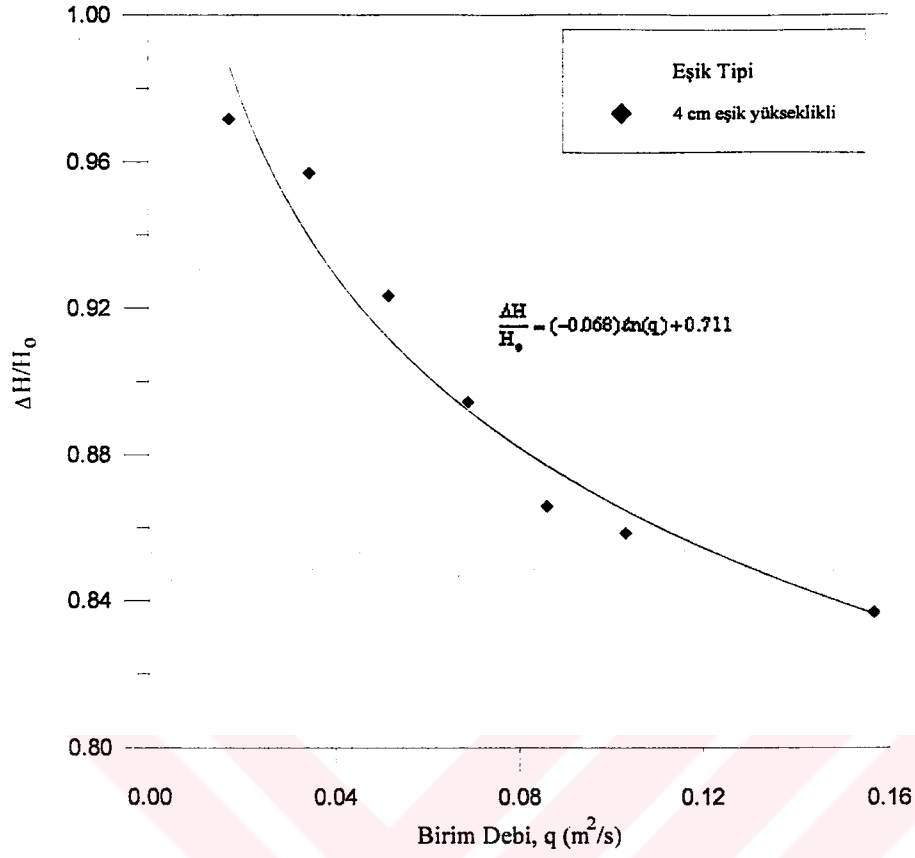
Akım enerjisinin en fazla sönmüldüğü uygun alternatiflerden bir tanesidir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

Tablo 5.9. Eşik yüksekliği 4cm olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalandırılmış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,065	0,22	Nap Akımı	0,37
0,0010	0,10	0,236	Nap Akımı	0,51
0,015	0,18	0,254	Geçiş Akımı	0,64
0,020	0,25	0,268	Sıçramalı Akım	0,73
0,025	0,32	0,276	Sıçramalı Akım	0,85
0,030	0,34	0,296	Sıçramalı Akım	1,92
Max (0,0453)	0,402	0,319	Sıçramalı Akım	1,06

Tablo 5.10. Eşik yüksekliği 4 cm olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H _o [m]	H ₁ [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,065	2,2318	0,9717
0,03448	0,0495	2,3243	0,10	2,2243	0,9569
0,05172	0,0648	2,3472	0,18	2,1672	0,9233
0,06896	0,0785	2,3678	0,25	2,1178	0,8944
0,08620	0,0912	2,3868	0,32	2,0668	0,8659
0,10345	0,1029	2,4044	0,34	2,0644	0,8585
0,15689	0,13592	2,4539	0,402	2,0539	0,8369



Şekil 5.9. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi



Şekil 5.10. Eşik yüksekliği 4 cm olan basamaklı dolusavak

5.1.6. Eşik yüksekliği 4 cm bir basamak kenarı dolu bir basamak kenarı boş ile yapılan deneyler (Alternatif 6)

Eşik yüksekliği 4 cm bir kenarı dolu bir kenarı boş olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.11’de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.11’de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap ve geçiş akımı olduğu görülmektedir. Basamaklı dolusavaklar da geçiş akımı koşulları fazla istenmeyen bir durumdur bu eşik tipinde bütün debi miktarlarında görüldüğünden uygun değildir. Tablo 5.12’de $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri 0,9651 ve 0,8166 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

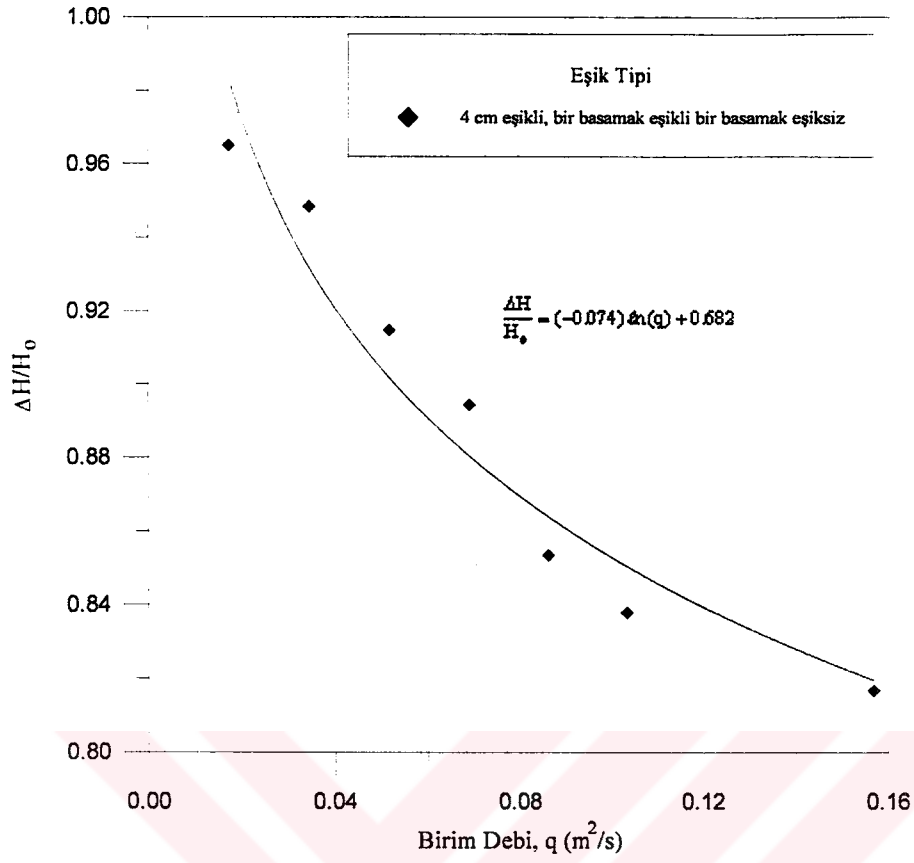
Tablo 5.11. Eşik yüksekliği 4cm olan bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H_1 [m]	H_2 [m]	Akım Tipi	Havalanmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,080	0,229	Nap Akımı	0,37
0,0010	0,12	0,240	Nap Akımı	0,51
0,015	0,20	0,254	Nap Akımı	0,64
0,020	0,25	0,269	Geçiş Akımı	0,73
0,025	0,35	0,281	Geçiş Akımı	0,85
0,030	0,39	0,289	Geçiş Akımı	1,92
Max (0,0453)	0,45	0,319	Geçiş Akımı	1,06

Tablo 5.12. Eşik yüksekliği 4 cm bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak için

$\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H_o [m]	H_1 [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,080	2,2168	0,9651
0,03448	0,0495	2,3243	0,12	2,2043	0,9484
0,05172	0,0648	2,3472	0,20	2,1472	0,9148
0,06896	0,0785	2,3678	0,25	2,1178	0,8944
0,08620	0,0912	2,3868	0,35	2,0368	0,8534
0,10345	0,1029	2,4044	0,39	2,0144	0,8378
0,15689	0,13592	2,4539	0,45	2,0039	0,8166



Şekil 5.11. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ in değişimi



Şekil 5.12. Eşik yüksekliği 4 cm olan bir basamağı dolu bir basamağı boş olan basamaklı dolusavak

5.1.7. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 7)

Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm' e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarları dolu olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.13'de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.15'de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Bu tip eşikler akıma çevrinti kattığından enerji kırılımı fazla olmaktadır. Tablo 5.14'de $\frac{\Delta H}{H_0}$ değeri 0,9642 ve 0,8003 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.



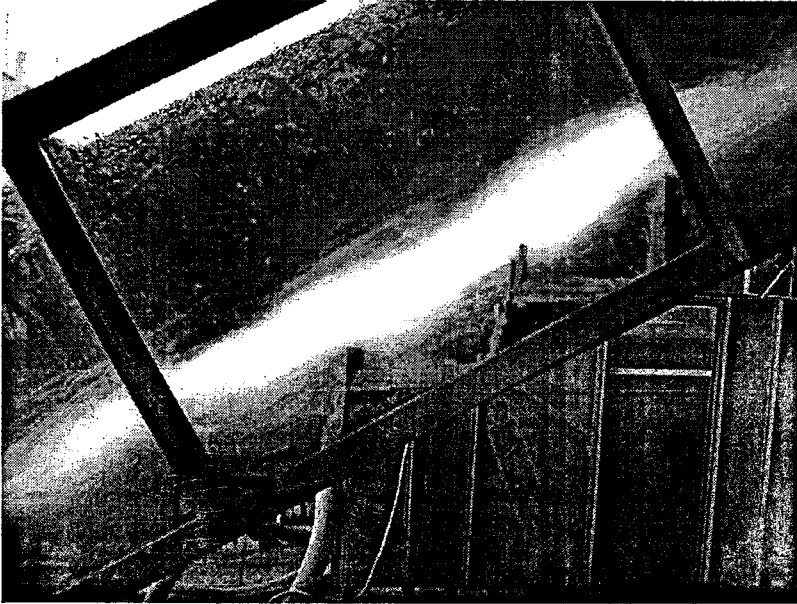
Şekil 5.13. Nap akım örneği

Tablo 5.13. Eşik yüksekliği 4cm den 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

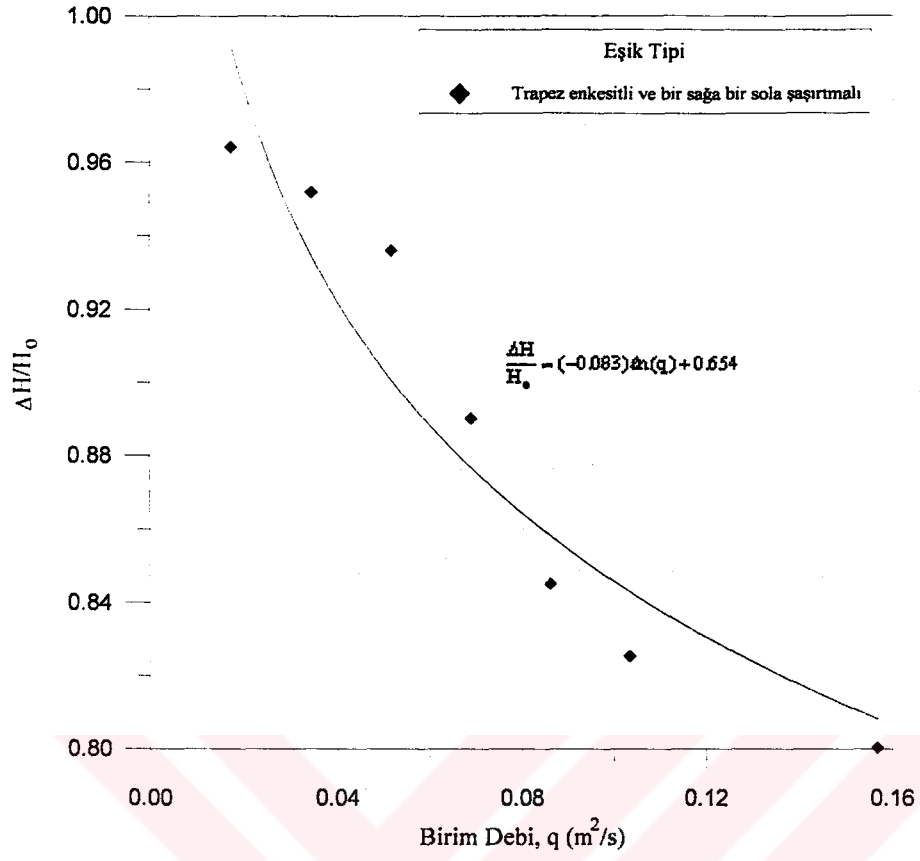
Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalandırılmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,082	0,225	Nap Akımı	0,39
0,0010	0,112	0,231	Nap Akımı	0,60
0,015	0,15	0,248	Nap Akımı	0,69
0,020	0,26	0,271	Geçiş Akımı	0,92
0,025	0,37	0,279	Sıçramalı Akım	1,08
0,030	0,42	0,287	Sıçramalı Akım	1,12
Max (0,0453)	0,49	0,322	Sıçramalı Akım	1,22

Tablo 5.14. Eşik yüksekliği 4cm den 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H _o [m]	H ₁ [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,082	2,2148	0,9642
0,03448	0,0495	2,3243	0,112	2,2123	0,9518
0,05172	0,0648	2,3472	0,15	2,1972	0,9360
0,06896	0,0785	2,3678	0,26	2,1078	0,8901
0,08620	0,0912	2,3868	0,37	2,0168	0,8450
0,10345	0,1029	2,4044	0,42	1,9844	0,8253
0,15689	0,13592	2,4539	0,49	1,9639	0,8003



Şekil 5.14. Sıçramalı akım örneği



Şekil 5.15. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi



Şekil 5.16. Eşik yüksekliği 4cm den 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olan basamaklı dolusavak

5.1.8. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 8)

Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm' e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarları dolu olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.15'de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.15'de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Bu tip eşikler akıma çevrinti kattığından enerji kırımını fazla olmaktadır. Yapılan deneylerin alternatifleri içerisindeki en uygun çözümün bu alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.16'da $\frac{\Delta H}{H_0}$ değeri 0,9634 ve 0,8248 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

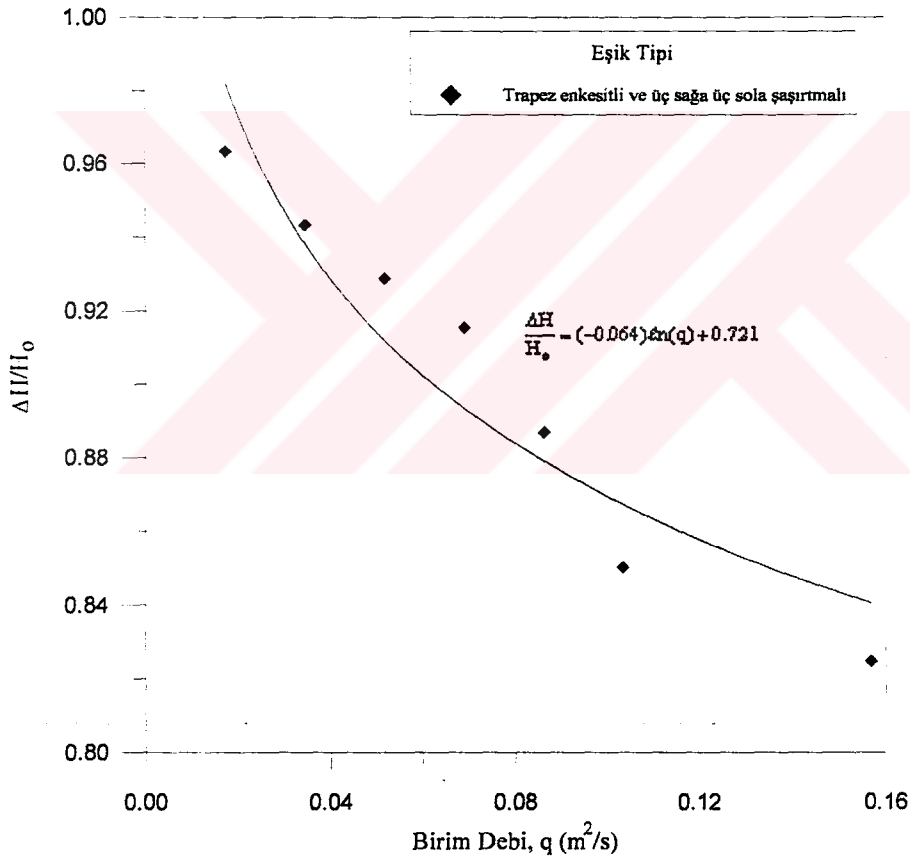
Tablo 5.15. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalandırma bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,084	0,224	Nap Akımı	0,39
0,0010	0,132	0,241	Nap Akımı	0,56
0,015	0,167	0,254	Geçiş Akımı	0,65
0,020	0,199	0,263	Sıçramalı Akım	0,72
0,025	0,271	0,279	Sıçramalı Akım	0,86
0,030	0,361	0,288	Sıçramalı Akım	0,91
Max (0,0453)	0,430	0,291	Sıçramalı Akım	0,96

Tablo 5.16. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak

kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H_o [m]	H_1 [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0,01724	0,0312	2,2968	0,084	2,2128	0,9634
0,03448	0,0495	2,3243	0,132	2,1923	0,9432
0,05172	0,0648	2,3472	0,167	2,1802	0,9288
0,06896	0,0785	2,3678	0,199	2,1678	0,9155
0,08620	0,0912	2,3868	0,271	2,1168	0,8869
0,10345	0,1029	2,4044	0,361	2,0444	0,8503
0,15689	0,13592	2,4539	0,430	2,0239	0,8248



Şekil 5.17. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ ın değişimi



Şekil 5.18. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak kenarlarına 4cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak

5.1.9. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa bir boş basamak ve iki basamak sola gelecek şekilde şaşırtmalı ile yapılan deneyler (Alternatif 9)

Eşik yüksekliği 4 cm den başlayıp 1 cm' e kadar azalan trapez kesitli eşikler iki kenar sağa, bir kenar boş ve iki kenarı sola şaşırtmalı olan basamaklı dolusavaklar da 5-45.30 L/s arasında yapılan deneylerde H_1 ve H_2 ve akım tipi Tablo 5.17'de verilmiştir. Ayrıca bunun grafiği de Şekil 5.20'de sunulmuştur. Tablodan bu tipin akım tiplerinin nap, geçiş ve sıçramalı akım olduğu görülmektedir. Basamaklı dolusavaklar da geçiş akımı koşulları fazla istenmeyen bir durumdur bu eşik tipinde oldukça fazla olarak görüldüğünden uygun değildir. Tablo 5.18'de

$\frac{\Delta H}{H_0}$ değeri 0,9660 ve 0,8125 arasında değişmektedir. Burada H_1 dolusavak sonunda ölçülmüş

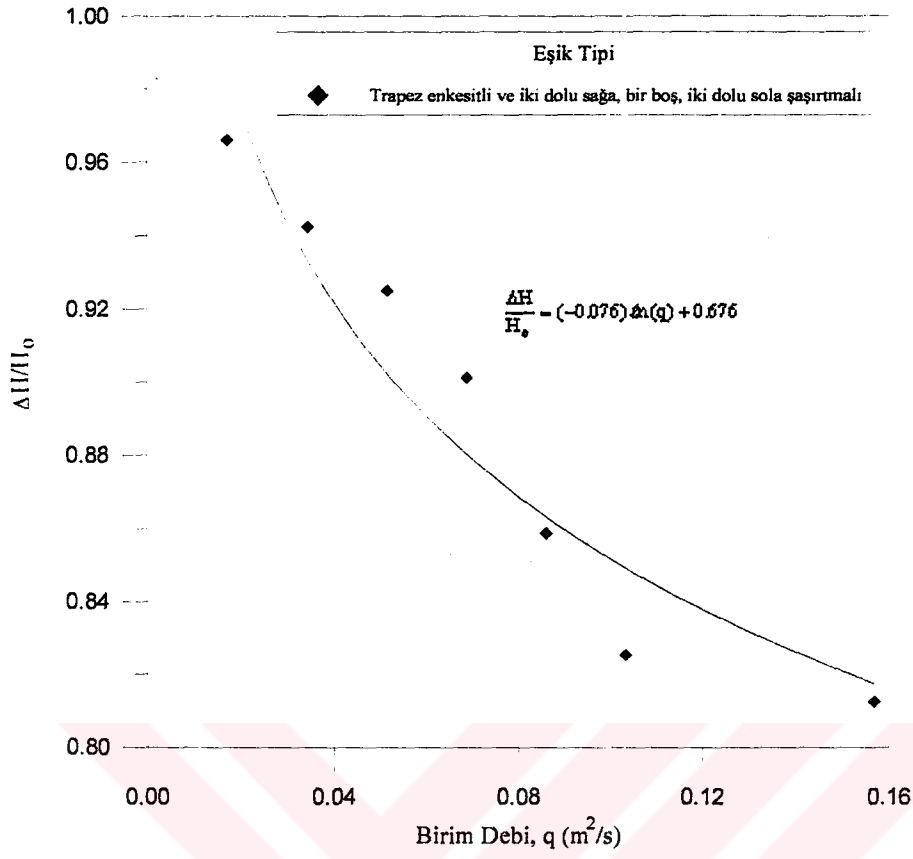
hız yüksekliği, H_2 boşaltım kanalı sonundaki düşey kapaktan 60 cm geride ölçülmüş akım yüksekliğidir.

Tablo 5.17. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa, bir basamak boş ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için akım tipleri ve H yükseklikleri

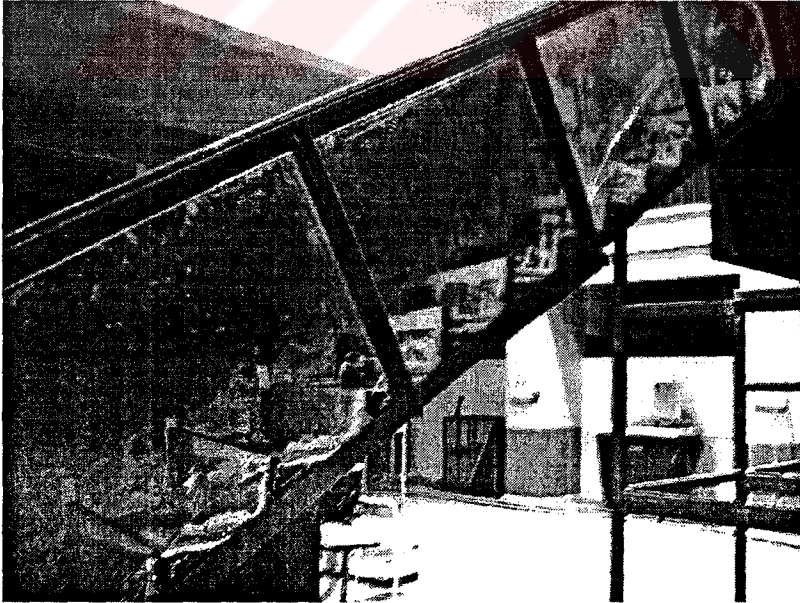
Debi, Q [m ³ /s]	H ₁ [m]	H ₂ [m]	Akım Tipi	Havalanmamış bölgenin uzunluğu [m]
0,005	0,078	0,224	Nap Akımı	0,34
0,0010	0,134	0,246	Nap Akımı	0,57
0,015	0,176	0,261	Geçiş Akımı	0,69
0,020	0,234	0,265	Geçiş Akımı	0,765
0,025	0,337	0,282	Geçiş Akımı	0,905
0,030	0,425	0,284	Geçiş Akımı	1,01
Max (0,0453)	0,480	0,316	Sıçramalı Akım	1,125

Tablo 5.18. Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa, bir basamak boş ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak için $\frac{\Delta H}{H_o}$ oranları

$q = \frac{Q}{B}$ [m ² /s]	$h_{cr} = 3\sqrt{\frac{q^2}{g}}$ [m]	H _o [m]	H ₁ [m]	$\Delta H = H_o - H_1$	$\frac{\Delta H}{H_o}$
0.01724	0,0312	2,2968	0,078	2,2188	0,9660
0.03448	0,0495	2,3243	0,134	2,1903	0,9424
0.05172	0,0648	2,3472	0,176	2,1712	0,9250
0.06896	0,0785	2,3678	0,234	2,1338	0,9012
0.08620	0,0912	2,3868	0,337	2,0498	0,8588
0.10345	0,1029	2,4044	0,425	1,9844	0,8253
0.15689	0,13592	2,4539	0,480	1,9939	0,8125



Şekil 5.19. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi

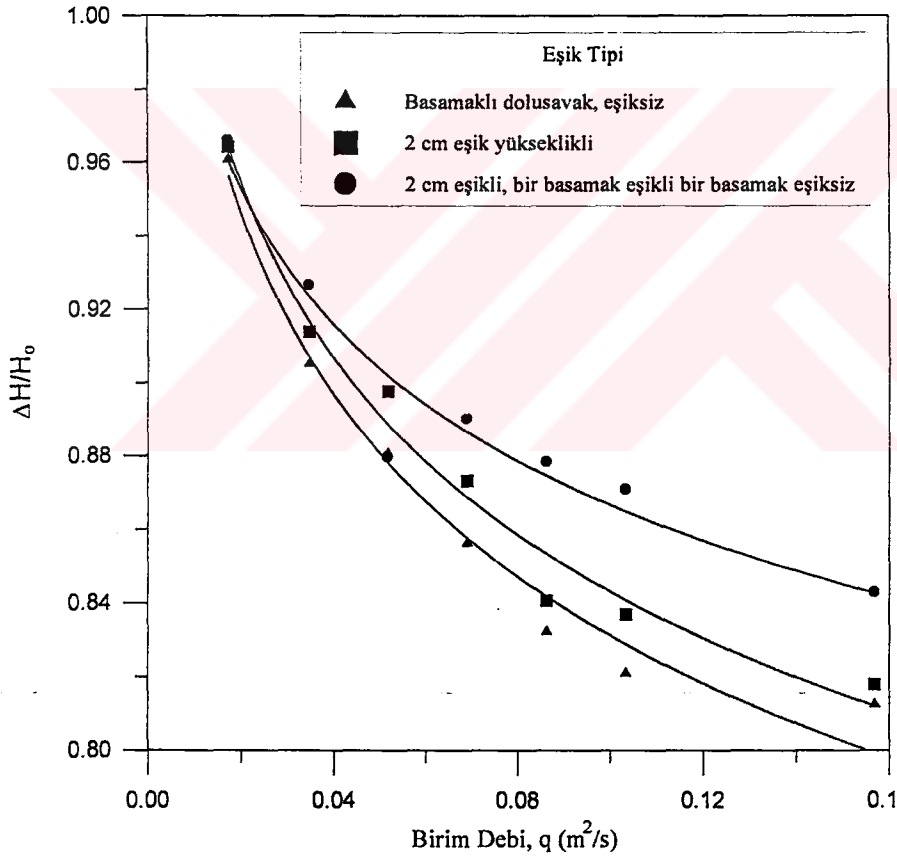


Şekil 5.20 Eşik yüksekliği 4cm den başlayıp 1cm'e kadar azalan trapez kesitli eşikler basamak kenarlarına 4cm olan tarafı iki sağa, bir basamak boş ve iki sola gelecek şekilde şaşırtmalı dolusavak

5.2. Alternatiflerin Karşılaştırılması

5.2.1 Eşiksiz basamaklı dolusavak, eşik yüksekliği 2cm ve eşik yüksekliği 2cm bir basamak kenarı dolu bir basamak kenarı boş olan dolusavak durumlarının karşılaştırılması

Şekil 5.19'dan da görüleceği üzere olaya sadece enerji kırılımı açısından bakılacak olursa en avantajlı çözüm bir basamak kenarı boş bir basamak kenarı dolu olan çözümdür. Fakat basamaklı dolusavaklar da geçiş akımı koşulları istenmeyen bir durumdur. Bu yönden bakılacak olursa bütün basamak kenarlarının dolu olduğu çözüm hem enerji kırılımının fazla olduğu hem de sıçramalı akım koşullarının görüldüğü en kabul edilebilir bir çözümdür(Şekil 5.22).



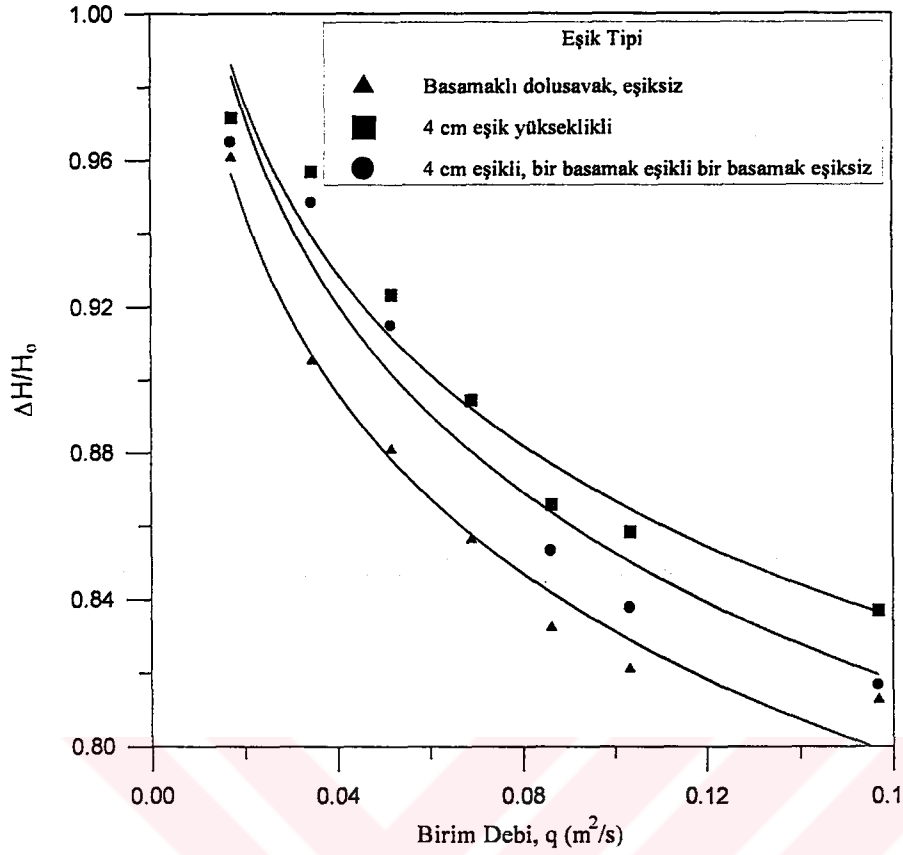
Şekil 5.21. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ in değişimi



Şekil 5.22. Sıçramalı akım örneği

5.2.2 Eşiksiz basamaklı dolusavak, eşik yüksekliği 4cm ve eşik yüksekliği 4cm bir basamak kenarı dolu bir basamak kenarı boş olan dolusavak durumlarının karşılaştırılması

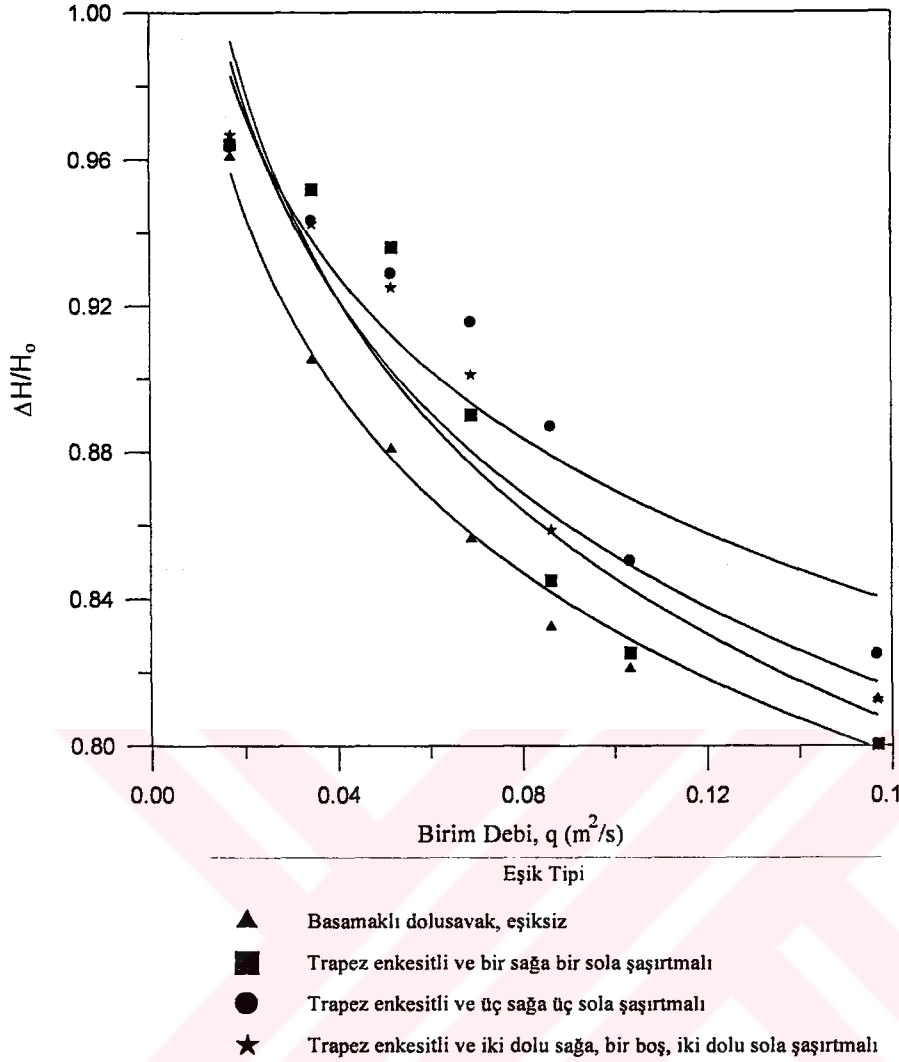
Şekil 5.23 den en iyi alternatifin enerji kırmak bakımından 4cm eşik yüksekliği ve bütün basamakların eşikli olduğu çözüm anlaşılmaktadır.



Şekil 5.23. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi

5.2.3 Eşiksiz basamaklı dolusavak, trapez kesitli bir sağa bir sola, trapez kesitli üç sağa üç sola ve iki sağa, bir boş basamak, iki sola şaşırtmalı eşikli basamak alternatiflerinin karşılaştırılması

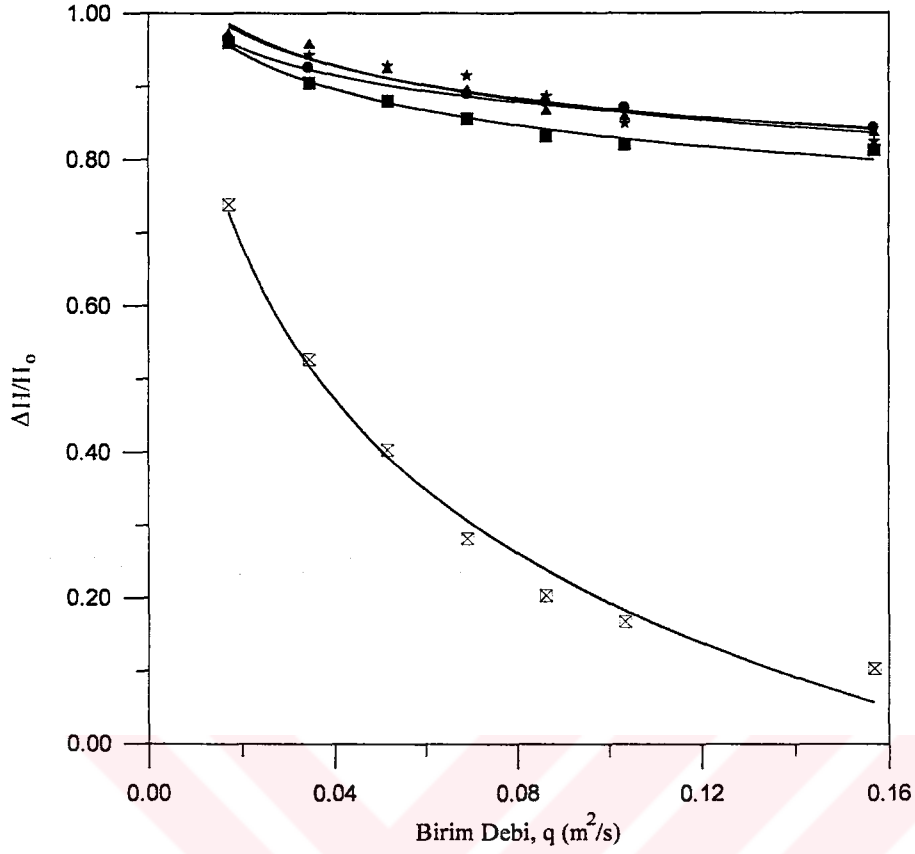
En uygun alternatif gerek enerji sönmülmesi gerekse sıçramalı akım şartlarının görülmesi bakımından üç sağa ve üç sola şaşırtmalı trapez kesitli eşiklerin yerleştirildiği basamaklı dolusavak durumudur(Şekil 5.24).



Şekil 5.24. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ ın değişimi

5.2.4 Basamaksız klasik dolusavak ile en çok enerjinin sönmüldüğü alternatiflerin karşılaştırılması

Klasik dolusavaklar ile basamaklı dolu savaklar arasındaki fark çok belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 5.25 deki grafik ten'de anlaşıldığı gibi basamaklı dolusavaklar boşaltım kanalı boyunca akımın enerjisinin çok büyük bir kısmını sönmülemektedirler. Bu özellikleri itibariyle mansap tarafta yapılacak olan enerji kırıcı yapıların boyutlarının küçülmesine etki ederek baraj maliyetinin azalmasında etkin bir rol oynamaktadırlar.

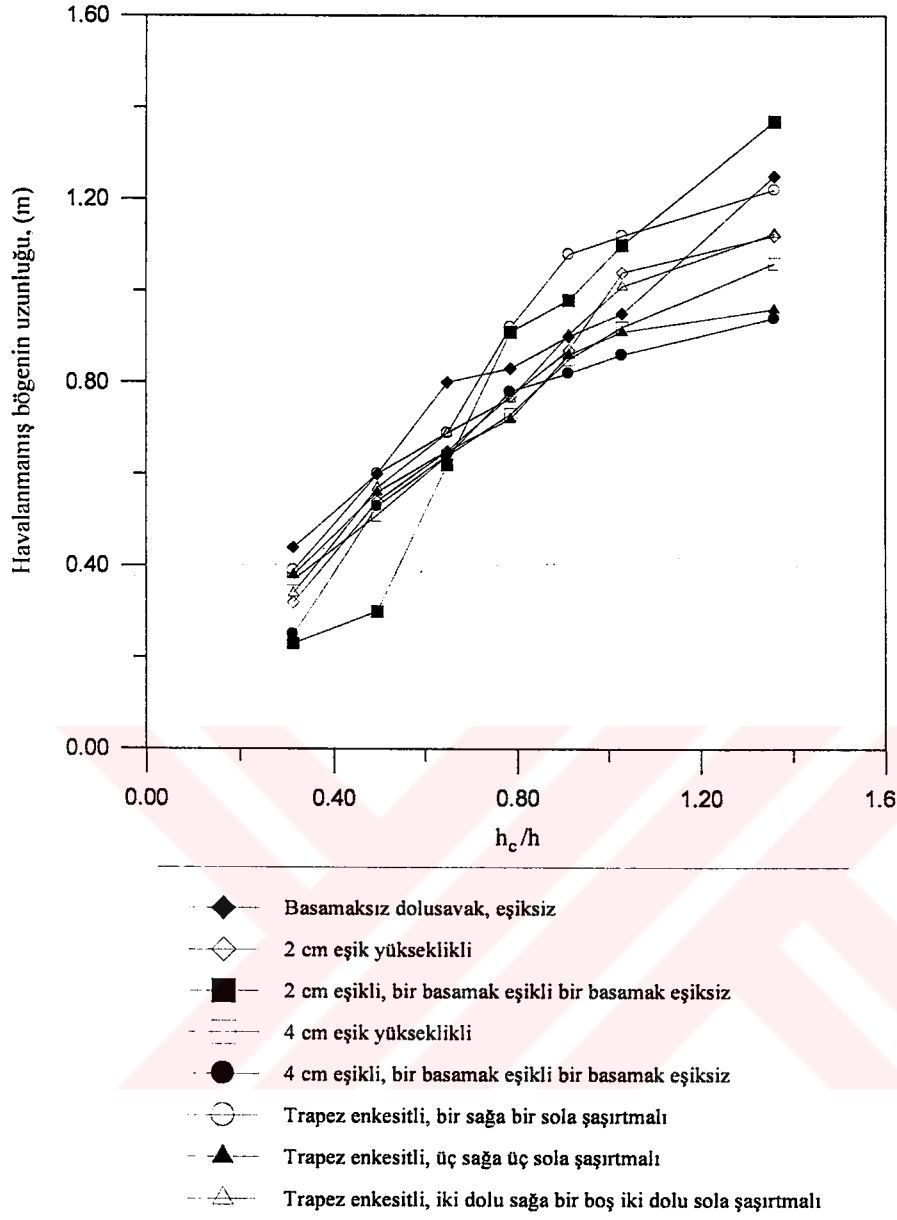


- Eşik Tipi
- ⊠ Basamaksız klasik dolusavak
 - Basamaklı dolusavak, eşiksiz
 - 2 cm eşikli, bir basamak eşikli bir basamak eşiksiz
 - ▲ 4 cm eşik yükseklikli
 - ★ Trapez enkesitli ve üç sağa üç sola şaşırtmalı

Şekil 5.25. Birim debi ile $\frac{\Delta H}{H_0}$ in değişimi

5.2.5 Havalanmayan bölge uzunluğu bakımından alternatiflerin karşılaştırılması

Basamaklı dolusavaklarda boşaltım kanalı boyunca meydana gelen akım içerisinde hava ne kadar kısa süre içerisinde karışırsa ki bu hidrolikte hava-su akımı diye isimlendirilmektedir. Bu noktada akımın enerjisi kırılmaya başlanmıştır demektir. Bunun için havalanmayan bölgenin uzunluğu ne kadar kısa olursa enerji kırılımı o kadar fazla olacağından en uygun alternatifin sıçramalı akımın hangi debiden itibaren meydana geldiği hususlarının da dikkate alınarak belirlenmesinde fayda vardır.



Şekil 5.26. Havalanmayan bölge uzunluğu ile h_c/h değişimi.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

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

Bu çalışmada eşikli basamaklı dolusavakların enerji sönmöleme oranlarını tespit etmek için bir dizi deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Basamaksız klasik dolusavakta akım tipi sel rejiminde olmuştur. Basamaklı ve eşikli dolusavak tiplerinde ise nap, geçiş ve sıçramalı akım gözlenmiştir. Özellikle küçük debilerde (5-10 L/s) nap akımı gözlenmiş, büyük debilerde ise sıçramalı akım gözlenmiştir.

- Küçük debilerde $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerinin daha büyük, büyük debilere gidildikçe $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerinin küçüldüğü gözlenmiştir.
- 4 cm eşik yükseklikli bir basamağı eşikli bir basamağı boş olan basamaklı dolusavakta sıçramalı akım şartları gözlenmemiştir.
- Nap akım rejiminde enerji sönmölenmesi geçiş akımı ve sıçramalı akıma nispeten daha fazla olmuştur.
- Basamaklı eşiksiz dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri, klasik dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerlerinden ortalama %53'daha az bir fark meydana gelmektedir.
- Eşik yüksekliği 4 cm olan basamaklı dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri ile klasik dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri arasında ortalama % 55'lik bir fark oluşmuştur.

- Trapez kesitli eşiklerin 4 cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak dizilen eşikli dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değeri ile klasik dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerleri arasında ortalama % 56'lık bir fark meydana gelmektedir.
- Havalanmayan bölgenin uzunluğunun artması ile enerji sönümlenmesi oranının azaldığı görülmüştür.
- Trapez kesitli eşikli dolusavakların havalanmayan bölge uzunluklarının diğer tiplere nispeten daha az olduğu gözlenmiştir.
- Birim debinin artması ile havalanmayan bölgenin uzunluğunun da arttığı görülmüştür.
- Basamaklı ve eşikli dolusavaklar ile klasik dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerleri karşılaştırıldığı zaman klasik dolusavakların $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerlerinin diğerlerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür.
- Trapez kesitli eşikli dolusavakların $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerleri, test edilen diğer tiplere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Bir basamağı eşikli bir basamağı boş bırakılan alternatiflerde sıçramalı akım daha az gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Boes, R. M., and Hager, W. H., 2001, Two-phase flow characteristics of stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*: under review.
- [2] Chanson, H. and Toombes, L., 2001. Experimental Investigations of Air Entrainment in Transition and Skimming Flows down a stepped Chute Application to Embankment Overflow Stepped Spillways. RESEARCH REPORT No. CE 158, Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Australia.
- [3] Chanson, H., 1994. Hydraulics of Skimming Flows over Stepped Channels and Spillways. *Journal of Hydraulic Research*, 32, 3, 445-460.
- [4] Charles E. Rice, C. E., and Kem C. Kadavy, K. C., 1996, Model study of a roller compacted concrete stepped spillway, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 122, 6, 292-297.
- [5] Yasuda Y. and Takahashi M., 2000, Characteristics of Skimming Flow over Stepped Spillways. Discussion, *Journal of Hydraulic Engineering*, 126, 11, 869-871.
- [6] Tatewar, S.P., Porey, P.D., Ingle, R.N., 1999, Selection of Step Height for maximum Energy Dissipation on Stepped Spillway. Proc. National Conference on Hydraulics – HYDRO-99, 306-311.
- [7] Chanson, H., 1996. Prediction of the Transition Nappe/Skimming Flow on a Stepped Channel, *Journal of Hydraulic Research*, 34, 3, 421-429.
- [8] Robinson K, Rice C., Kadavy K., and Talbot R., (1998) Energy Losses on a Roller Compacted Concrete Stepped Spillway” ASCE Conference, Water Resources Engineering, 2, 1434-1439.
- [9] Yasuda Y., 2003, Effect of step cavity area on flow characteristics of skimming flows on stepped chutes, *Journal of Hydraulic Research*, 32, 5, 385-390.
- [10] Boes, R.M., 2000, Two-phase flow and energy dissipation on stepped spillways. Proc. ASDSO Annual Conference on Dam Safety, Providence, RI, USA: CD-ROM.
- [11] Boes, R.M., 1999, Physical model study on two-phase cascade flow. Proc. John F. Kennedy Student Paper Competition, 28th IAHR Congress, Graz, Austria, CD-ROM, 1.1.
- [12] Boes, R.M., 2000, Scale effects in modelling two-phase stepped spillway flow. Proc. Intl. Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, VAW, ETH Zürich, Balkema: Rotterdam, The Netherlands: 53-60.
- [13] Yasuda Y. and Ohtsu, I., 2000, Characteristics of Plunging Flows in Stepped Channel Chutes, Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, Zürich, Switzerland, Balkema Publications, 147-152.
- [14] Boes, R.M. and Hager, W.H., 2003, Two-phase flow characteristics of stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*: under review. 129, 9, 661-670.

- [15] Minor, H.E., and Hager, W.H., 2000, Hydraulics of stepped spillways, Proceedings of the international workshop on hydraulics of stepped spillways, Zürich, Switzerland, 90, 216.
- [16] Ingle, R.N., and Tatewar, S.P., 1999, Nappe Flow on inclined stepped spillways, Journal of Engineers, 79, 175-179.
- [17] James, C.S., Main, A.G., and Moon, J., 1998, Enhanced energy dissipation in stepped chutes, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Maritime Engineering, 148, 4, 277-280.
- [18] Pinheiro, A., and Relvas, A., 2000, Non-conventional spillways over earth dams. An economical alternative to conventional chute spillways, Dam Engineering, 10, 4, 195-201.
- [19] Pinheiro, A., and Fael, C., 2000, Energy dissipation in stepped spillways with nappe flow, International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, Zurich, 125, 11, 455-476.
- [20] Rajaratnam, N., and Chamani R., 1990, Skimming Flow in Stepped Spillways, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 116, 4, 587-591.
- [21] Pegram G. S., and Mottram S. R., 1999, Hydraulics of skimming flows on modeled stepped spillways, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125, 5, 500-510.
- [22] Chanson. H., 1994, Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes, Journal of Hydraulic Research, 32, 2, 213-218.
- [23] Chamani, M. R., and Rajaratnam, N., 1999, Onset of skimming flow on stepped spillways, Journal Hydraulic Engineering., ASCE, 125, 9, 969-971.
- [24] Ferrando M., 2002, On the incipient aerated flow in chutes and spillways Journal of Hydraulic Research, 40, 1, 94-98.
- [25] Rogala. R., and Rędowicz W., 1997, Rehabilitation of the dam cascade in Pilchowice, Wrocław University of Technology, Institute of Geotechnics and Hydrotechnics, 27, 2, 53-70.
- [26] Chanson. H., 1995, Air Bubble Entrainment in Free-surface Turbulent Flows. Experimental Investigations, Report CH46/95, Department. of Civil Engineering, University of Queensland, Australia, 368-390.
- [27] Matos. J., and Frizell. K.H., 2001, On the role of stepped overlays to increase spillway capacity of embankment dams". ICOLD European Symposium, Geiranger, Noruega, 1-10.
- [28] Frizell. K., Matos. J., and Pinheiro. A., 2000, Design of Concrete Stepped Overlay Protection for Embankment Dams, International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, Zurich, Suíça, Março.
- [29] Kaş, İ., 1998, Basamaklı dolusavaklarda akım ve enerjisinin sönmülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 97 s.
- [30] Boes, R., 2000, Hydraulics of skimming flow on modeled stepped spillways, Journal of Hydraulic Engineering, 126, 12, 947-948.

[31] Boes, R.M.,and Minor. H., 2000, Guidelines for the hydraulic design of stepped spillways. Proc. International. Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, VAW, ETH Zürich, Balkema: Rotterdam, The Netherlands: 163-170.

[32] Chanson H., 1993, Stepped Spillway Flows and Air Entrainment, Journal of Civil Engineering
20, 3, 422-435.

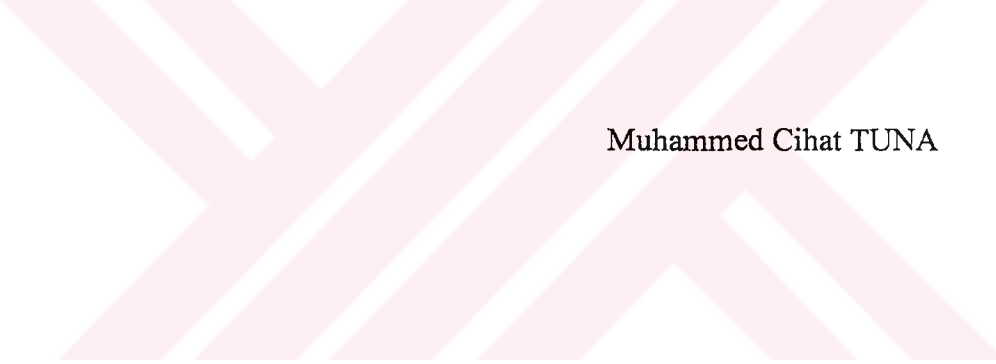
[33] Chanson. H., 1993, Self-Aerated Flows on Chutes and Spillways, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119, 2, 220-243.

[34] Matos. J., 2000, Hydraulic Design of Stepped Spillways over RCC Dams, International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, Zürich, Switzerland, Balkema Publications, 187-194.



ÖZGEÇMİŞ

16-02-1981 Tarihinde Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladıktan sonra 1998 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenimine başladı. Haziran 2002'de İnşaat Mühendisliğinden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı yıl Fırat Üniversitesinde yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.



Muhammed Cihat TUNA