

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞÜT KANALLARINA YERLEŞTİRİLEN FARKLI TİP ENERJİ KIRICI
BLOKLARIN İNCELENMESİ**

Özlem ÖZBAY

Tez Yöneticisi
Y. Doç. Dr. Nihat KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞÜT KANALLARINA YERLEŞTİRİLEN FARKLI TİP ENERJİ KIRICI
BLOKLARIN İNCELENMESİ**

Özlem ÖZBAY

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, .../.../2008 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: **Y. Doç. Dr. Nihat KAYA**

Üye:

Üye:

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

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince değerli görüş ve tavsiyelerinden büyük ölçüde faydalandığım Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU' na, teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
SİMGELER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. ENERJİ KIRICI YAPILAR	4
3.1. Hidrolik Sıçrama	4
3.1.1. Sıçrama Derinliği	4
3.1.2. Sıçrama Uzunluğu	6
3.1.2.1. Sıçrama Uzunluğunu Veren Ampirik Formüller	6
3.1.2.2. Sıçrama Uzunluğunu Veren Deneysel Diyagramlar	7
3.1.3. Sıçrama Sırasında Yer Alan Yük Kayıpları	9
3.1.5. Sıçrama Şekilleri	11
3.2. Düşüm Havuzları	12
3.3. Çarpmalı Havuz Tipi	18
3.4. Bhavani Tipi Düşüm Havuzu	19
3.5. Dişli Eğik Düzlemler	22
3.5.1. Dişli Eğik Düzlemlere Giriş Şartları	24
3.5.1.1. Eşik Kontrolü	24
3.5.1.2. Kontrol Dişi	25
3.5.1.3. Kontrolsüz Giriş	26
3.5.2. Dişli Eğik Düzlemin Kapasitesi	26
3.5.3. Dişli Eğik Düzlem Tasarımı ve Enerji Kırıcı Diş Boyutları	26
3.5.4. Dişli Eğik Düzlemlerin Kaymaya Karşı Dengesinin Araştırılması	28
3.5.4.1. Uzun Dişli Düzlemler	28
3.5.4.2. Kısa Dişli Düzlemler	29
4. MATERYAL ve METOT	31
4.1. Materyal	31
4.2. Deneyde Kullanılan Enerji Kırıcı Blok Tipleri	31
4.3. Enerji Kırıcı Blokların Plandaki Dizilişi	33

4.4. Deney Düzenegi	34
4.5. Deneyin Yapılışı	35
5. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	36
6. SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Sıçramanın şeması	4
Şekil 3.2 Sıçramanın memba ve mansap derinliklerini veren eğri	5
Şekil 3.3 Memba derinliğinin fonksiyonu olarak sıçrama uzunluğu	8
Şekil 3.4 Mansap derinliğinin fonksiyonu olarak sıçrama uzunluğu	9
Şekil 3.5 Sıçramada yer alan yük kaybı	9
Şekil 3.6 Sıçramanın karakteristikleri	10
Şekil 3.7 Froude sayısına bağlı olarak özgül enerjinin değişimi	11
Şekil 2.8 Değişik sıçrama şekilleri	11
Şekil 3.9 USBR IV. Tip düşüm havuzu	13
Şekil 3.10 USBR IV. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği	14
Şekil 3.11 USBR IV. Tip düşüm havuzunun sıçrama uzunluğu	14
Şekil 3.12 USBR III. Tip düşüm havuzu	16
Şekil 3.13 USBR III. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği	16
Şekil 3.14 USBR III. Tip düşüm havuzunda blok ve mansap eşiği yüksekliği	16
Şekil 3.15 USBR III. Tip düşüm havuzunda sıçrama yüksekliği	17
Şekil 3.16 USBR II. Tip düşüm havuzu	17
Şekil 3.17 USBR II. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği	17
Şekil 3.18 USBR II. Tip düşüm havuzunda sıçrama uzunluğu	18
Şekil 3.19 Çarpmalı havuz tipi ve boyutlandırma kriterleri	19
Şekil 3.20 T bloklu Lower Bhavani düşü havuzu	21
Şekil 3.21 Dişli eğik düzlemler (USBR 1978)	23
Şekil 3.22 Kullanılan giriş tipleri (a) eşik kontrolü, (b) kontrol dışı, (c) kontrolsüz giriş	25
Şekil 3.23 Dişli eğik düzlemlerin tasarımı	28
Şekil 4.1 Enerji kırıcı blok tipleri (a-d)	32
Şekil 4.2 Enerji kırıcı blokların plandaki dizilişi	33
Şekil 4.3 Deney düzeneği	34
Şekil 4.4 Enerji kırıcı blokların şüt kanalındaki görünümü	34
Şekil 5.1 Şüt kanallarındaki farklı tip enerji kırıcı bloklardaki $\Delta H/H_{\max}$ ve q arasındaki değişim	44
Şekil 5.2 Enerji kırıcı bloksuz ve enerji kırıcı bloklu şüt kanallarındaki enerji sönümleme oranları ve şüt kanalı açısı arasındaki değişim	46
Şekil 5.3 Basamaklı dolu savaklar ile enerji kırıcı bloklu şüt kanallarının enerji sönümleme oranlarının karşılaştırılması	47

SİMGELER

H	: Kapak arkasındaki su yüksekliği (m)
h_1	: Kapaktan sonraki akım yüksekliği (m)
v_1	: Kapaktan sonraki akımın hızı (m/sn)
h_s	: Enerji kırıcı bloktan sonraki akımın yüksekliği (m)
v_s	: Enerji kırıcı bloktan sonraki akımın hızı (m/sn)
E_1	: Kapaktan sonraki akımın enerji yüksekliği (m)
E_s	: Enerji kırıcı bloktan sonraki akımın enerji yüksekliği (m)
F_1	: Kapaktan sonraki akımın Froude sayısı
F	: Kuvvet (t/m^2)
γ	: Suyun özgül ağırlığı (t/m^3)
A	: Blokların mansap tarafındaki yüzeylerin alanı (m^2)
$h_1 + h_{v1}$	: Havuza giren suyun sipesifik enerjisi (m).
h_i	: Giriş kaybı
h_s	: Eşik yüksekliği
J_t	: Kanalın taban eğimi
θ	: Dolu savak ve kanalın birleşme açısı
g	: Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)
h_{kr}	: Kritik akım derinliği (m)
q	: Birim en debi (m^3/sn)
L	: Hidrolik sıçrama uzunluğu (m)
L	: Düşüm havuzu uzunluğu (m)
w	: Şut bloklarında max. dış genişliği
h_2	: Hidrolik sıçrama yüksekliği (m)
Q	: Debi (m^3/sn)
Δh	: Çarpmalı havuz tipinde kırılması gereken enerji yüksekliği (m)
V	: Çarpmalı havuz tipinde havuz girişindeki suyun hızı (m/sn)
h	: Çarpmalı havuz tipinde havuz girişindeki su yüksekliği (m)
F	: Froude sayısı
B	: Çarpmalı havuz tipinde havuz genişliği (m)
bw	: Deney düzeneğinde kullanılan enerji kırıcı blok genişliği (m)
μ	: Kayma sürtünme katsayısı
W_c	: Giriş kısmındaki beton ağırlığı
W_w	: Giriş kısmındaki suyun ağırlığı

- U : Dikey yukarı kaldırma kuvveti
- H : Enerji kırıcı blok yüksekliği
- H_d : Şüt kanalının başlangıcı ve sonu arasındaki dik uzunluk (m)
- F₁ : Memba kesme duvarlarının yüzeyine, memba yönünde etkiyen hidrostatik basınç
- F₂ : Giriş eşiğinin memba yüzeyine etkiyen hidrostatik basınç
- F₃ : Enerji kırıcı dişlerin memba yüzeyine etki eden hidrostatik basınç kuvvetinin yatay bileşeni
- F₄ : Mansap kesme duvarlarının memba yüzeyine, yoğunlaştırılmış toprak yükünün uyguladığı kuvvettir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞÜT KANALLARINA YERLEŞTİRİLEN FARKLI TİP ENERJİ KIRICI BLOKLARIN İNCELENMESİ

Özlem ÖZBAY

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2008, Sayfa: 50

Enerji kırıcı bloklar veya şütler, sulama projelerinde yıllardır kullanılmaktadırlar. Bu yapıların, uygulamada kullanılması ile hem teknik açıdan ve hem de ekonomik açıdan enerji sönümleme problemlerine çözüm getirdiği anlaşılmıştır. Enerji kırıcı şütler, tahliye kanallarında, düşülerde ve açık kanal sistemlerinde akımın enerjisini sönümlemede yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı, şüt kanallarına yerleştirilen enerji kırıcı dişlerin enerji sönümleme oranlarını araştırmaktır. Dört tip enerji kırıcı diş ile deneyler yürütülmüştür. Bu dişler sırayla; basamaklı, trapez, T şekilli ve beşgendir. Akımla temas eden yüzey uzunlukları eşit alınmıştır ve bloklar şüt kanalı boyunca şaşırtmalı olarak kanal içerisine yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan farklı geometrik şekilli blokların enerji sönümleme oranları birbirine yakın çıkmıştır. Basamaklı enerji kırıcı bloğun enerji sönümleme oranı diğer enerji kırıcı bloklardan biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Fakat bloksuz ve bloklu şüt kanallarına ait enerji sönümleme oranları karşılaştırıldığında, bloklu tiplerin enerji sönümleme oranlarının çok daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji kırıcı blok, Enerji kırıcılar, Enerji sönümleme, Hidrolik sıçrama, Şüt kanalı, Dolusavak.

ABSTRACT

MSc Thesis

AN INVESTIGATION OF ENERGY DISSIPATION RATIOS OF DIFFERENT TYPE ENERGY DISSIPATOR BLOCKS IN CHUTE CHANNELS

Özlem ÖZBAY

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2008, Page: 50

Baffled aprons or chutes have been in use on irrigation projects for many years. The fact that many of these structures have been built and have performed satisfactorily indicates that they are practical and that in many cases they are an economical answer to the problem of dissipating energy. Baffled chutes are used to dissipate the energy in the flow at a drop and are most often used on canal waste ways or drops.

The aim of this study is to investigate energy dissipation ratio of baffle blocks placed the chute channels. The experiments were conducted with for baffle block types. These baffle blocks are respectively stepped, trapezoidal, T-shaped and wedge type. Surface length of baffle blocks was taken as the same and the baffle blocks were placed according to non he same row in the chute channel. Energy dissipation ratios of baffle blocks having different geometrical shapes were obtained as near each other. It can be seeing that stepped baffle block type have slightly higher values of energy dissipation than the other baffle blocks tested in the study. But, When the energy dissipation ratio of the non baffle chute and baffle chute compare to each other, it is shown that the energy dissipation ratio of baffle chute is higher than the non baffle chute.

Keywords: Baffle block, Energy dissipators, Energy damping, Hydraulic jumping, Chute channel, Spillway

1. GİRİŞ

Akarsu yapılarının çoğunda yapıdan sonra akarsuya bırakılan ve yüksekten düşen suyun önemli bir miktarda hidrolik enerjisi vardır. Bu enerji akımda yüksek hızlar meydana getirir. Bu yüksek hızlar ise büyük basınç ve sürtünme kuvvetleri meydana getirerek akış yatağında oyulma, aşınma ve kavitasyonlara yol açarlar. Bunun sonucu olarak yapılar yıkılabilir. Bir su yapısında yüksek hızla çıkan suyun enerjisini kırarak yapıya ve çevredeki yapılara zarar vermeden suyu mansaba aktaran tesislere enerji kırıcı yapılar denir.

Enerji kırıcı yapılar, bir sulama kanalında şütten düşen, bir hareketli bağlamanın kapak altından geçen, bir baraj dip savağından boşalan, bir bağlama ya da baraj dolu savağından dökülen veya benzeri durumlarda suyun enerjisini kırmak için kullanılırlar. Büyük düşümelerde, özellikle yüksek barajların sularını akıtan dolu savaklarda çok büyük enerjinin kırılması gerekir [1].

Enerji kırıcı yapılar, dolu savaklarda ve sonunda yer alan, en önemli elemanlardan birisidir. Bu yapılar, dolusavak iletim kanalı boyunca ve kanal sonunda yüksek hızlara erişen akışın enerjisini, baraja, dolusavak yapısına, baraj mansabına ve mansap bölgesindeki yerleşim yerlerine zarar vermeyecek şekilde kırıp, akışı sakin hale getirme vazifesini görürler [1]. Etkili bir enerji kırıcı, yapıya ve yapının alt tarafındaki kanala zarar vermeden hızlı akan suyu yavaşlatır [24].

USBR tarafından şüt blokları, enerji kırıcı bloklar ve özel çıkış eşikleri geliştirilerek standart enerji kırıcı havuzlar yapılmıştır [2]. Hız $V < 18,2$ m/s ve $q < 18,6$ m²/s olmasıyla kullanılabilen şüt blokları, özel çıkış eşikleri ve enerji kırıcı bloklara sahip USBR Tip III. bunun bir örneğidir. Bu limitlerin dışındaki kullanım kavitasyon gibi zararlara neden olabilir. Blokların konumu ve inşası önemli olmalıdır [3].

Enerji kırıcı bloklar, şütlerde ve enerji kırıcı havuzlarda enerji kırmaya yardım etmek amacıyla, türbülansın artışını ve sıçrama oluşumunu dengelemek için inşa edilirler.

Düşük akımlar için, enerji kırıcı bloklar mansap suyu yetersizliğini karşılamada ve yüksek akımlar için de akımı nehir yatağından uzağa saptırmada yardımcı olurlar [4].

Enerji kırıcı bloklar, akımın aşırı hızını engelleyerek, akım için uygun bir hız sağlarlar. Birçok enerji kırıcı blok yapılmış ve yerinde test edilmiştir. Var olan yapıların bazıları özel yapılar için hazırlanmış hidrolik model testlerinden elde edilerek geliştirilmiştir [5].

Şüt blokları, akışın enerjisinin kırılmasında istenilen türbülansın meydana gelmesine yardımcı olmak, akışı belirli bir sayıda su jetine bölmek, havuza giriş akışının etkili yüksekliğinin arttırılmasını sağlamak için havuz girişine yerleştirilen yapılardır. Bu blokların havuzun merkez çizgisine simetrik ve akış yönünde paralel olacak şekilde projelendirilmesi gerekir [2, 6].

Çarpma blokları, mansap su derinliğinin azalmasını, Şüt ve enerji kırıcı havuz boyutunun kılmasını ve havuzdaki türbülansın artmasını tam olarak sağlayan yapılardır [6, 7]. Şüt üzerine yerleştirilen çoklu sıralı enerji kırıcı blokların olması akış yatağının yüksekliğine bağlı olmaksızın,

akımın aşırı hızlanmasını engeller ve makul bir hızla akmasına olanak sağlar. Akım dişlerin üzerinden, arasından ve çevresinden geçtiği için bilinen yöntemlerle şütteki akım şartlarının tanımlanması mümkün değildir. Akım, enerji kırıcı diş yüksekliğine ve deşarja bağlı olarak her dişe geldiğinde yavaşlar ve dişi geçtikten sonra tekrar bir miktar hızlanır [19, 24].

Bu bloklar, yüksek hıza sahip akışın enerjisini kırmaya yardımcı olmak, türbülansı artırmak ve sıçramanın oluşumunu dengelemek için şüt üzerine şaşırtmalı sıralı ve enerji kırıcı havuzun yaklaşık orta kesimlerine şüt blokları ile çapraz olacak şekilde havuza yerleştirilirler [6].

Otoyol drenaj kanalları gibi az debi taşıyan yapıların tabanlarında durgun havuzlar sağlanması ekonomik olmayan sonuçlar verir. Durgun havuzun boyunu daha ekonomik hale getirmek ve havuzu tamamen ortadan kaldırmak için enerjinin bir kısmı kanalda kırılır. Basamaklı kanalların yapılması da bir başka alternatiftir. Burada enerjiyi kıran asıl kuvvetler kesme kuvveti ve türbülanstır. Enerji kırıcı dişler kullanılmasının amacı, çarpma yoluyla akımın hızlanmasını önleyip, hızı kontrol edilebilir büyüklükte sınırlamaktır [20, 21].

Enerji kırıcı dişler ve şütler sulama projelerinde yıllardır kullanılmaktadırlar. Bu yapıların inşa edilmesi ve başarılı bir şekilde uygulanması bunların pratik olduğuna işaret etmektedir ve birçok durumda enerjinin kırılması problemine ekonomik bir çözüm getirmektedir. Enerji kırıcı dişler, akış sırasındaki akımın enerjisini kırmak için kullanılır ve çoğunlukla tahliye kanallarında veya şütlerde kullanılırlar. Etkili olmaları için başlangıçta bir kuyruk suyuna ihtiyaç duymazlar [19, 20, 21].

Bu çalışmada, şüt kanallarına yerleştirilen dört adet farklı geometriye sahip enerji kırıcı bloklar üzerinde bir seri deneysel çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en çok enerjiyi sönmleyen enerji kırıcı blok tipi tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Aşağıda hidrolik yapılarda ki enerji kırıcılar hakkında yapılmış olan çalışmalarla ilgili bilgiler verilmektedir.

Rajaratnam ve Hurting [8], “Hidrolik Yapılar için Elek Tipi (Gözenekli) Enerji Kırıcılar” hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, farklı gözenek tipleri üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmada Froude sayısı dikkate alınmış, elekler tek sıra ve iki sıra halinde kullanılarak en uygun biçim bulunmuştur.

Mohamed Ali [9], “Pürüzlü Düşüm Havuzlarının Hidrolik Sıçrama Uzunluğuna Etkisi” hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, kapaktan sonra yüzeyi pürüzlü yapmak için tabana dişler yerleştirilmiştir. Çalışmada farklı kapak açılma miktarları ve Fruode sayısı dikkate alınarak en uygun hidrolik sıçrama uzunluğu elde eden ve yapım ekonomikliği de dikkate alınarak uygun yüzey pürüzlülüğü bulunmuştur.

Peyras, Royet ve Degoutte [10], “Basamaklı Gabion Dolusavaklar Üzerindeki Akım ve Enerji Kırıcılar”, hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, farklı akım tipleri altında gabionları (tel kafesler) basamak üzerindeki yerleşim şekline göre test etmişlerdir. Yapılan çalışma sonunda, düşüm havuzunun %10-30 oranında küçüldüğü ve yapım maliyetinin de düştüğü gözlenmiştir.

Christodoulou [11], “Basamaklı Dolusavaklarda Enerji Kırıcılar”, hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, basamak ebatları değiştirilerek en uygun şekli bulunmaya çalışılmıştır.

Nakato [12], “Pit 6 Barajının Düşüm Havuzunda Modellerin Hidrolik Performans Testleri”, hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışma, Kuzey Kaliforniya’da ki Pit nehri üzerinde ki Pit 6 barajında yapılmıştır. Dolusavaktan fazla miktarda su akıtıldığı için en uygun enerji kırıcı blok tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, dolusavak üzerindeki akıma hava verme kanalının şekli de incelenmiştir.

Chamani ve Rajaratnam [13], “Basamaklı Dolusavaklar Üzerinde Fırlatmalı Akım”, hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, fırlatmalı akımlar için basamaklı dolusavaklarda, enerji kaybının kritik akımla basamak yüksekliği arasındaki değişim miktarı incelenmiştir.

Kuuiammu ve Rao [22], “Bhavani Tipi Düşü Havuzları İşleyişleri için Çarpma Olayı” hakkında çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, T şekilli bloklar kullanarak farklı bir düşü havuzu tasarlamışlardır.

Morris [23], “Enerji Kırıcı Dişler Arasındaki Optimum Aralık” hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışmada enerji kırıcı dişlerin aralık ve yükseklik oranlarını bulmaya çalışmıştır.

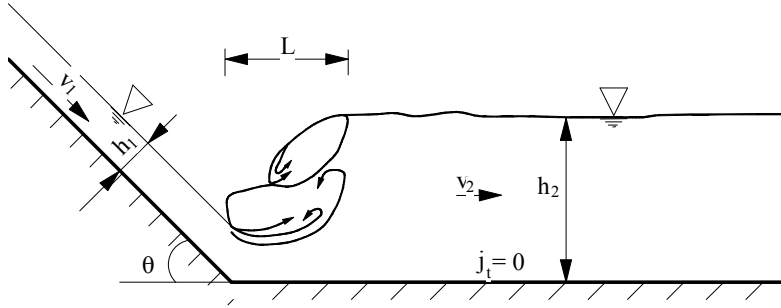
3. ENERJİ KIRICI YAPILAR

3.1. Hidrolik Sıçrama

Hidrolik prensiplerini uygulayarak enerji kaybetmenin en iyi yolu hidrolik sıçramadır. Bu olayı bir düzene sokan ve sınırlı bir yapıım içinde oluşmasını sağlayan tertibe düşü havuzu ismi verilir. Düşü havuzlarının boyut incelemelerinin yapılması için boyutları belirleyen hidrolik sıçramanın ayrıntılı incelenmesinde yarar vardır [14].

3.1.1. Sıçrama Derinliği

Sonsuz genişlikteki eğimli bir kanalda yer alan bir akımı inceleyelim (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sıçramanın şeması

Suyun derinliği h_1 , kanalın taban eğimi j_b , bu eğime tekabül eden açı θ olsun. v_1 hızıyla hareket eden akım yatay tabanlı bir kanala intikal ediyorsa burada çok eskiden beri bilinen bir olay yer alır; su aniden derinliğini arttırır, enerjisini büyük ölçüde kaybeder ve daha yavaş bir akıma geçer. Bu olaya sıçrama olayı denilmektedir. v_1 hızı arttıkça sıçrama mansap yönünde yer değiştirir. Hızın değeri değiştiği kesite kadar gelir (Şekil 3.1). Bu çeşit basit bir sıçramada v_1 hızı biliniyorsa h_1 ve h_2 derinlikleri arasındaki orantıyı hesap etmek mümkündür, momentum prensibi uygulanarak

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) \quad (3.1)$$

denklemini elde edilir. Bu sonuç bütün klasikleşmiş hidrolik kitaplarında bulunduğundan burada ayrıca matematiksel yönü üzerinde durulmayacaktır. Şekil 3.1'den görüldüğü gibi h_2 mansap suyu derinliği,

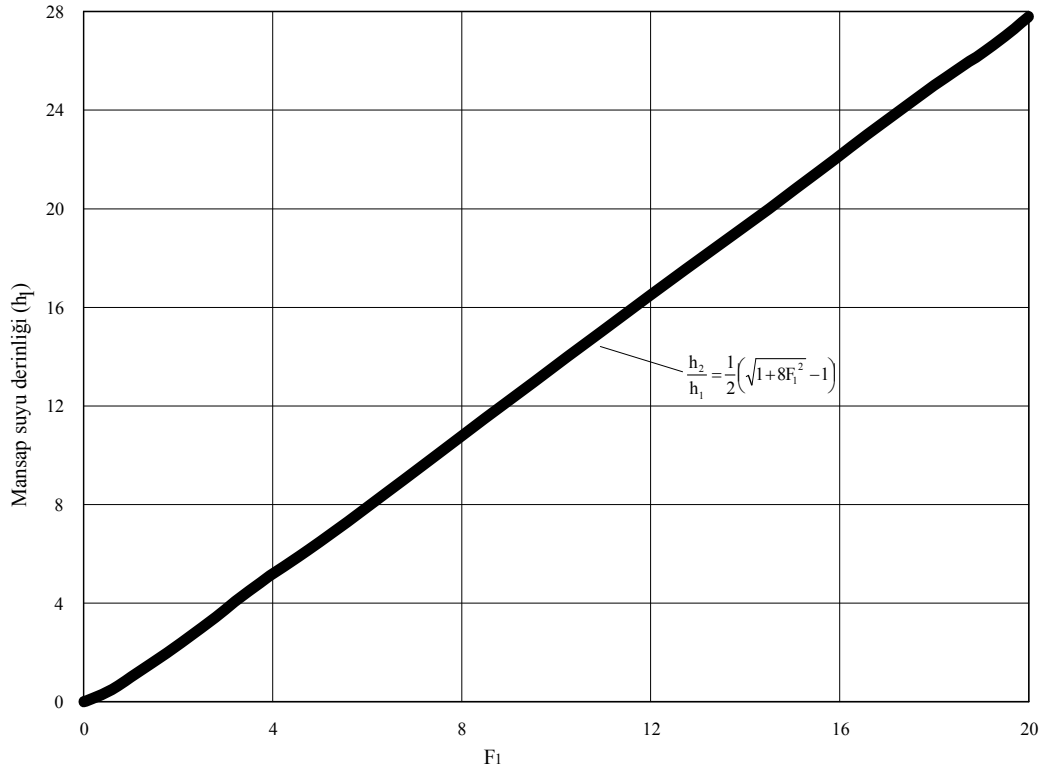
h_1 memba suyu derinliği, $F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}}$ Froude sayısı ve v_1 memba kanalındaki suyun hızıdır.

Genellikle mansap suyu derinliği bilindiğinden yukarıdaki bağıntıdan h_1 derinliğine geğmek mümkün

olur. $h_1 < h_{kr}$ ‘dir ($h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$).

(3.1) bağıntısı pek çok deney yapılarak irdelenmiştir. şekil 3.2’de gerek bunlardan bir kısmının sonuçları gerekse (3.1) formülü beraberce gösterilmiştir. Froude sayısının çok küçük değerleri müstesna geri kalan iin tatmin edici bir mutabakat vardır. Dolayısıyla $F_1 > 2$ için sıçrama olayını bu yönden incelemek mümkündür. $F_1 < 2$ için temsilde doğru bir eğri parçasına dönüşür.

Görülüyor ki yatay tabanlı bir kanalda sıçramayı oluşturmak suretiyle enerji kaybetmek olanağı vardır. (3.1) numaralı formül sıçramanın derinlikleri hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanında bilinmesi gerekli olan hususlarda vardır. Bunlar sırasıyla, sıçramanın uzunluğu ve sıçramada yer alan yk kayıplarıdır.



şekil 3.2 Sıçramanın memba ve mansap derinliklerini veren eğri

3.1.2. Sıçramanın Uzunluğu

Teorik yollardan sıçramanın uzunluğuna erişmek mümkün değildir. Tavsiye edilen yollar denendiği zaman her zaman tatmin edici sonuçlar alınmamaktadır. Gerçekte gerek laboratuvarda gerekse tabiatta sıçramanın boyunu ölçmek imkânsız denilecek kadar güçtür. Bu bakımdan konu günümüze kadar karanlık kalmakta devam etmiştir. Son senelerde değişik ülkelerde çalışan araştırmacılar birçok ampirik denklemler yayınlamışlar veya grafikler vermişlerdir.

3.1.2.1. Sıçrama uzunluğunu veren ampirik formüller

Sıçramanın uzunluğunu hesaplamakta kullanılan pek çok formül vardır. Bunlardan bir kısmı örnek teşkil etmesi bakımından aşağıda gösterilecektir.

$$\text{Pawlowsky formülü; } \frac{L}{h_2 - h_1} = \frac{2.375 \left(-1 + \sqrt{1 + 8 F_1^2} \right) - 2.5}{0.5 \left(-3 + \sqrt{1 + 8 F_1^2} \right)} \quad (3.2)$$

$$\text{Certussov formülü; } \frac{L}{h_2 - h_1} = \frac{20.6 (F_1 - 1)^{0.81}}{-3 + \sqrt{1 + F_1^2}} \quad (3.3)$$

$$\text{Ludin Formülü; } \frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{1}{4.5} - \frac{1}{6 F_1} \quad (3.4)$$

$$\text{Pietrowski formülü; } L = 5.9 h_1 F_1 = 4.33 h_2 \quad (3.5)$$

Basitleştirilmiş Einwachter formülü;

$$\begin{aligned} L &= \left(15.2 - 0.241 \frac{h_2}{h_1} \right) \left(A h_1 - B v_1^2 \right) \\ A &= \left(\frac{h_2}{h_1} - h_1 \right) \\ B &= \frac{\frac{h_2}{h_1} - 1}{\left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 g} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Basitleştirilmiş Woycicki formülü;

$$L = \left(8 - 0.05 \frac{h_2}{h_1} \right) (h_2 - h_1) \quad (3.7)$$

Mazmann Formülü;
$$L = \frac{(h_2 + h_1)(h_2 - h_1)}{2 h_1} \quad (3.8)$$

Bachmeteff formülü;
$$L = \left(\frac{5.4 h_1}{h_2} - 0.06 \right) \left[\left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 - 1 \right] \quad (3.9)$$

Safronetz formülü;
$$\frac{L}{h_2 - h_1} = \frac{12}{-3 + \sqrt{1 + 8 F_1^2}} \quad (3.10)$$

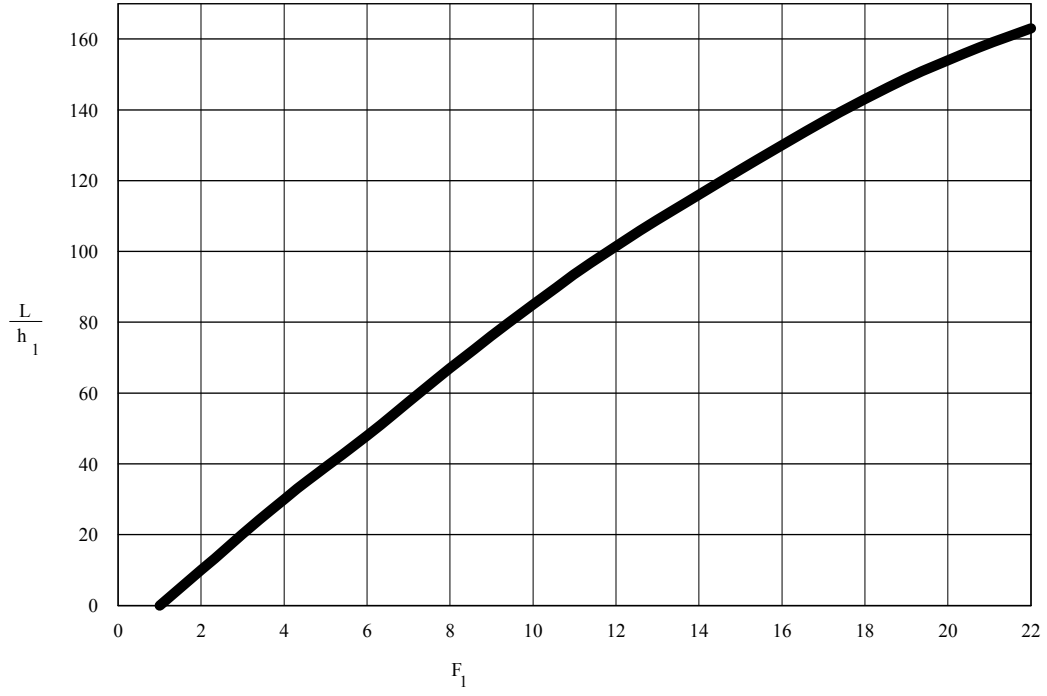
Smetana formülü;
$$\frac{L}{h_2 - h_1} = 6 \quad \text{veya} \quad L = 4.5 h_2 \quad (3.11)$$

Yukarıda yazılan bu formüller daha da arttırılabilir, burada örnek teşkil etmeleri için yazılmıştır. Düşü havuzunun boyunun tespitinde esas sıçrama boyu olacaktır.

3.1.2.2. Sıçrama uzunluğunu veren deneysel diyagramlar

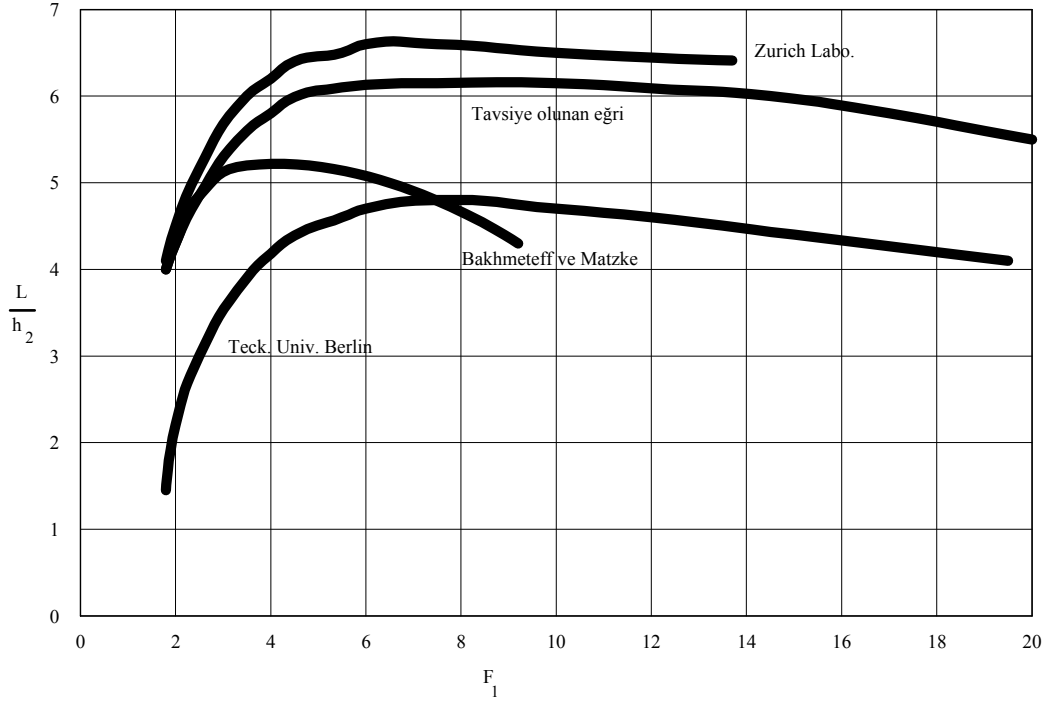
Bu tip diyagramlar daha ziyade Amerikan yayınlarında bulunmaktadır. Şekil 3.3’de

$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}}$ Froude sayısının fonksiyonu olarak $\frac{L}{h_1}$ gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Memba derinliğinin fonksiyonu olarak sıçrama uzunluğu

Şekil 3.4'de Bachmeteff'in, Berlin Teknik Üniversitesinin ve Zürih ETH laboratuarlarının verdikleri sonuçlar beraberce gösterilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Bureau of Reclamation'nın sonuçları ise ortalama bir değer olarak görülmektedir.



Şekil 3.4 Mansap derinliğinin fonksiyonu olarak sıçrama uzunluğu

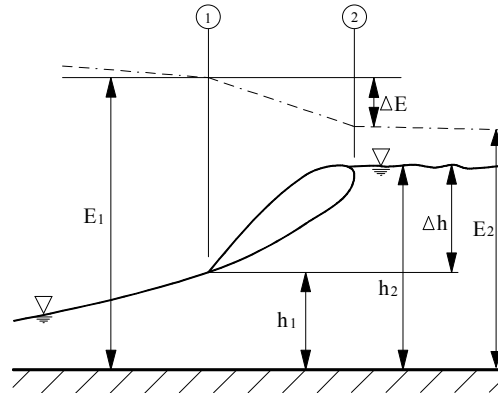
3.1.3. Sıçrama sırasında yer alan yük kayıpları

Sıçrama sırasında yer yük kayıplarının hesabı, kaybedilecek enerjinin saptanması bakımından önemlidir.

Yatay bir kanalda enerji kaybı bilindiği gibi,

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2} \quad (3.12)$$

bağıntısıyla verilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Sıçramada yer alan yük kaybı

Şekil 3.6'da ise yatay bir kanalda yer alan sıçramanın karakteristikleri gösterilmiştir. $\frac{\Delta E}{E_1}$

orantısının değişimi buradan izlenilebilmektedir.

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)} \quad (3.13)$$

orantısına sıçramanın randımanı ismi verilmiştir.

$$\frac{(\Delta h)}{E_1} = \frac{h_2}{E_1} - \frac{h_1}{E_1} \quad (3.14)$$

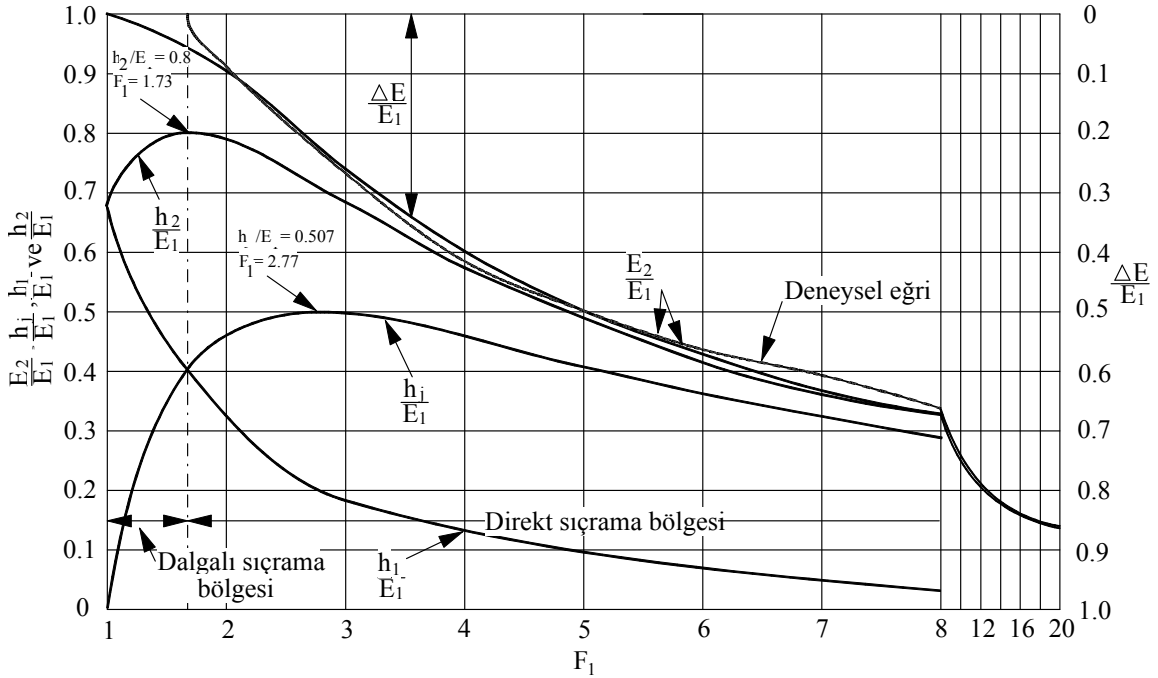
bağıntısı ise sıçramanın yüksekliğinin sıçramaya giriş enerjisinin oranıdır.

$$\frac{(\Delta h)}{E_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 3}{F_1^2 + 2} \quad (3.15)$$

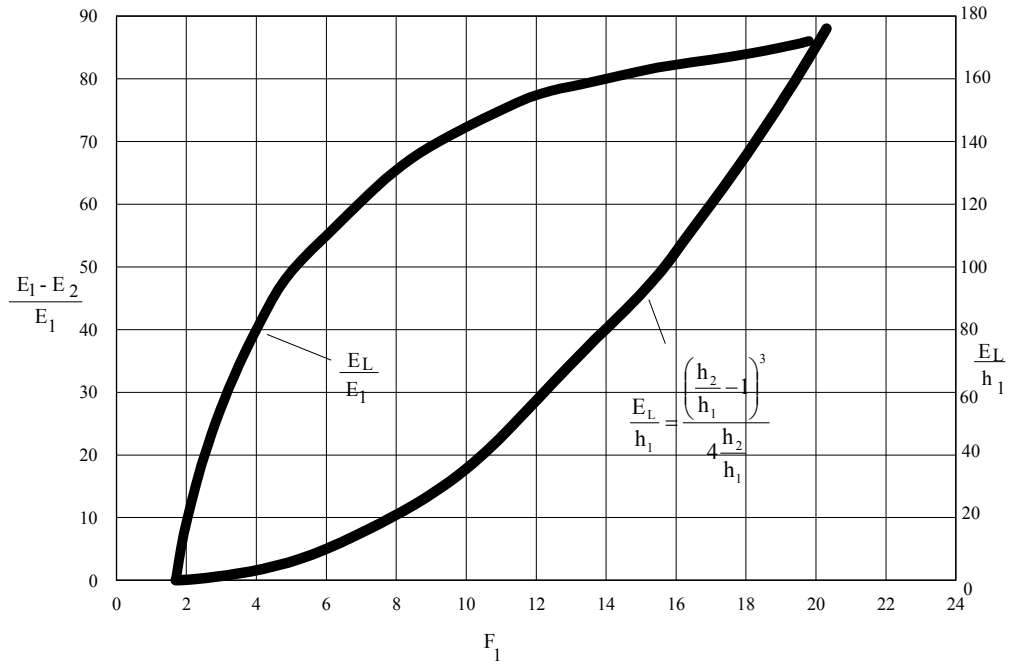
şekli altında boyutsuz hale getirilebilir.

Bu değişik karakteristikler şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.8'de ise $\frac{E_1 - E_2}{E_1}$ orantısının F_1 ,

Froude sayısına bağlı olarak değişimi gösterilmektedir.



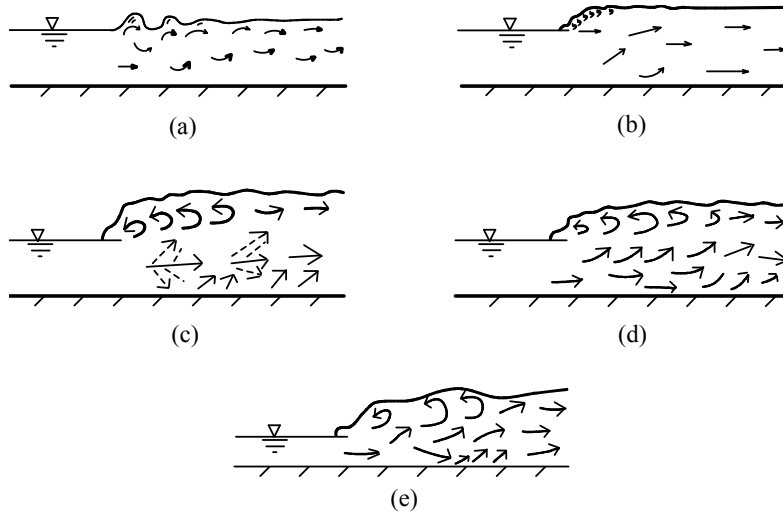
Şekil 3.6 Sıçramanın karakteristikleri



Şekil 3.7 Froude sayısına bağlı olarak özgül enerjinin değişimi

3.1.5. Sıçrama Şekilleri

Sıçrama, Froude sayısına göre tarif edilmiştir. Şekil 3.8’de değişik sıçrama şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Değişik sıçrama şekilleri

$F_1 = 1$ ise akım kritik rejimdedir sıçrama olmaz.

Şekil 3.8.a'daki sıçramada $1 < F_1 < 1.7$ 'dir. Bu durumda su yüzünde hafif sallantılar vardır ve basit havuzlar ile kontrol altına alınabilen dalgalı sıçramalardır.

Şekil 3.8.b'deki sıçramaya sıçrama öncesi hal ismi verilir. $1.7 < F_1 < 2.5$, zayıf sıçramanın şartıdır ve enerji kaybı az olur. Bu tip sıçramada sıçrama havuzu özellik göstermez.

Şekil 3.8.c'deki sıçramada $2.5 < F_1 < 4.5$ 'dir. Mühendislik alanına giren ilk sıçramadır. Enerji kaybı orta derecededir. Bazı hallerde bir çeşit rezonans doğurduğundan tehlikeli olabilir. Kontrol altına alınması için muntazam mühendislik yapılarına ihtiyaç gösterir.

Şekil 3.8.d'deki sıçramada $4.5 < F_1 < 9.0$ 'dir. Barajların düşü havuzlarında raslanılan kuvvetli sıçramaların şartıdır. Mühendislik yapıları yardımıyla kolaylıkla kontrol altına alınabilir.

Şekil 3.8.e'deki sıçramada $F_1 > 9.0$ 'dir. Çok kuvvetli sıçramanın şartıdır. Dikkatle incelenmesi gereken sıçramadır. Bu taktirde sıçratma uçları düşünülebilir [15].

3.2. Düşüm Havuzları

Düşüm havuzları suyun hızını azaltarak enerjiyi kırarlar. Bölüm 3.1'de Froude sayısına göre sıçrama özellikleri verilmişti. Aşağıda sıçramadan önceki akımın Froude sayısına göre düşüm havuzlarının sınıflandırılması yapılmıştı [1, 4, 17, 18].

1) Froude sayısı 1.7'den küçük ise

Froude sayısı 1.7'den küçük olduğu zaman eşlenik sıçrama derinliği h_2 , yaklaşım derinliğinin hemen hemen iki katına eşit veya kritik derinlikten %40 kadar büyüktür. Çıkış hızı v_2 yaklaşım hızının aşağı yukarı yarısına eşit veya kritik hızdan %30 kadar daha azdır. Kanal kaplaması uzunluğu, derinliğinin değişmeye başladığı noktadan itibaren $4h_2$ 'den küçük değilse ve gelen akımın Froude sayısı 1.7'den küçükse akımı sakinleştirecek düşü havuzuna ve enerji kırıcı bloklara gerek yoktur. Bu tip US Bureau of Reclamation tarafından USBR I. Tip olarak standartlaştırılmıştır.

2) Froude sayısı 1.7 ile 2.5 arasında ise

Froude sayısı 1.7 ile 2.5 arasında iken akım şekil 3.8.b'de görüldüğü gibi sıçrama öncesi hal şeklinde olur. Bu tip akımlarda etkin türbülans olmadığı için eşik ve enerji kırıcı bloklara gerek yoktur. Burada sıçrama yüksekliği, enerji kayıpları ve sıçrama uzunluğu bölüm 3.1'deki kurallar yardımıyla elde edilebilir. Burada da havuz tipi USBR I. Tip şeklinde düzenlenir.

3) Froude sayısı 2.5 ile 4.5 arasında ise

Froude sayısı 2.5 ile 4.5 arasında iken tam bir hidrolik sıçrama gelmediği için geçiş akım safhasına tekabül eder, mevcut dalga hareketi düz döşemeli dinlenme havuz tertibatı ile kontrol

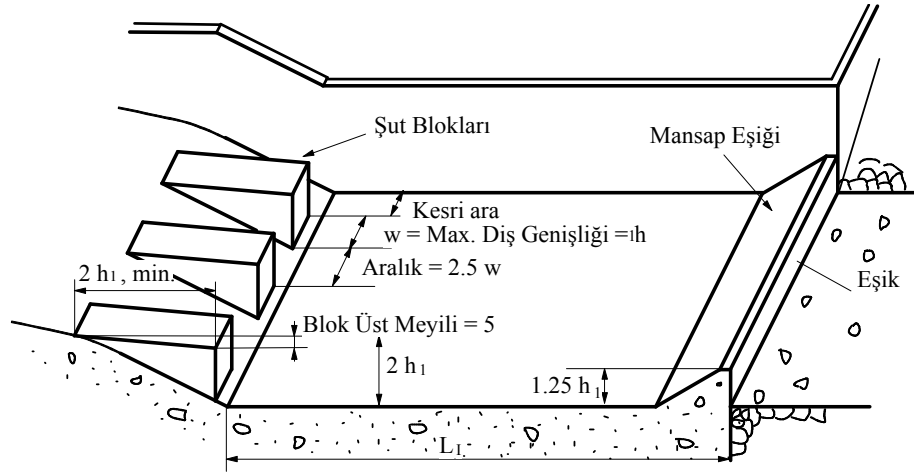
edilemediği için enerji kırılmasında en az etkili olanıdır. Dalgalar havuz sonunun ötesinde de etkisini gösterdiği için havuzdan ayrı tertiplerle dalgaların enerjisini kırmak gerekmektedir.

Froude sayısı 2.5 ile 4.5 arasında iken akımı sakinleştirici bir tertip gerekli olduğu zaman şekil 3.9'da gösterilen USBR IV. Tip kullanılmaktadır. Bu tip akımın enerjisinin büyük bir kısmını kırmada düz döşemeli havuza nazaran daha tesirli olduğu görülmüştür. Bununla birlikte salınan akımın meydana getirdiği dalga hareketi tamamıyla sönümlenemez.

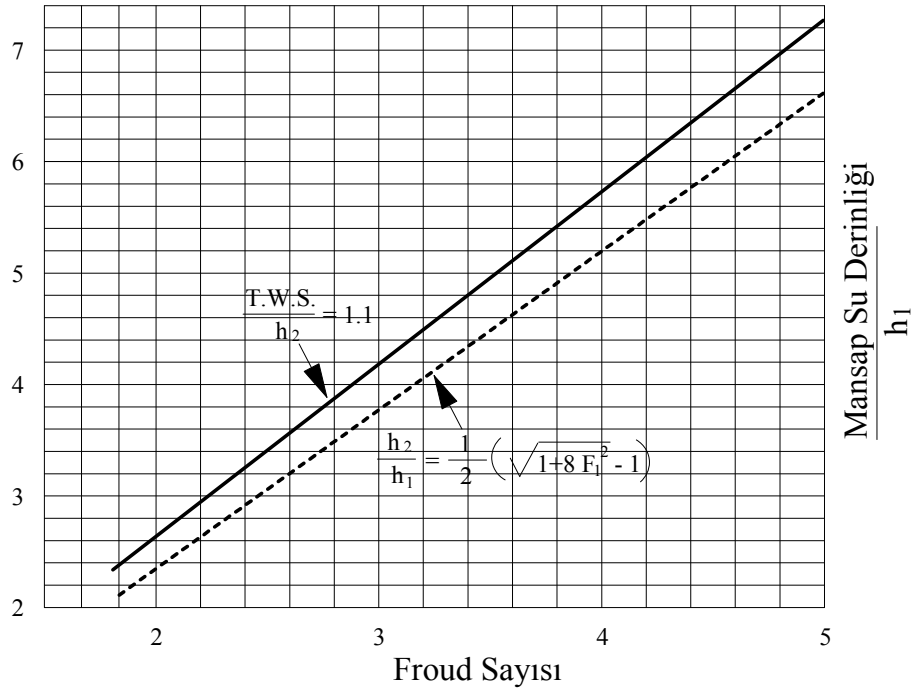
Mansap su seviyesini düzleştirmek için, bazen yardımcı enerji kırıcı bloklara ihtiyaç vardır.

Havuzdaki mansap su derinliği, hesaplanan eşlenik sıçrama derinliğinden %10 fazla olmalıdır. Böylece sıçramanın havuz sınırları içinde olması ve dalga hareketinin kısmen sönümlenmesi sağlanmış olur. IV. tip havuz kullanılımsından kaçınılmak istenirse havuz genişliği öyle seçilmelidir ki, akım şartları, geçiş akımı alt ve üst sınırlarının dışına çıkmasın.

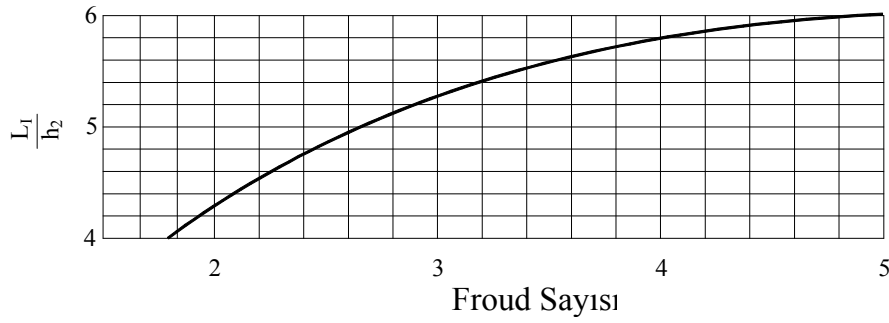
Fakat havuz genişliğinin seçimi bir hidrolik performans kadar ekonomi meselesidir de.



Şekil 3.9 USBR IV. Tip Düşüm Havuzu



Şekil 3.10 USBR IV. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği



Şekil 3.11 USBR IV. Tip düşüm havuzunun sıçrama uzunluğu

4) Froude sayısı 4.5’den fazla ise

Froude sayısı 4.5’den büyük olduğu zaman gerçek bir sıçrama meydana gelir. Froude sayısına göre bu sıçramanın elemanları bölüm 3.1’den bulunabilir. Şüt blokların, enerji kırıcılar ve eşiklerin havuz tabanı boyunca yapılması, sıçrama uzunluğunu kısalttığı gibi mansap su seviyesinin düşük olduğu durumlarda da sıçramanın mansaba doğru kaymasına karşı bir emniyet katsayısını da temin eder.

Şekil 3.12’de verilen USBR III. Tip havuz yaklaşım hızının 15 m/sn’den az olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu tip havuz sıçrama boyunu kısaltmak ve yüksek hızlı akımın enerjisini kırmak için şüt bloklarına, enerji kırıcı bloklara ve mansap eşiğine sahiptir. Enerjini kırılması, enerji kırıcı bloklara ve sıçrama ile meydana gelen türbülansın tesirliğine bağlıdır. III. Tip havuzun kullanılması hızla gelen akımın enerji kırıcı bloklar üzerinde meydana getireceği çarpma kuvvetinin büyüklüğü ve havuz tabanı ve blok yüzeyleri üzerinde kavitasyonun (oyulmanın) meydana gelme ihtimali dolayısıyla yaklaşım hızının 15 m/sn’den az olduğu durumlarla sınırlandırılmıştır.

Enerji kırıcı blokların memba tarafındaki yüzlerinde suyun çarpmasından meydana gelen dinamik kuvvetlerin, havuz tabanında ilave kuvvetler meydana getireceği bilinmelidir. Bu F dinamik kuvveti, yaklaşık olarak, akıma dik bir yüzey üzerine su jetinin çarpmasından doğan kuvvet eşittir.

$$F = 2 \gamma A (h_1 + h_{v1}) \quad (3.16)$$

F : Kuvvet (t/m^2)

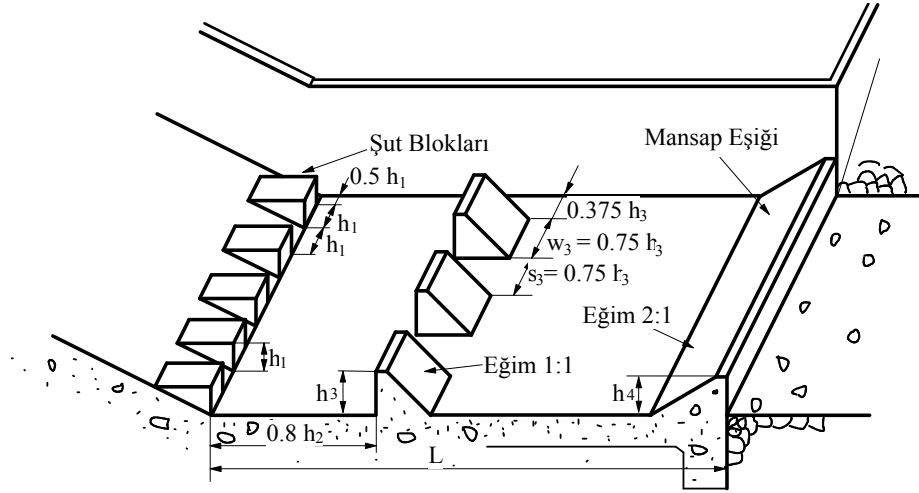
γ : Suyun özgül ağırlığı (t/m^3)

A : Blokların mansap tarafındaki yüzeylerin alanı (m^2)

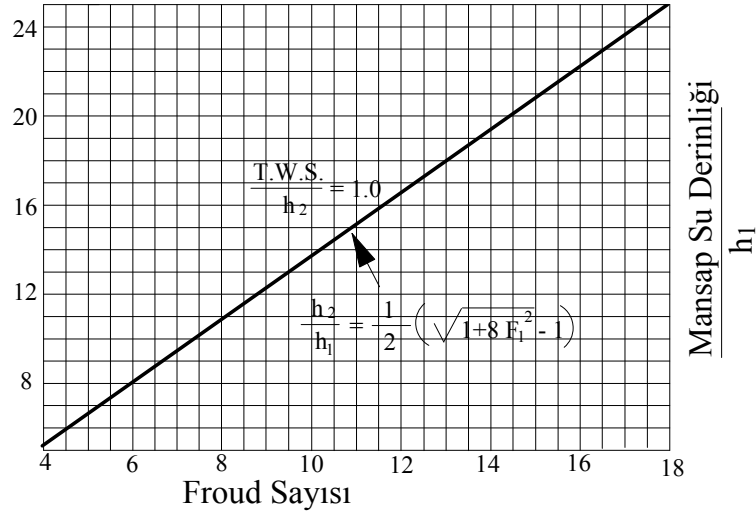
$(h_1 + h_{v1})$: Havuza giren suyun sipesifik enerjisi (m)’dir.

Blokların mansap tarafındaki yüzlerinde meydana gelen eksi basınç (çekme), toplam kuvveti daha da arttırır. Bununla birlikte bloklar sıçramanın başladığı yerden $0.8 h_2$ mesafesinde yapıldığı için gelen su jeti bloklara gelinceye kadar tesirinin bir kısmını kaybeder ve yukarıda 3.16’da verilen bağıntı değerinden daha az bir kuvvetle bloklara çarpar. F değerini bulmak için 3.16 bağıntısı kullanıldığı zaman eksi basınç değeri ihmal edilebilir.

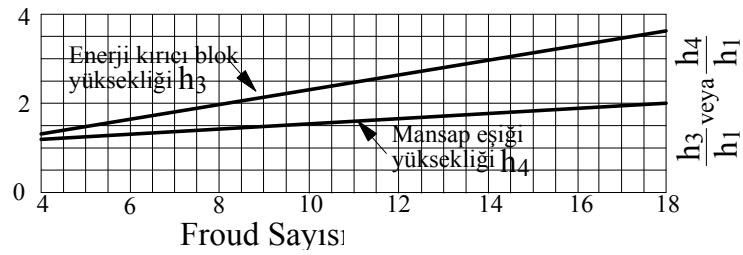
Yaklaşım hızının 15 m/sn’yi aştığı veya enerji kırıcı blokların yapılmadığı durumlarda şekil 3.16’da verilen USBR II. Tip havuz kullanılabilir. Enerji kırılması daha ziyade hidrolik sıçrama ile temin edildiğinden II. Tip havuz uzunluğu, III. Tip havuz uzunluğundan büyük olacaktır. Bununla birlikte şüt blokları ve dişli mansap eşiğinin bulunması havuz boyunu şüt blokları ve dişli mansap eşiği olmadığı zaman gerekli havuz boyuna nazaran oldukça kısılacaktır. Bu takdirde sıçramanın havuz dışında meydana gelmesi ihtimalini azaltmak için havuzdaki su derinliği, hesaplanan eşlenik sıçramadan %5 kadar büyük alınmalıdır.



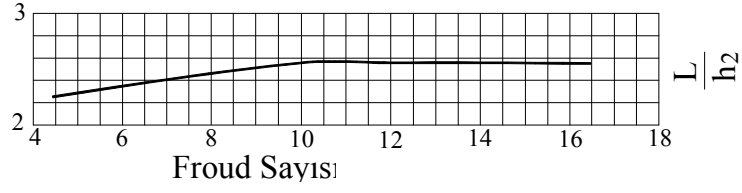
Şekil 3.12 USBR III. Tip Düşüm Havuzu



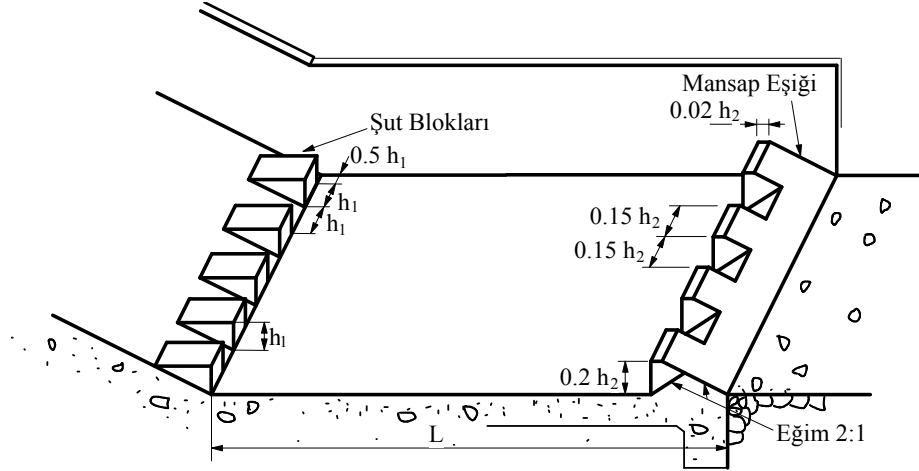
Şekil 3.13 USBR III. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği



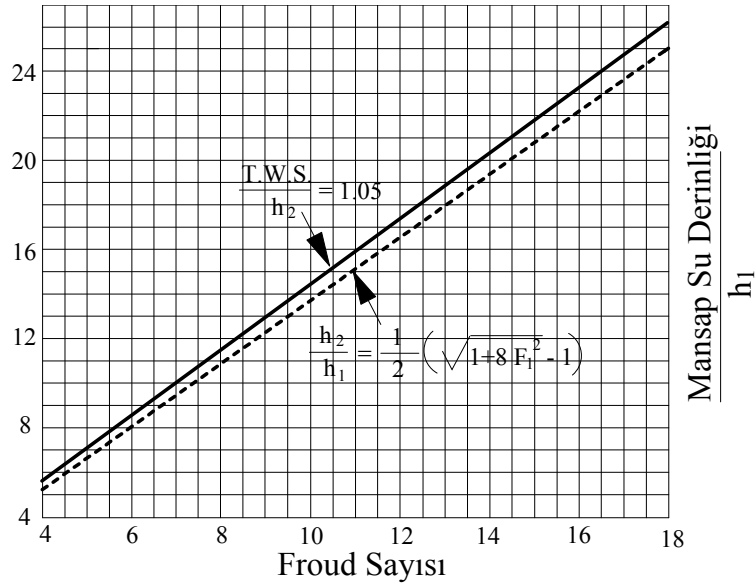
Şekil 3.14 USBR III. Tip düşüm havuzunda blok ve mansap eşiği yüksekliği



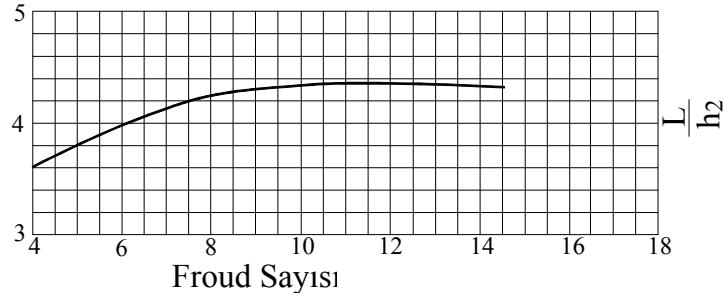
Şekil.3.15 USBR III. Tip düşüm havuzunda sıçrama yüksekliği



Şekil 3.16 USBR II. Tip Düşüm Havuzu



Şekil 3.17 USBR II. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği



Şekil 3.18 USBR II. Tip düşüm havuzunda sıçrama uzunluğu

3.3 Çarpmalı Havuz Tipi

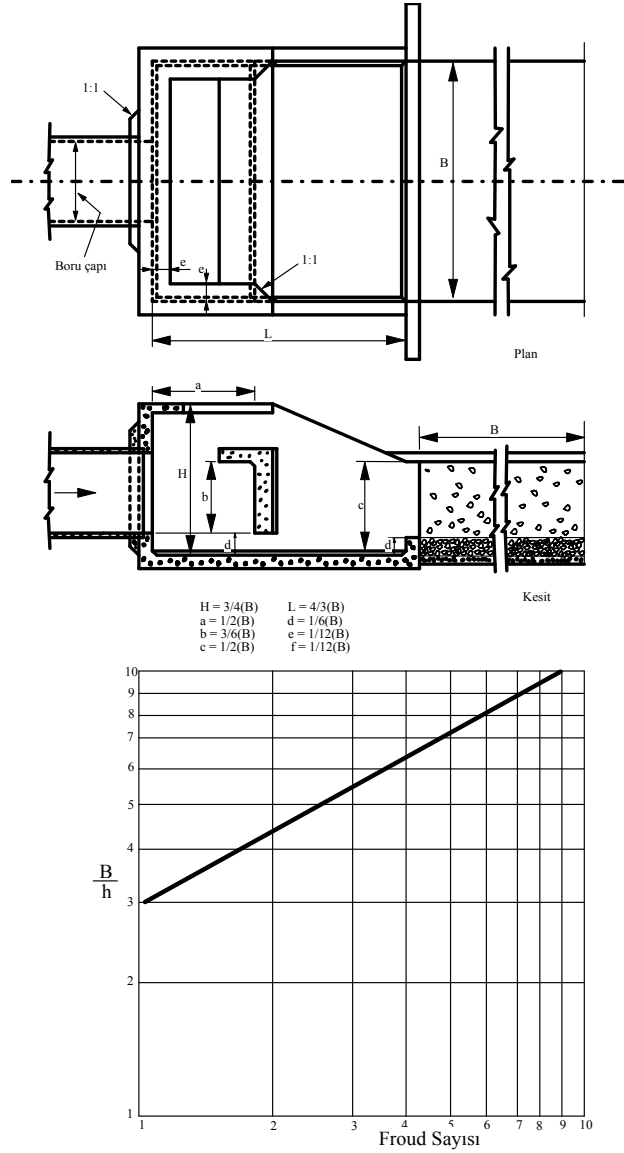
Bu tip, mansap su derinliğine bağlı olmayan etkili bir enerji kırıcıdır. Böyle bir yapının kapasitesini sadece yapının fizibilitesi veya akımın geliş hızının 18 m/sn'yi geçmiş olması sınırlar. Aslında bu tip bir enerji kırıcı hem açık hem de basınçlı sistemlerde kullanılabilir. Şekil 3.19'da gösterilen tip yaklaşık 11 m³/sn'lik debiler için yeterlidir. Daha büyük debilerde bunlardan birkaç tane yan yana kullanılabilir. Bu sistemde jetin düşey olarak asılı olan bir engele çarpması ile ve engele çarpan suyun yön değiştirmesi sonucu ortaya çıkan çevrilerle enerji kırılır.

En iyi hidrolik çalışma, mansap su seviyesinin, engel yüksekliğinin yarısında olduğu, fakat bu seviyeyi aşmadığı durumda sağlanır. Ayrıca iyi bir çalışma, engelin tabanı, memba kanal veya borusuyla aynı seviyede tutmasıyla gerçekleşir.

Şekil 3.19'da çarpmalı havuz tipinin boyutlandırma kriterleri verilmiştir. Bu tipte büyük dinamik yükler ve türbülanslar olduğundan konacak engeller kaymaya karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca bütün yapı titreşimlere dayanmalıdır. Tesisin sonuna oyulmalara engel olmak için taş dolgu koymak gerekir.

Çarpmalı havuz tipinde boyutlar havuz genişliğine göre belirlenir. B havuz genişliği ise akımın Froude sayısına göre Şekil 3.19'dan bulunur. Bu şekildeki h havuz girişindeki su derinliğidir. $F = V/\sqrt{gh}$ bağıntısından hesaplanır. V havuz girişteki suyun hızıdır ve teorik olarak $V = \sqrt{2g\Delta h}$ bağıntısından bulunur. Burada Δh kırılması gereken enerji yüksekliğidir. H ise, boru çıkışında su jeti kare kabul edilerek $h = (Q/V)^{0.5}$, den hesaplanabilir. Şekil 3.19'dan görüldüğü gibi B/h=3 için Froude sayısı 1 olduğundan B/h'nin 3'den küçük değerlerinin pratikte bir anlamı yoktur. Kaviteasyon olmaması için düşümdeki V hız değeri 15 m/sn' yi geçmemelidir. Boru çapı, boru içinde hız 3.5 m/sn alınarak belirlenir.

Bu şekilde belirlenen B en az olması gereken değerdir. Genellikle bu değerden biraz daha büyük değer seçilir. B belirlendikten sonra H, L, A, b, c, d, e ve f değerleri B'ye bağlı olarak bulunur. Taş kaplama en az B kadar [2].



Şekil 3.19 Çarpmalı havuz tipi ve boyutlandırma kriterleri

3.4.Bhavani Tipi Düşüm Havuzu

Bhavani tipi düşü havuzları işleyişleri için çarpma olayını temel alır. Kuttiammu ve Rao (1951) bu tasarımı, Hindistan'daki Lower Bhavani Barajının 35 m yüksekliğindeki savağı için geliştirdiler. Düşü havuzu T-şeklinde yer bloklarıyla hazırlanmış kısa, basık dişlerden oluşur. Özellikleri; (1) Bütün tiplerdeki akımlar için havuzun içinde bir hidrolik sıçrama sağlanır, (2) Enerji kırımı epeyce tamamlanır ve en az seviyede aşınma meydana gelir, (3) T-şekilli bloklar sağlam ve sabittirler ve kavitasyona maruz kalmazlar, (4) Tasarım ekonomiktir [22].

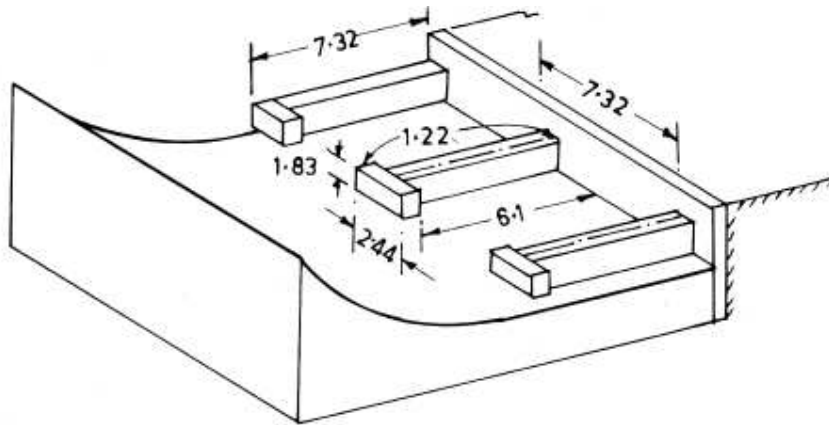
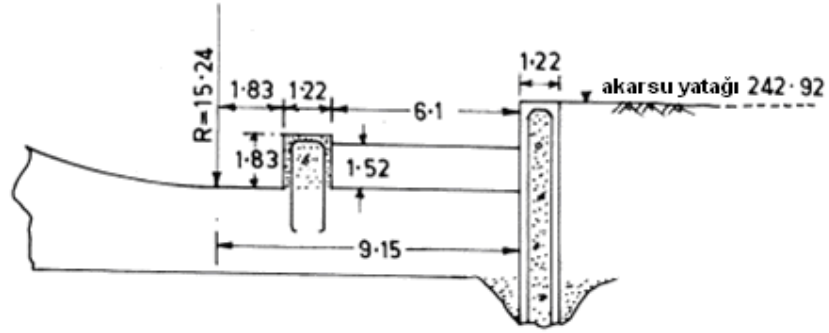
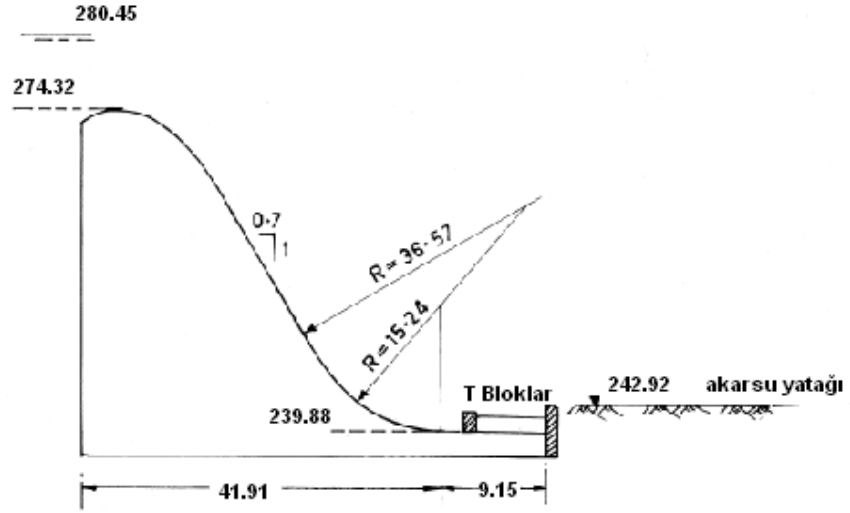
Tasarım kapsamlı bir model üstünde geliştirilmiştir. Amaç 35 m yüksekliği ve 20 m³/m³'lik birim debiyi (yaklaşık hız V=27 m/s) karşılamaktır. Model çalışmaları 18 tip zemin bloğu içeriyordu ve bunların üzerindeki hidrolik sıçramalar, yapıdaki maksimum aşınma miktarlarına bakılarak birbirleri arasında kıyaslandılar. Sonunda T-şekilli blokların tasarımı dikdörtgen bloklar formunda (0,9m x 1,22m x 1,83m) benimsendi, düşü havuzunun girişinden 1,83 m uzağa ve 7,32 m merkeze yerleştirildi. Her bir blok bitiş eşiğine karşı 1,22 m genişliğinde ve 1,52 m yüksekliğinde dayanaklarla dayanıyordu. Üst yüzeyi ortalama dere yatağı olan 3,05 m yüksekliğinde düşey bitiş eşiği sağlandı. Apron için gerekli uzunluk 9,15 m (y₂). Tasarımın detayları Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

T-şekilli bloklar enerji kırılmasına çeşitli şekillerde yardım etmektedirler, (1) direk çarpma ile, (2) bütün yüzeylerdeki sürtünme ile, (3) fişkırmayı (jet) dağıtarak, (4) fişkırmaları etkileyerek

Model çalışmalarında değişik koşullarda basınç dağılımı için test edilen T bloklar son şekillerini almışlardır. Tamamen batık, yatağın mansaba çekilmesiyle oluşan sel rejimindeki akım hariç, bloklar üstündeki basınç pozitifdir. Kritik kavitasyon 0,68'dir. Bu aralıkta bloklar güvenli kabul edilir.

Yazarlar tasarımın 25 ila 35 m yüksekliğindeki, 0 ila 6 m'lik taşmalar ve 0 ila 12 m'lik kuyruk suyu derinlikli savaklar için yeterli olduğunu iddia ediyorlar. Düşü havuzu son 40 yıldır hiçbir problemle karşılaşmadan işlevini yerine getiriyor ama tasarım genellenemedi.

Öte yandan, Hindistan'daki Matatila Barajındaki düşü havuzundaki benzer T bloklar Gupta'nın raporuna (1979) göre pek desteklememektedir. 27 m yüksekliğinde, 4 m'lik taşma yüksekliği ve 35 m³/m³'lik birim debisi olan savak. Başlangıçta 30,5 m'lik apron uzunluğu, yaklaşık 2,45y₂, inşa edildi. Düşü havuzu eksik kuyruk suyu derinliğiyle idare ediliyordu, ama hidrolik sıçrama granit mansapta aşınmaya neden oldu. Lower-Bhavani ye benzer T bloklar, 4,88m x 2,44m x 2,44m, 7,22 m uzunluğunda 2,44m x 2,44 m'lik dayanaklarla, aprona 0,91 m derinliğe ankrajlanarak eklendi. Blokların başarısızlığı aprondaki eski betonla yeni dökülen betonun birbirlerine iyi bağlanmamasına ve kısa ankraj kullanılmasına dayandırıldı. Blokların ebatları Lower-Bhavani dekinin iki katı kadardı ve girişteki akım hızı da yaklaşık olarak aynıydı [22].



Şekil 3.20 T bloklı Lower Bhavani düşü havuzu

3.5. Dişli Eğik Düzlemler

Eğik düzlem üzerine bir takım dişler konularak, enerji eğik düzlem üzerinde kırılmaktadır. Dişli eğik düzlemler özellikle suyun düşürüldüğü mansap su seviyesinin değişken olması halinde etkindirler. Bu nedenle sulama kanalları üzerinde uygulaması sınırlıdır. Genellikle tahliye kanalları, tahliye yapılarının mansabındaki düşüler veya bir rezervuara su boşaltan kanallarda daha geniş tatbikat sahası bulmuştur. Bu tip enerji kırıcılar, büyük debili düşülerde de kullanılabilir fakat yapı genişliği ve enerji kırıcı diş (blok) adedi çok fazla olacağından ekonomik olmazlar [25].

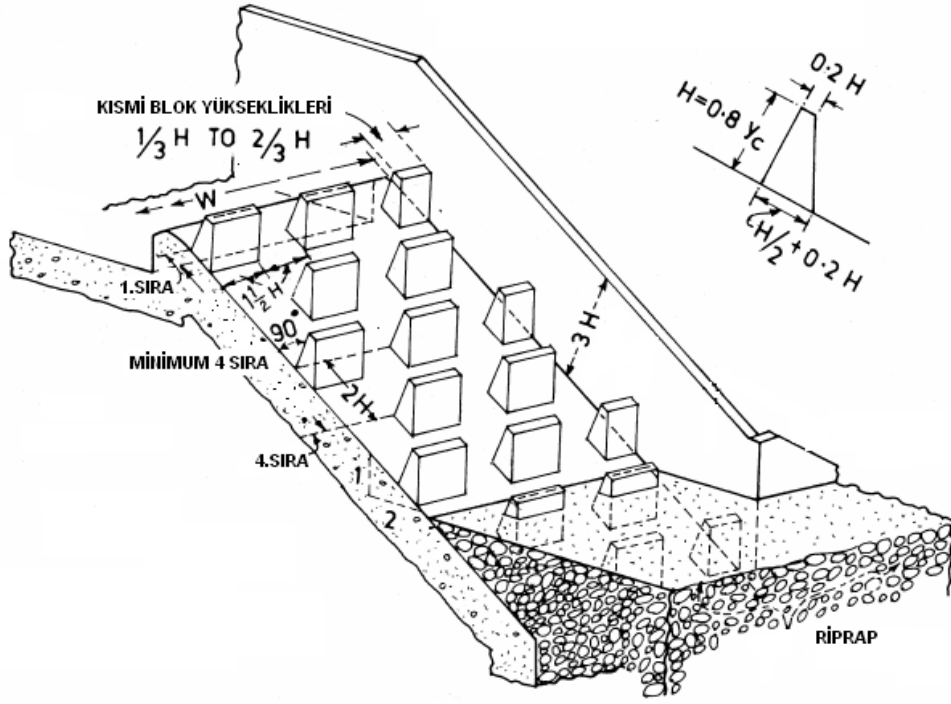
Enerjinin kırılması, su şütün zeminine yerleştirilmiş beton blokların üstünden geçerken olur [24]. Şüt üzerinde çoklu sıralı enerji kırıcı blokların olması akış yatağının yüksekliğine bağlı olmaksızın, akımın aşırı hızlanmasını engeller ve makul bir hızla akmasına olanak sağlar. Akım, dişlerin üzerinden, arasından ve çevresinden geçer ve bu sayede enerjisi sönümlenmiş olur [19].

Otoyol drenaj kanalları gibi az debi taşıyan yapıların tabanlarında durgun havuzlar sağlanmasında ekonomik olamayan sonuçlar verirler. Durgun havuzun boyunu daha ekonomik hale getirmek veya havuzu tamamen yok etmek için enerjinin bir kısmı kanalda kırılmalıdır. Basamaklı kanalların yapılması da bir başka alternatiftir. Burada enerjiyi kıran asıl kuvvetler kesme ve türbülanstır. Çarpma yoluyla enerji kırmak için sürtünme elemanları ve dişler gereklidir. Amaç akımın hızlanmasını önleyip, hızını kontrol edebileceğimiz büyüklükte sınırlamaktır [20, 21].

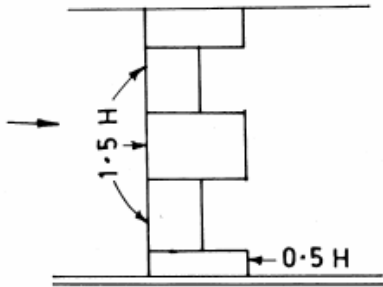
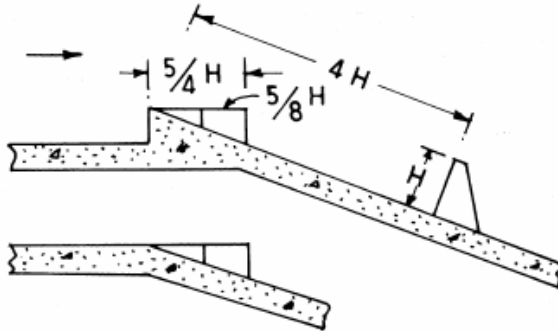
Dişli eğik düzlemler veya şütler eğimli kanallar içerirler, genellikle 2:1 veya daha az eğimlidirler, eşit aralıklı dizilmiş dişler şüt boyunca sıra sıra dizilmişlerdir. Akım dişlerin üzerinden, arasından ve çevresinden geçer. Dişlerin direnimi, düşüşün yüksekliği ne olursa olsun, akımın aşırı hızlara (taşkın) ulaşmasını engeller ve uygun bir son hızda akmasını sağlar. Birkaç dişli şüt USBR tarafından inşa edildi ve test edildi, USBR tarafından geliştirilen standart tasarım Şekil 3.21’de gösterilmektedir.

Tasarım, birim debinin $30 \text{ m}^3/\text{s.m}$ ’den ve yaklaşma hızının kritik hızdan $[V_c=(gq)^{1/3}]$ az olduğu koşullara uygundur. Eğer hız yüksekse; kanalın girişinde kritik altı akım elde etmek için yüksekliği savak görevi gören bir eşik girişe yerleştirilebilir. Dişli düzlem kanal tabanına da eklenebilir. Akıntı yatağının orijinal yüksekliğine geri gelmek için bir veya birkaç sıra diş üzerine dolgu yapılabilir. Aşınma veya aşağı akımda bozulma olduğu zaman, akımın aşırı ivmelenmesini önlemek için ardışık sıralar halinde dişler koyulur. Eğer bozulma olmazsa, aşınma şütün aşağı akımında yani mansap kısmında durgun bir havuz oluşturur. Eğer aşırı bozulma olmuşsa şütü genişletmek gerekir.

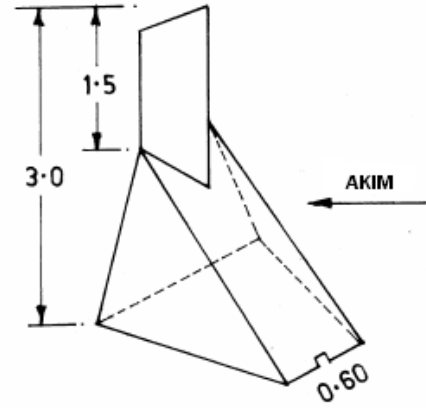
Libby Reregulation Barajı model çalışmaları sırasında USACE (1990) tarafından geliştirilen diş tasarımı Şekil 3.21’de gösterilmiştir. 25 m yüksekliğindeki şüte 3 m yüksekliğinde 1,5 m eninde dişler 5,5 m aralıklı olarak akım yönünde yerleştirilmişlerdir. Bu dişlerin enerji kırmada ve akımı havalandırmada ve nitrojen aşırı doygunluğunu azaltmada etkili olduğu iddia edilmektedir. Dişler $80 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ’lik birim debilere kadar etkili bir şekilde işlevlerini yerine getirmektedirler[20, 21].



ORJİNAL TASARIM USBR-1978



ALTERNATİF GİRİŞ TASARIMI



USACE TASARIMI

Şekil 3.21 Dişli eğik düzlemler (USBR 1978)

3.5.1. Dışlı Eğik Düzlemlere Giriş Şartları

Şüte giren akım yatay olarak eğim genişliği boyunca düzgün olarak dağıtılmalıdır. Şüt girişinde uygun karakterdeki akımın sağlanması çok önemlidir. Aslında, yapının tüm performansı, giriş akım özellikleri ile doğru orantılıdır[19]. Giriş enerji kırıcı düzlem ile aynı genişlikte olmalıdır ve kritik hız (V_c) dan daha yavaş yaklaşma hızı sağlamalıdır. Sıçramanın minimize edildiği durumda, giriş hızı $V_c/2$ den fazla olmamalıdır. Dikdörtgen kanallar için kritik hız formülü $V_c = \sqrt[3]{gq}$ dir [24, 25].

Su alma yapısı için gerekli üst kısım su seviyesini sağlamak membadaki uygun yaklaşma hızını sağlamak için veya girişte kritik üstü akıma sebep olan fazla sıçramayı engellemek için çeşitli giriş kontrol özellikleri kullanılır, en yaygın olanları şunlardır: (a) eşik kontrolü, (b) kontrol dişi, (c) kontrolsüz giriş

3.5.1.1. Eşik Kontrolü

Eğik düzleme girişte, genellikle bir eşik teşkil edilir. Bu eşiğin görevi, giriş hızını düşürmek ve aynı zamanda membadaki su seviyesini kontrol etmektir. Eşik, suyun yaklaşma hızını düşürmek ve membadaki aşınmayı azaltmak için şekil 3.22 (a)'da görüldüğü gibi girişe konulabilir. Eğik düzleme girişte giriş kanalının uzunluğu minimum $2d_1$ olmalıdır [24, 25].

Eşiğin giriş zemininden yüksekliği, giriş ve memba kanalı arasındaki enerji dengesine göre belirlenir. Buna göre:

$$E_{s1} = E_{sc} + h_i + h_s \text{ veya}$$

$$h_s = E_{s1} - E_{sc} - h_i$$

h_i : Giriş kaybı

$$h_i = 0.5 [h_{vc} - h_{v1}]$$

h_s : Eşik yüksekliği

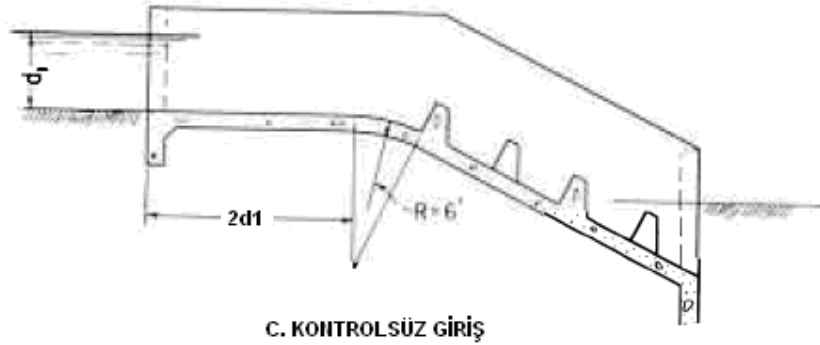
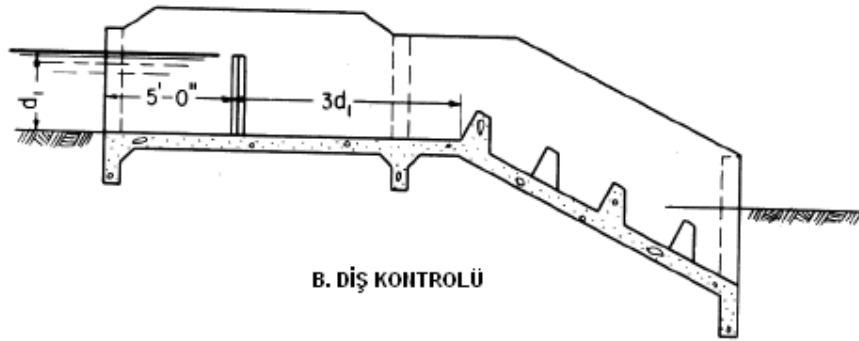
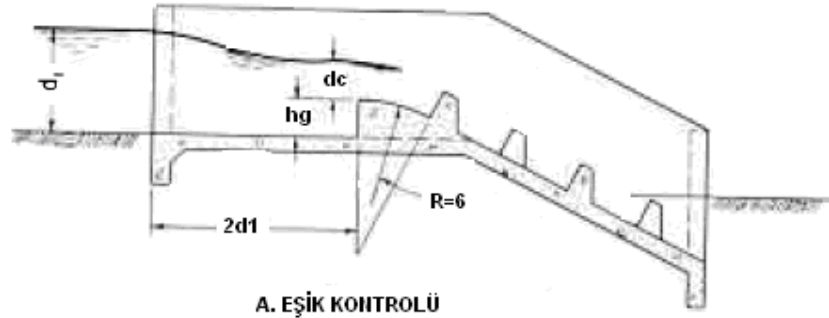
$$E_{s1} = d_1 + h_{v1} \text{ (Memba kanalı içerisinde)}$$

$$E_{sc} = d_c + h_{vc} \text{ (Eşikteki kontrol bölümü içerisinde)}$$

$$h_i = 0.5\Delta h_v$$

$$= 0.5 (h_{vc} - h_{v1})$$

$$= 0.5 [(V_c^2/2g) - (V_1^2/2g)]$$



Şekil 3.22 Kullanılan giriş tipleri (a) eşik kontrolü, (b) kontrol dişi, (c) kontrolsüz giriş

3.5.1.2. Kontrol Dişi

Kontrol dişi, membadaki su derinliğini kontrol etmek için şekil 3.22 (b)'deki gibi girişe yerleştirilebilir. Kontrol dişi membada normal derinliği ve hızı sağlamak için tasarlanmışsa da girişte akımın hızlanmasına neden olur, hızlı gelen akım girişteki ilk sıra dişlere çarpınca sıçrama meydana gelir. Dikdörtgen giriş bölümü, kontrol dişinden 1.524 m geride başlamalıdır ve diş ile eşik arasındaki uzunluk, akımın tüm genişliğe dağılması için memba suyu derinliğinin 3 katı olmalıdır [24].

3.5.1.3. Kontrolsüz Giriş

En basit giriş tipidir. Membadaki suyun girişte herhangi bir kontrole ihtiyaç duymadığı ve membadaki kanalın erozyona karşı sabit olduğu durumlarda kullanılır. Şekil 3.22 (c). Su ilk sıra dişlere çarpınca sıçrama meydana gelir, sıçramayı en aza indirmek için kanala ters bir eğim verilebilir bu sayede akım dişlere dik bir şekilde çarpar. Eğim bazen kaldırılabilir. Şekil 3.22 (b) [24].

3.5.2. Dişli Eğik Düzlemin Kapasitesi

Şüt kanalları tam kapasitede akım geçecek şekilde tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Dişli eğik düzlemin kapasitesi, birim boydan geçen müsaade edilen debinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki tablo üzerinde gösterilmiştir. Birim boydan geçen debinin (q) ara değerleri için enterpolasyon yapılmalıdır [25].

Q	q
Kapasite	Birim Boydan Geçen Debi
(lt/sn)	(lt/sn/m)
0- 1104	466- 928
1132- 2803	928- 1394
2831- 5351	1394- 1857
5378- 13023	1857- 2785

3.5.3. Dişli Eğik Düzlem Tasarımı ve Enerji Kırıcı Diş Boyutları

Şüt genellikle 2:1 oranında inşa edilir. Eğimin memba kısmının tabanı yatay bir zemine akımın aşırı dikey büzülmesini engelleyecek şekilde bir eğri ile bağlanmalıdır. Aynı zamanda bu yarıçap, ilk sıradaki dişlerle etkileşime girmeyecek şekilde, oldukça küçük olmalıdır. İlk sıradaki dişlerin yukarı bakan yüzlerinin yüksekliği, eğimin en üst noktasından 0.3048 m daha fazla altında olmamalıdır. İlk sıradaki dişler eğim üzerinde mümkün olduğu kadar en yükseğe koyulmalıdır çünkü suyun yarısı ilk sırada çarpmaz ve ikinci sıraya kadar ilerler. İkinci sıradaki dişlerde kanat duvar tepesini aşmasını engellemek için dişin üçte bir veya üçte ikisi oranında bir diş duvara karşı en üstte veya ilk sırada yerleştirilmelidir. Eğimin sonunda istenilen akım modeline ulaşmak için 4 diş sırası gereklidir.

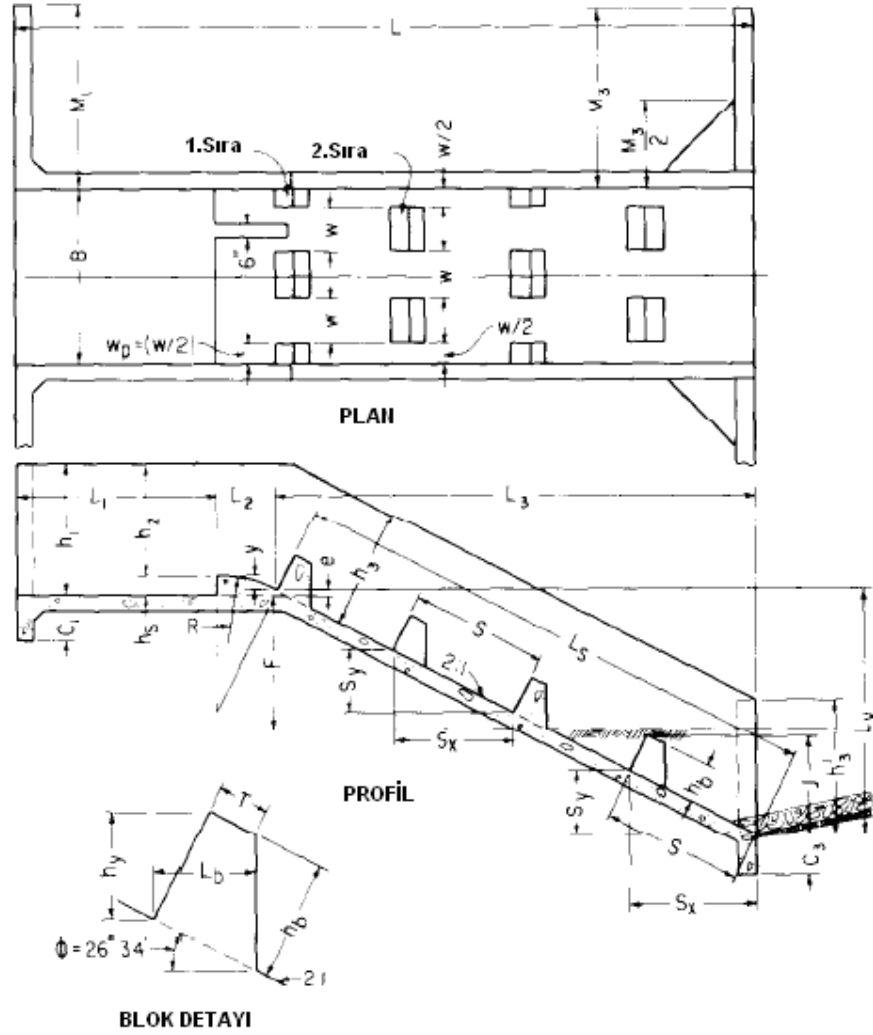
Şütün yan duvarların yüksekliği diş yüksekliğinin 3 katı veya daha fazla olmalıdır. Bu yükseklikteki duvarlar ana akımı ve sıçramanın çoğunu karşılar. Duvarın üzerinden atlama riski

genellikle 2. ve 3. sıra civarında oluşur. Eğer çevredeki alanın ıslanmaması çok önemli ise eğimin başlangıç kısmında duvar boyu uzatılabilir [19].

Gerekli boyutlar aşağıdaki sırayla tespit edilecektir [24, 25].

1. Eğik düzlem meyli 2/1 ($\text{tg}\theta=0.50$) alınacaktır
2. Eğik düzlemin yaklaşık genişliği aşağıdaki eşitlik ile sağlanır.
$$B = Q/q$$

B: Genişlik
Q: Maksimum toplam deşarj
q: Birim boydan geçen debi
3. İlk sıradaki dişler, kret kotundan maksimum 30 cm. aşağıda olacak şekilde yerleştirilirler.
4. Diş yüksekliği H, kritik derinliğin 0,9 katı olmalıdır. Yani, $H=0,9 d_c$ olmalıdır.
5. Dişlerin genişlikleri ve aralarındaki mesafeler eşit olmalıdır ve H'dan küçük ve 1,5H'dan büyük alınmamalıdır. Kısmi blokların genişlikleri, 1/3H'dan büyük ve 2/3H'dan küçük alınmalıdır. Bu hale göre 1,3,5,7,... sıraları kısmi bloklar ile başlayacak ve 2,4,6,8,... sıraları ile şaşırtmalı olacaktır.
6. İki blok arasında meyilli mesafe en az 2 H ve en çok 1,80 m. olmalıdır. Blok yüksekliği 90 cm den küçük ise; blok sıraları arasındaki mesafe 180 cm alınabilir.
7. En az 4 sıra blok kullanılmalıdır. Dişli eğik düzlem, mansap kanalı tabanından daha derine kadar uzatılmalı, en az bir sıra blok, mansap kanalı tabanı altında kalmalı ve en son blok sırası da inşa edildikten sonra normal kanal tabanına kadar dolgu yapılmalıdır. Kanal tabanı altında kalan en son blok sırasından sonra; eğik düzlem mesafesi kadar uzatılmalıdır.
8. Diş memba yüzleri, kanal tabanına dik olacak şekilde yerleştirilmelidir. Blok üst genişliği T, en az 20 cm, en fazla 25 cm olmalıdır.
9. Kanal yan duvarların önerilen yüksekliği, eğik düzlem yüzeyine dik olarak diş blok yüksekliğinin 3 katı olmalıdır. Genellikle bütün sıçramayı engelleyecek şekilde duvar yapılması bu tür yapılar için çok ekonomik değildir.



Şekil 3.23 Dişli eğik düzlemlerin tasarımı

3.5.4. Dişli Eğik Düzlemlerin Kaymaya Karşı Dengesinin Araştırılması

3.5.4.1. Uzun Dişli Düzlemler

Özellikle; mansap kanalı ile, eğik düzlemin birleştiği kısımda toprağın oyularak boşaltılması halinde, yapının bütünü ile kayması mümkündür. Dişli eğik düzlemler üzerindeki model çalışmalarında, mansap doğrultusunda; dişler üzerindeki ortalama net su basıncının 1,20 ile 1,50 m yüksekliğine eşdeğer olduğu tespit edilmiştir. Bu ise dişlere, mansap doğrultusunda $0,12 \text{ kg/cm}^2$ ile $0,15 \text{ kg/cm}^2$ 'lik bir basınç etki ettiğini gösterir [24, 25].

3.5.4.2. Kısa Dişli Düzlemler

Mansap kanalının tamamen oyulduğu kabulü ile, kısa dişli eğik düzlemlerde de kayma tahkiki yapılmalıdır. Bu halde; kaymanın yatay bir düzlem üzerinde olduğu farzedilir. Uzun eğik düzlemlerde, kaymanın eğik bir düzlemde olduğu varsayımı daha doğrudur.

Kanalda maksimum proje debisinde, yatay düzlem boyunca yapıyı kaymaya zorlayan kuvvetler F_s , aşağıda belirtilen kuvvetlerin toplamına eşdeğerdir [24, 25].

$$F_s = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

Burada;

F_1 : Memba kesme duvarlarının yüzeyine, memba yönünde etkiyen hidrostatik basınç

F_2 : Giriş eğiğinin memba yüzeyine etkiyen hidrostatik basınç

F_3 : Enerji kırıcı dişlerin memba yüzeyine etki eden hidrostatik basınç kuvvetinin yatay bileşeni

F_4 : Mansap kesme duvarlarının memba yüzeyine, yoğunlaştırılmış toprak yükünün uyguladığı kuvvettir.

Kanalda maksimum proje debisi varken, kaymaya karşı koyan kuvvet F_R ise, zemin ile kanal tabanı arasındaki sürtünme ve pasif toprak etkisidir. Sürtünme direncinin, yalnızca $(L_1 + L_2)$ uzunluğundaki giriş kısmında oluştuğu, eğimli kısmın (L_3) , yatay doğrultuda serbestçe kaydığı kabul edilir. Sürtünme direnci, alttan kaldırma kuvveti ile hafifletilmiş yapı ağırlığının, pasif toprak kuvveti ise, içsel sürtünme açısının bir fonksiyonudur. Kesme duvarlarının mansap yüzeyindeki hidrostatik kuvveti bir emniyet faktörü olarak ihmal edilir.

Buna göre;

$$F_R = \mu (W_c + W_w - U) + \text{Pasif toprak kuvveti}$$

μ : kayma sürtünme katsayısı, genellikle 0,35 olarak alınır

W_c : Giriş kısmındaki beton ağırlığı

W_w : Giriş kısmındaki suyun ağırlığı

U : Dikey yukarı kaldırma kuvveti. Lane'nin "Ağırlaştırılmış Sürtünme Yolu" metoduna göre tayin edilen alttan kaldırma kuvveti. Hidrostatik alttan kaldırma kuvvetinin yaklaşık olarak tespiti için, memba maksimum su seviyesi ile mansap su seviyesini birleştiren çizgi, basınç çizgisi olarak kabul edilebilir.

Hesaplanan F_R 'nin bir emniyet faktörü kadar F_s 'den büyük olması lazımdır. Bu şartın gerçekleşmemesi halinde, ilave kesme duvarlarının inşası gerekir. Yani kaymayı destekleyen kuvvetler, kaymaya direnç oluşturan kuvvetlerden daha büyükse kesme duvarları eklenebilir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Enerji kırıcı yapılarda enerjiyi etkileyen parametreler; kapak arkasındaki su yüksekliği, kapaktan sonraki akımın derinliği ve hızı, enerji kırıcı blok tipi ve mansap tarafındaki su yüksekliği olarak sıralanabilir. Bu çalışmada bu parametreler dikkate alınarak laboratuarda farklı geometrik şekilli enerji kırıcı blok tipleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney verileri kullanılarak enerji kırılma oranları belirlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

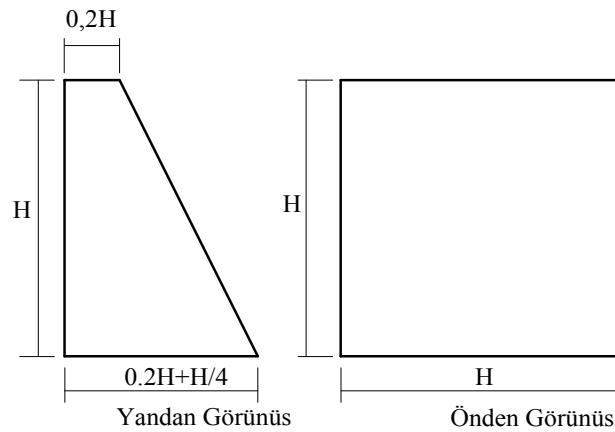
Enerji kırıcı blokların toplam uzunluğunun, kanal genişliğinin %40–55 arasında seçilmesi gerektiği daha önceki bilimsel araştırmalarda tespit edilmişti. Bu değerler baz alınarak, enerji kırıcı blokların toplam genişliği kanal genişliğinin %40 kadar seçildi.

Enerji kırıcı blokların yüksekliği ise maksimum ($2.72 h_1$) ve minimum ($0.81 h_1$) değerleri arasında kalacak şekilde seçildi.

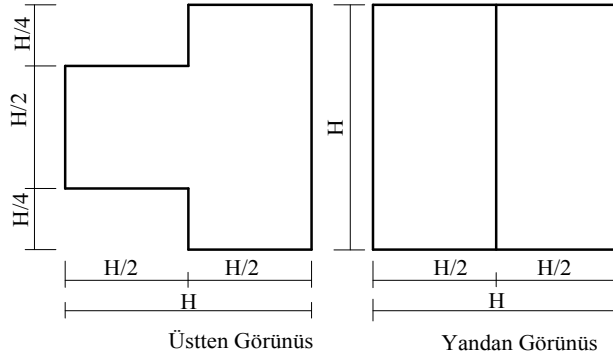
Bu çalışmada, enerji kırıcı bloklar şüt savak boyunca yerleştirildi. Yapılan deneylerde enerji kırıcı bloklar, ilk sıradaki enerji kırıcı bloklar arasındaki boşluklara denk gelecek şekilde şaşırtmalı olarak şüt savak içine yerleştirildiler.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre çizilen eğrilere, birinci dereceden eğri uydurma işlemi MATLAB bilgisayar programı ile yapılmıştır.

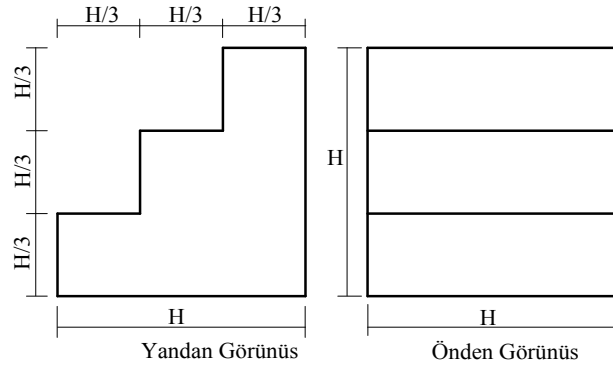
4.2. Deneyde Kullanılan Enerji Kırıcı Blok Tipleri



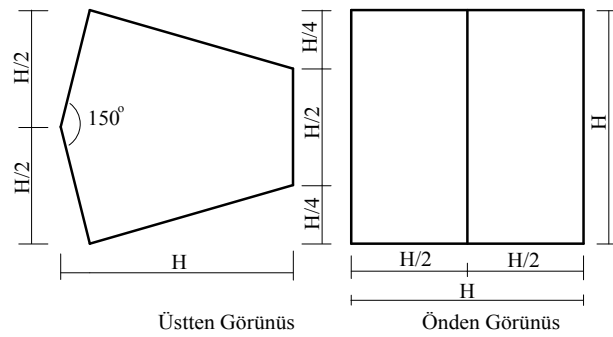
(a) Trapez Şekilli



(b) T-Şekli



(c) Basamaklı

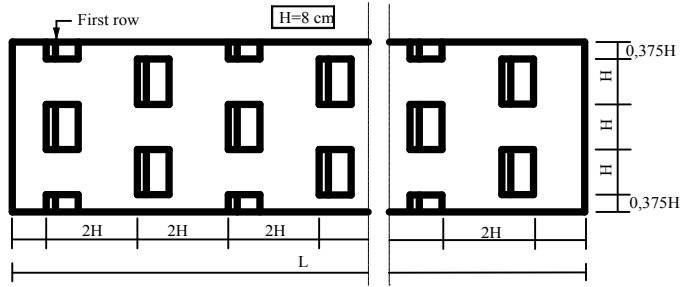


(d) Beşgen Şekli

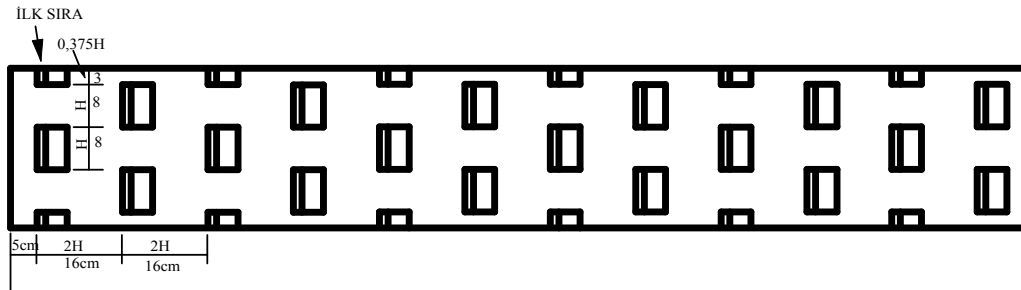
Şekil 4.1 Enerji kırıcı blok tipleri (a-d)

4.3. Enerji kırıcı blokların plandaki dizilişi

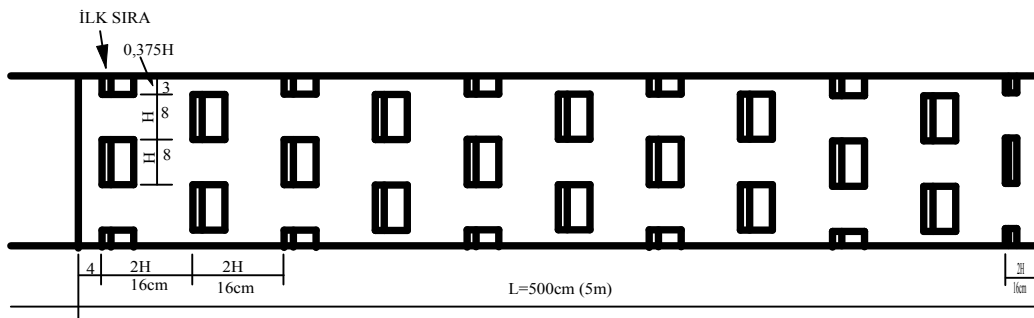
1) $\alpha=22,5^\circ$, $L=3,26\text{m}$ ve 20 sıra (30 tam 20 yarım blok var)



2) $\alpha=18,74^\circ$, $L=3,89\text{m}$ ve 24 sıra (36 tam 24 yarım blok var)

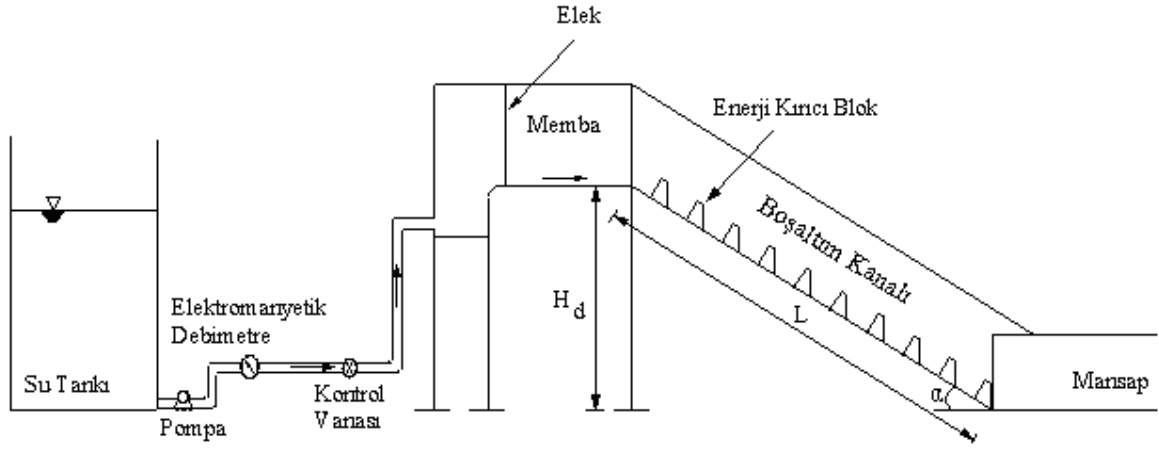


3) $\alpha=14,48^\circ$, $L=5\text{m}$ ve 31 sıra (46 tam 32 yarım blok var)



Şekil 4.2 Enerji kırıcı blokların plandaki dizilişi

4.4. Deney düzeneği



Şekil 4.3 Deney Düzeneği



Şekil 4.4 Enerji kırıcı blokların şüt kanalındaki görünümü

4.5. Deneyin Yapılışı

Şüt kanallarına yerleştirilen enerji kırıcı dişler ile ilgili yapılan deneyler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneyler, 0.30 m genişlikli ve 0.50 m yükseklikli bir dikdörtgen şüt kanalında yürütüldü. Şütün yatayla yaptığı açılar; 13.25°, 14.95°, 19.37°, 23.31°, 27.85°, 31.74°, 42.54°, ve 53.78°'dir. Deneyde kullanılan debi, laboratuvar zemininden 1.29 ve 2.63 m yükseklikte bir yaklaşım kanalına suyun pompalanması ile şüt kanalına gelmesi sağlandı. Şüt kanalının başında düzgün bir akım elde etmek için şütün ilk giriş kısmına bir ogee profili yapıldı. Bütün deneylerde, 17.241×10^{-3} ile $86.207 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}'\text{lik}$ birim debi değerleri kullanılmıştır. Deneyde kullanılan debiler, şüt kanala suyu getiren boruya Krohne marka bir elektromanyetik debimetre takılarak ölçüldü. Deneyde kullanılan enerji kırıcı dişler ahşaptan yapıldı ve daha sonra boyanarak deneylerde kullanıldı. Bu bloklar literatürde bahsedilen yöntemler doğrultusunda hazırlanmış ve sac tabakalar üzerine yapıştırılmıştır [26, 27]. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi bu sac tabakalar, deney sırasında şüt kanalın içerisine monte edilmiştir. Enerji kırıcı blok tipleri çeşitli geometrik şekillerden oluşmaktadır. Bunlar; basamaklı, beşgen, T şekilli ve trapez şeklindedir. Şekil 4.3'de görülen deneydeki akım hızları, şüt kanalı girişinden önceki yaklaşım kanalında ve şüt kanalı bitimindeki mansap kanalında Schiltknecht marka mikro hızölçer yardımıyla ölçüldü. Akım yükseklikleri, elektronik göstergeli Mitutoyo marka limnimetre yardımıyla ölçüldü.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

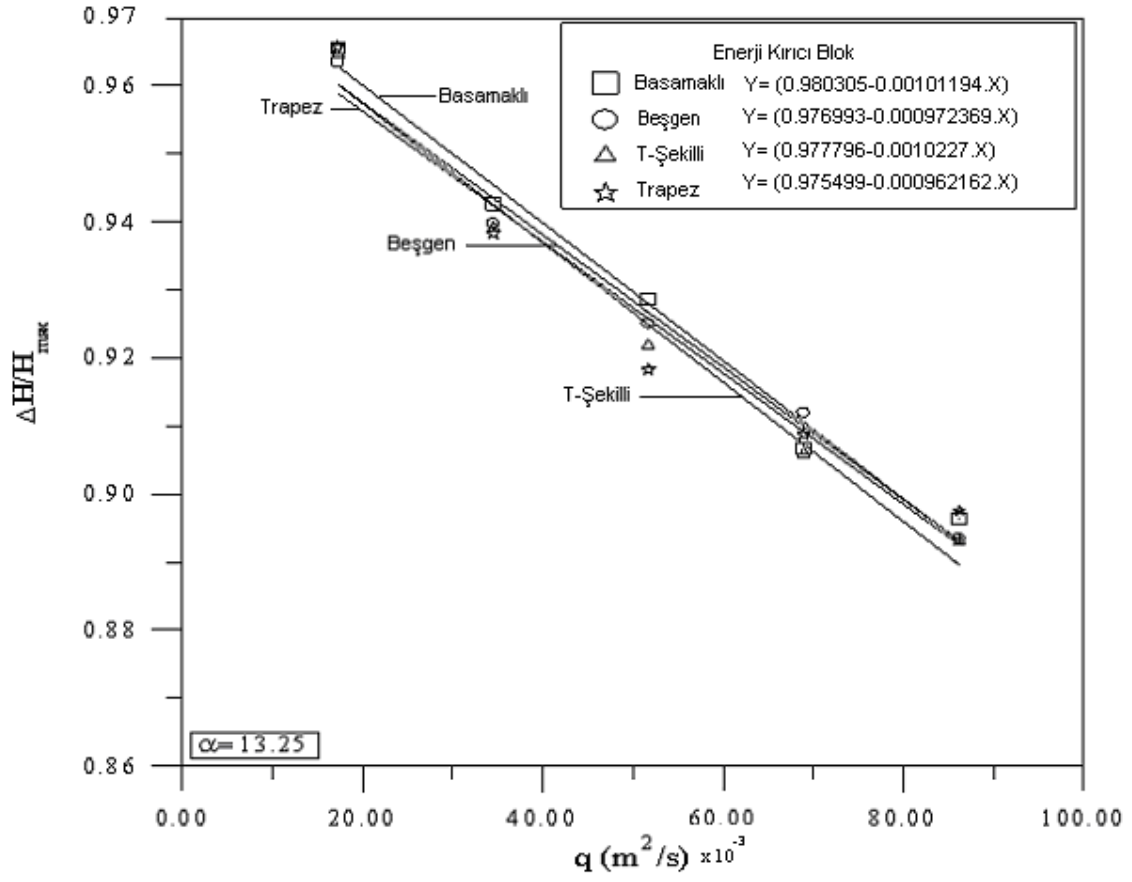
Bu deneysel çalışma sırasında dört adet farklı geometriye sahip enerji kırıcı bloklardan oluşan modeller kullanılarak akım içinde oluşturulan hidrolik sıçrama ve türbülans yardımıyla akımdaki enerji sönümleme oranları incelenmiştir.

Şüt kanalından önce (memba) ve sonra (mansap) akımın ölçülen hız yükseklikleri ve akım derinlikleri bulunarak, enerji yüksekliği formüllerinden, akımdaki enerji yükseklikleri hesaplanarak ve ayrıca bu değerler dikkate alınarak enerji sönümleme oranları bulundu. Şüt kanalı girişindeki enerji yüksekliği, $H_{max} = H_d + 1,5h_c$ formülüyle, şüt kanalı sonundaki kalan enerji yüksekliği de

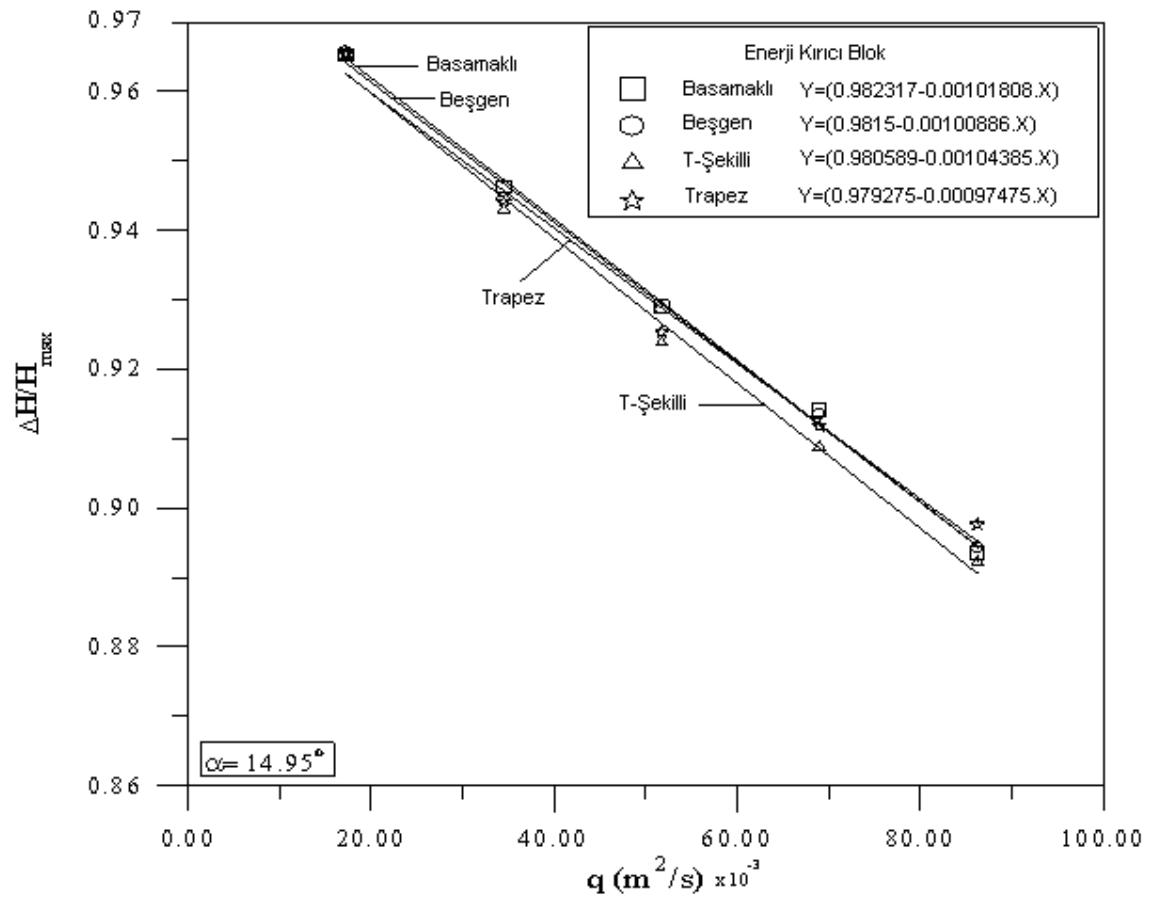
$H_r = h + \frac{q^2}{2gh^2}$ formülüyle hesaplandı. Kritik akım derinliği $h_c = \sqrt[3]{q^2 / g}$ formülüyle hesaplandı.

Daha sonra enerji sönümleme farkı $\Delta H = H_{max} - H_r$ formülüyle hesaplandı. Burada H_{max} şüt kanalı sonu ile kanal başlangıcı arasındaki yüksekliği göstermektedir. Değişik geometrik şekildeki enerji kırıcı bloklardan elde edilen enerji sönümleme oranları aşağıda kıyaslanmıştır. Bu kıyaslanma enerji sönümleme oranı $\Delta H / H_{max}$ ile birim debi arasındaki değişim eğrisine uydurulan eğrinin eğimi ile kıyas yapıldı.

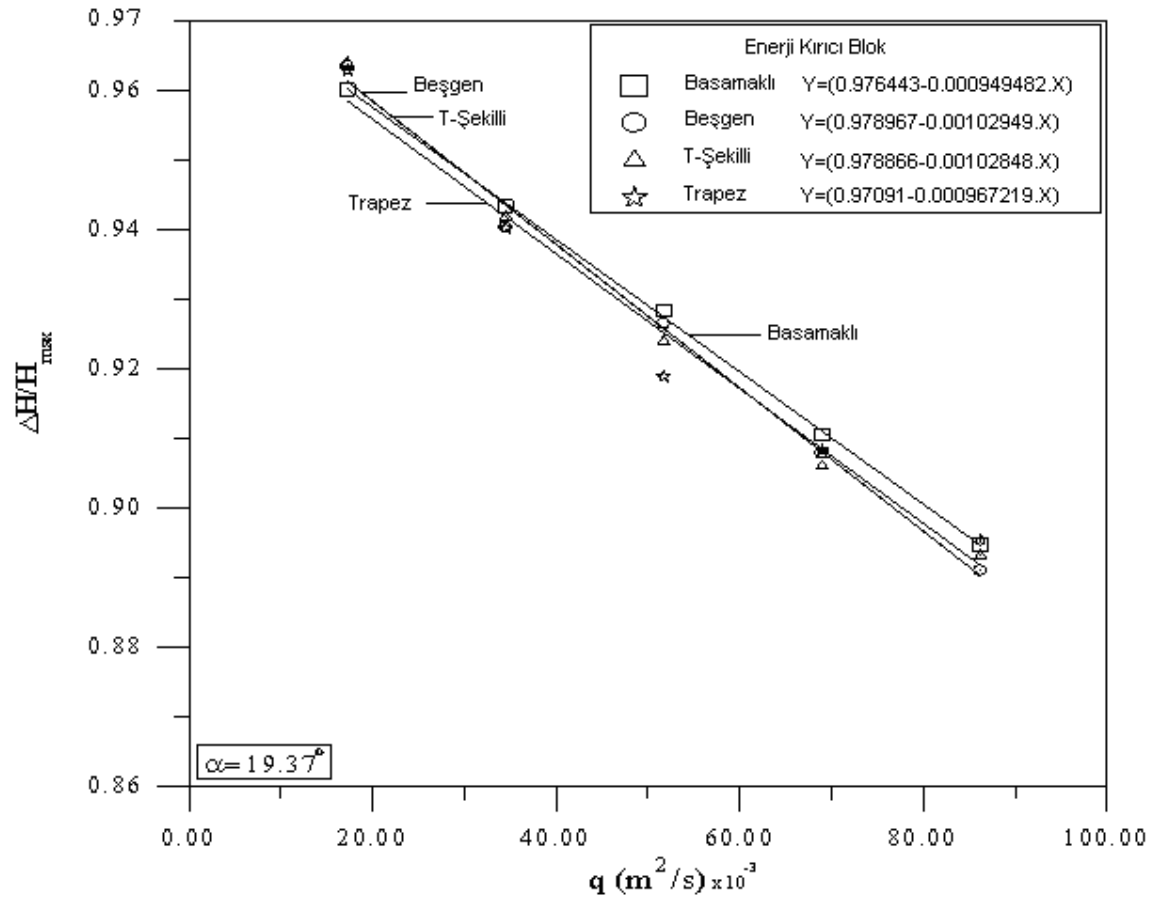
Şekil 5.1’de farklı tip enerji kırıcı blokların birim debi ile $\Delta H / H_{max}$ arasındaki değişim oranları gösterilmiştir. Bu şekillerden açıkça görülüyor ki birim debinin artmasıyla enerji kırma oranlarının azaldığı şekillerden anlaşılmaktadır. Deneyde kullanılan tüm şüt açılarında enerji kırma oranları birbirine yakın çıkmıştır. Test edilen enerji kırıcı bloklar arasından basamaklı enerji kırıcı bloğun biraz daha fazla enerji kıldığı görülmüştür. Özellikle basamaklı enerji kırıcı blok $\alpha=27.85^\circ$ için diğer enerji kırıcı blok tiplerinden daha fazla enerji sönümlenmiştir. Küçük şüt açılarında T şekilli enerji kırıcı bloğun diğer enerji kırıcı blok tiplerine göre daha fazla enerji sönümlendiği görülmüştür.



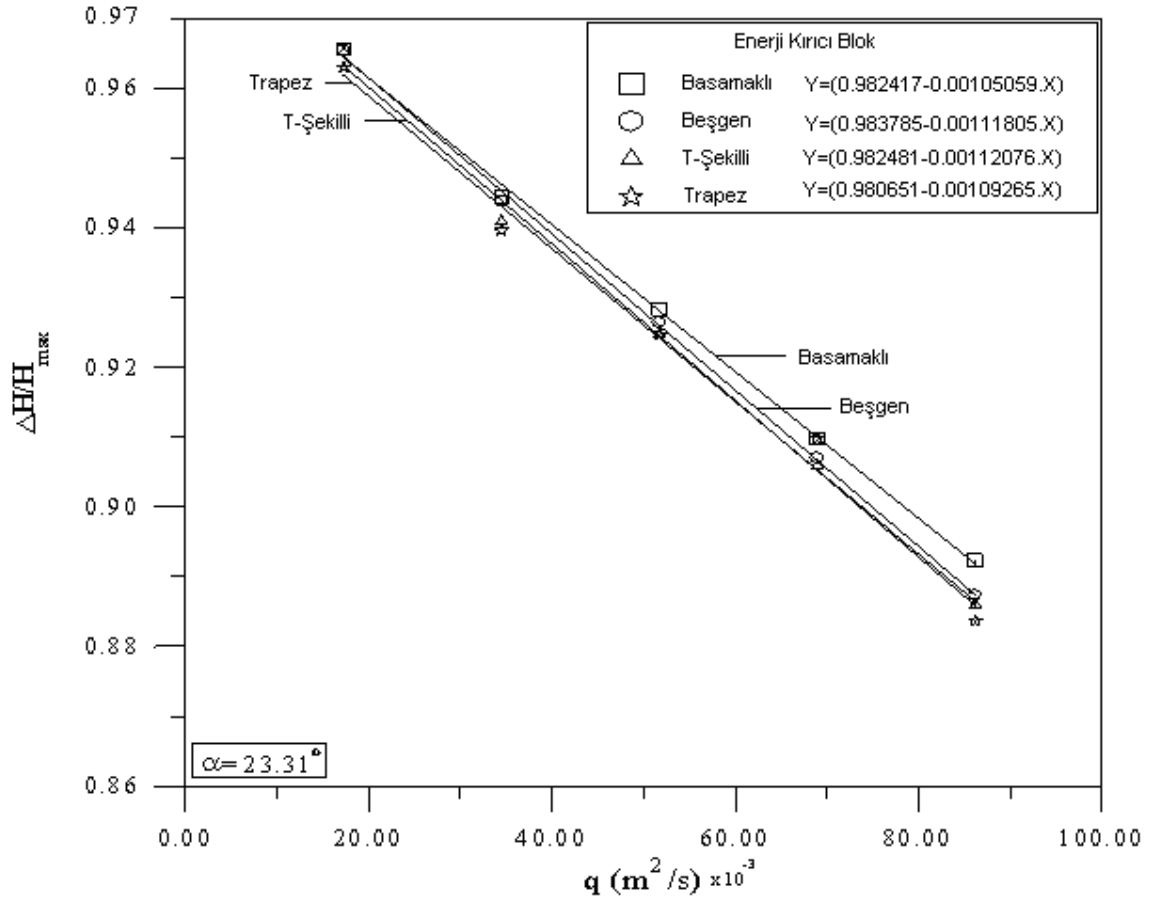
(a)



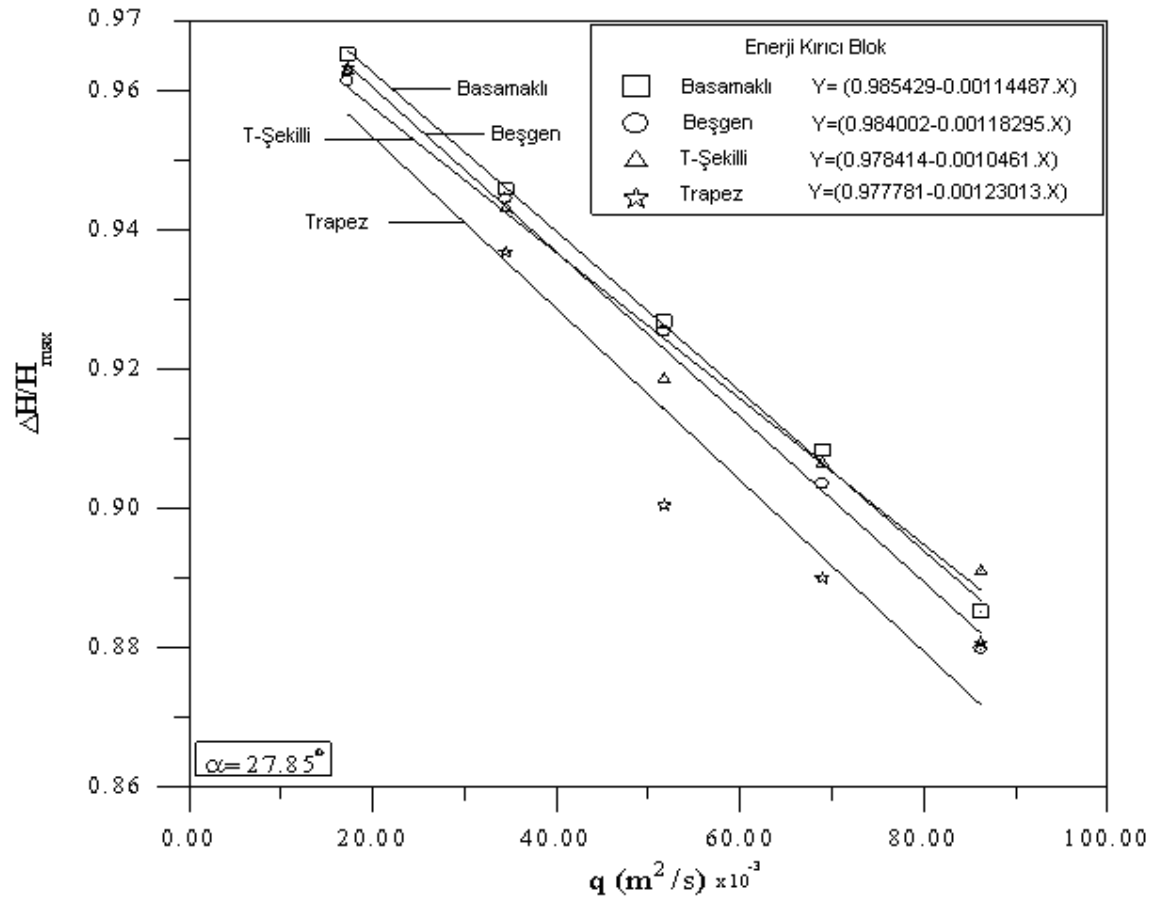
(b)



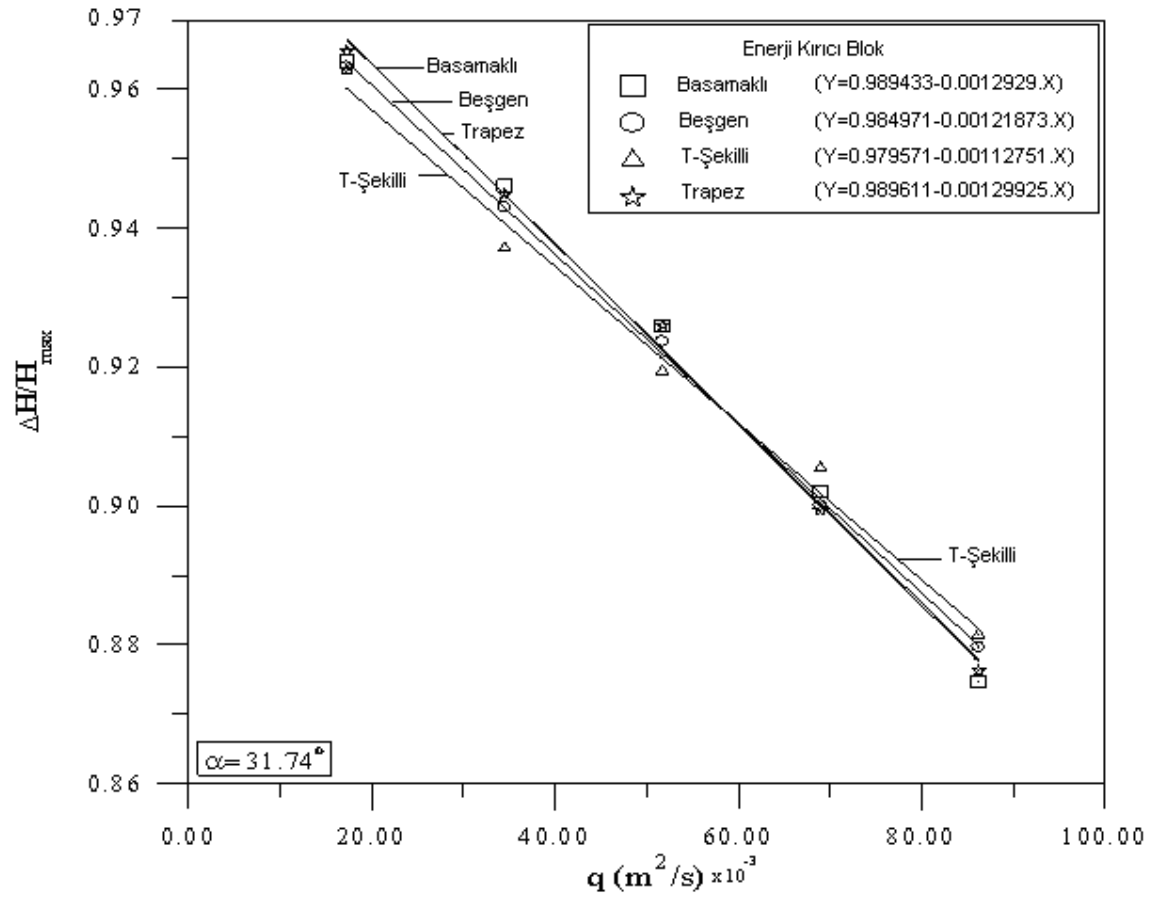
(c)



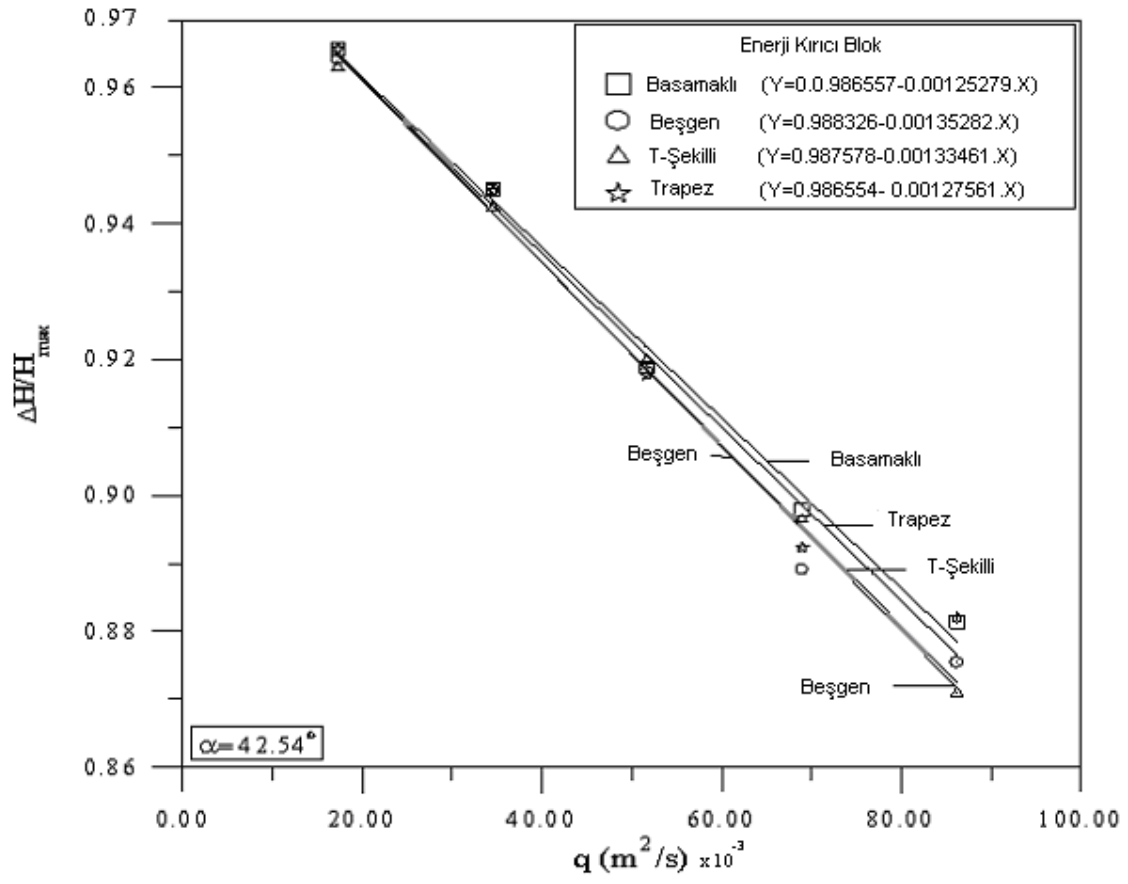
(d)



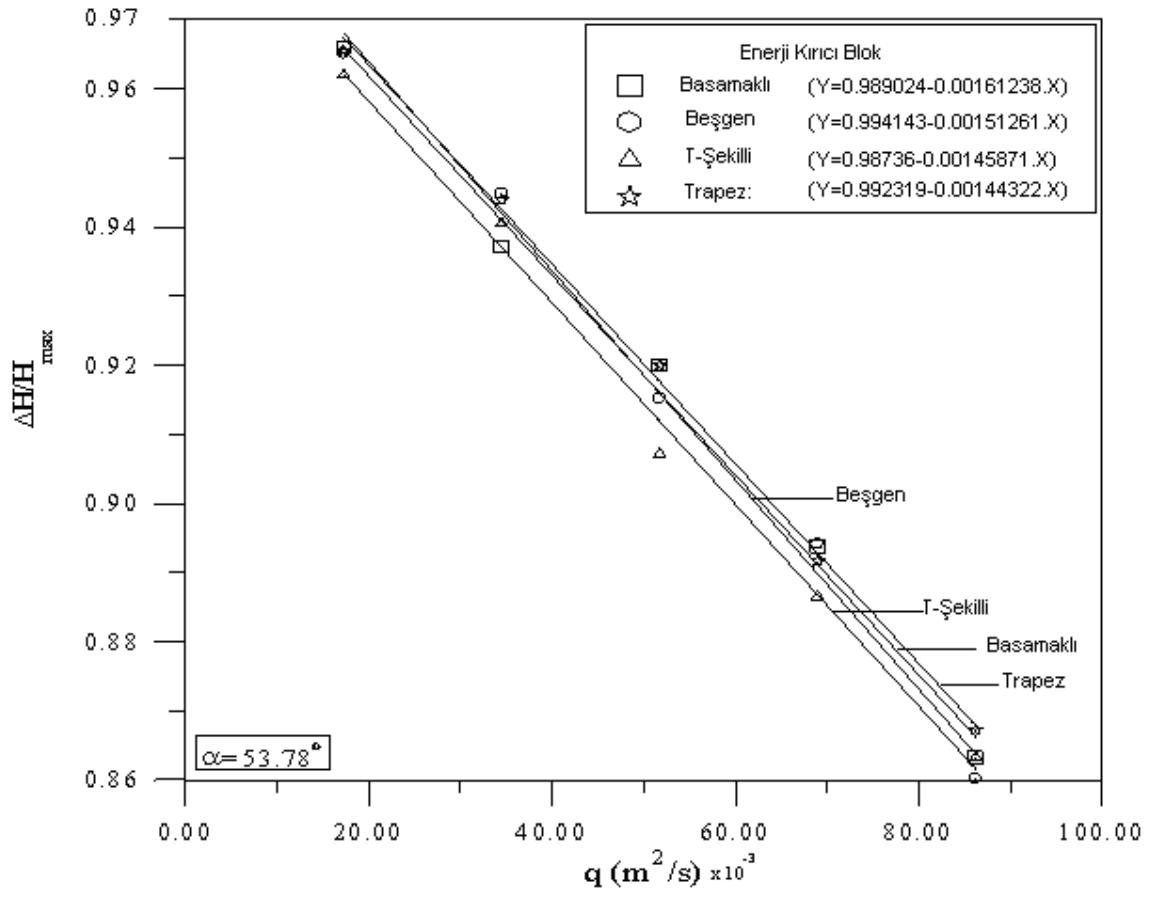
(e)



(f)

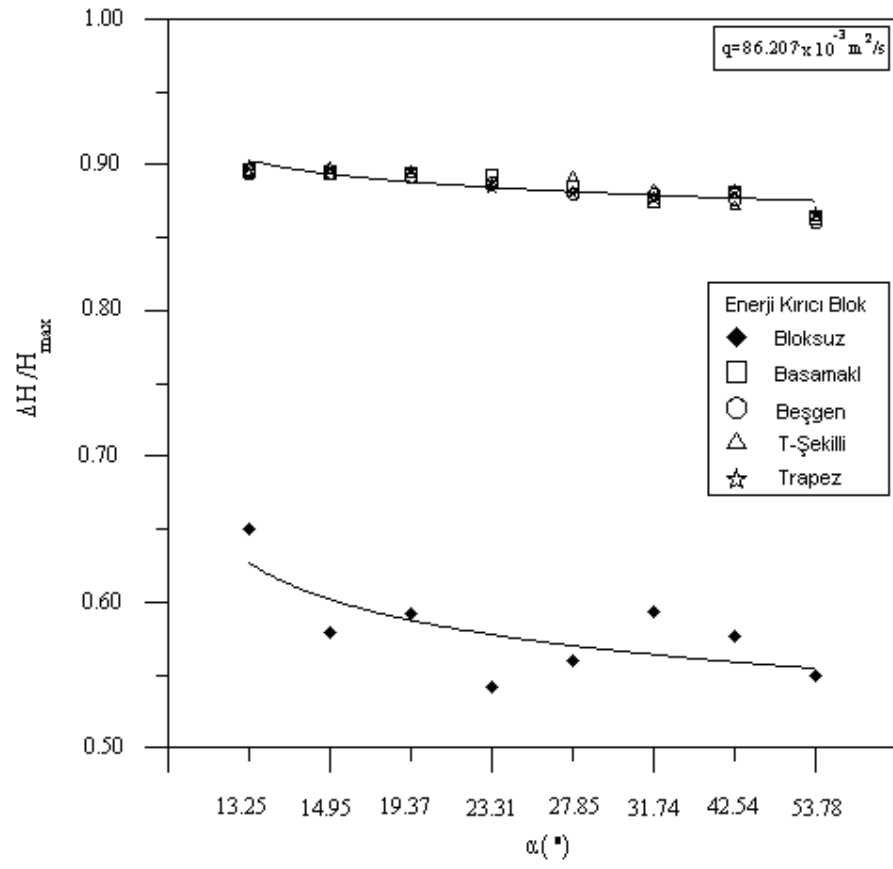


(g)

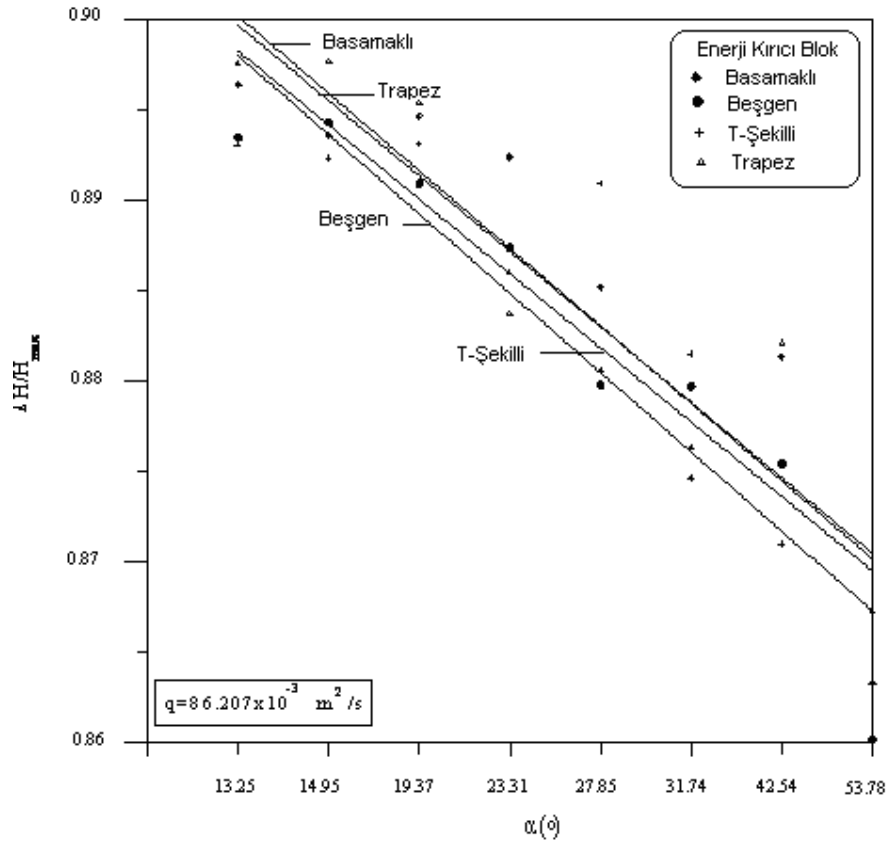


(h)

Şekil 5.1 (a-h) Şüt kanallarındaki farklı tip enerji kırıcı bloklardaki $\Delta H/H_{\max}$ ve q arasındaki değişim



(a)

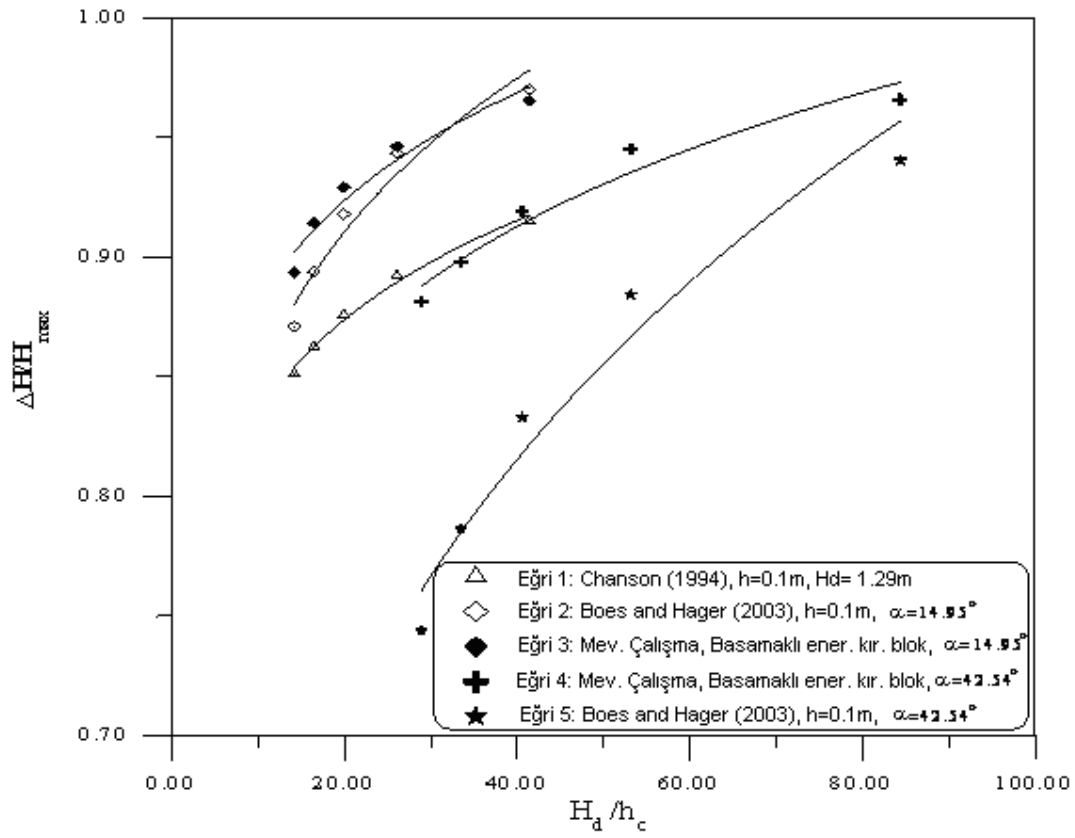


(b)

Şekil 5.2 (a-b) Enerji kırıcı bloksuz ve enerji kırıcı bloklu şüt kanallarındaki enerji sönümlenme oranları ve şüt kanalı açısı arasındaki değişim

Şekil 5.2’de enerji kırıcı bloksuz ve enerji kırıcı bloklu şüt kanallarındaki enerji sönümlenme oranları ve şüt kanalı açısı arasındaki değişim verilmektedir. Burada görülüyor ki, enerji kırıcı bloklu şüt kanalları enerji kırıcı bloksuz şüt kanallarından daha fazla enerji sönümlenme oranına sahip olduğu görülmektedir. Şüt kanallarındaki enerji kırıcı bloklar akım içerisinde türbülans ve havanın artmasına neden olan başlıca sebeptir. Şüt kanalı açısının artışı, enerji sönümlenme oranının azalmasına sebep olduğu şekilde görülmektedir. Şüt kanal açısının artması mansap tarafındaki hava almayan akım uzunluğunun azalmasının başlıca sebebidir.

Şekil 5.3’de $\Delta H/H_{\max}$ ile H_d/h_c arasındaki ilişki gösterilmiştir. Burada basamaklı dolu savaklar ile ilgili yapılan çalışmalarla kıyaslandığında enerji sönümlenme oranları yaklaşık aynı eğilimde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3 Basamaklı dolu savaklar ile enerji kırıcı bloklı şüt kanallarının enerji sönümleme oranlarının karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Bu çalışmadaki deneysel sonuçların analizlerine dayanarak aşağıdakiler yazılabilir:

- Birim debinin artmasıyla $\Delta H/H_{\max}$ değerinin azaldığı görülmüştür
- Deneyde kullanılan tüm şüt açılarında ve enerji kırıcı blok tiplerinde enerji kırma oranları birbirine yakın çıkmıştır.
- Test edilen enerji kırıcı bloklar arasından basamaklı enerji kırıcı bloğun biraz daha fazla enerji kırdığı görülmüştür.
- Şüt açısı, 13.25° ve 14.95° için diğer enerji kırıcı bloklardan daha fazla enerjiyi kıran blok tipi T şekilli enerji kırıcı blok olduğu sonucuna varılmıştır.
- Enerji kırıcı bloklu şüt kanalları, enerji kırıcı bloksuz kanallarına göre daha fazla enerji sönümleme oranlarına sahip olduğu anlaşılmıştır.
- Kritik akım derinliğinin artması ile akım içerisindeki hava almayan bölgenin uzunluğunun arttığı gözlemlenmiştir.
- Şüt kanalı açısı arttıkça enerji sönümleme oranında bir azalma görülmüştür.
- En az enerjiyi kıran trapez şekilli enerji kırıcı blok olduğu gözlenmiştir.
- Literatürdeki çalışmalarla, özellikle basamaklı dolu savaklar ile, kıyaslandığında enerji sönümleme oranları yaklaşık aynı eğilimde olduğu görülmüştür.
- Bu tip enerji kırıcı blokların sulama, yağmur suları toplama kanallarında, çevresel hidrolik yapıları (havalandırma, oksijen transferi) vb. hidrolik yapılarında enerji sönümleme amacıyla kullanılmasının uygun olduğu bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N., 2002, “Su Kaynakları Mühendisliği”, Beta Basım A.Ş., Dördüncü Baskı, İstanbul, 360s.
2. Bradley, J. & A. Peterka, 1957, “ The hydraulic design of stilling basins”, Journal Hydraulic Div., Am. Soc. Civ. Engrs 83 (No. Hy 5), 130pp.
3. Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C., 1990, “Hydraulic Structures” London UNWIN HYMAN.
4. Elevatorski, E. A., 1959, “Hydraulic Energy Dissipators”, Mc Graw-Hill Book Company, London, 214p.
5. Peterka, A. J., 1964, “Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators”, A Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph No. 25, USBR, Denver, Colorado.
6. Sorenson, R. M., “ Stepped spillway hydraulic model investigation” , Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 12,pp. 1461-1472.
7. Nani, G. B., 1975, “Stilling flow in stepped spillways” , Journal of Hydraulic Div., ASCE, Vol. 101, No. 7, pp. 901-914.
8. Rajaratnam, N., and Hurting, K. I., 2000, “Screen-type energy dissipator for hydraulic structures”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 4, April, pp. 310-312.
9. Mohamed Ali, H. S., 1991, “Effect of roughened-bed stilling basin on lenght of rectangular hydraulic jump”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 1, January, pp. 83-93
10. Peyras, L., Royet, P., and Degoutte, G., 1992, “Flow and energy dissipation over stepped gabion weirs”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 5, May, pp. 707-717.
11. Christodoulou, G. C., 1993, “Energy dissipation on stepped spillways”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 5, May, pp. 644-650.
12. Nakato, T., 2000, “Model tests of hydraulic performance of Pit 6 Dam stilling basin”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 9, September, pp. 638-652.
13. Chamani, M. R., and Rajaratnam, N., 1994, “Jet flow on stepped spillways”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 2, February, pp. 254-259.
14. Şentürk, F., 1972, Dolu Savakların Hidroliği ve Projelendirilmesi. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
15. St. Antony Falss Hyd. Lab., The SAF stilling basin. Agriculture Hand Book, No:156.
16. DSI, 1988, Regulator Projesi Kriterleri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İkinci Baskı, Ankara, 93s.

17. Yanmaz, A. M., 1997, Applied Water Resources Engineering. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş. (METU Press Publishing Company), First Edition, Ankara, Turkey, 381p.
18. Beichley, G. L., 1978, Hydraulic Design of Stilling Basin for Pipe or Channel Outlets. A Water Resources Technical Publication, U. S. Government Printing Office, Denver, Colorado, 31p.
19. A. J. Peterka, Denver Colorado, 1958, “Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators”, section 9, 222 pp.
20. USACE Hydraulic design of spillways- Engineer Manual 1110-2-1603, January 1990.
21. USBR Hydraulic design of stilling Basins and Energy Dissipators, Engineering Monograph, No 25, 197
22. Kuttiammu, T. P.; Rao, J. V. Bhavani type stilling basin for spillways of large dams, Q 12, R 44; 4th ICOLD, New Delhi, 1951
23. Morris, H. M. Hydraulics of energy dissipation in steep, rough channels, Bulletin 19, Research division; Virginia Polytechnic Institute, USA, Nov 1968.
24. A. J. Aisenbrey. Jr., R. B. Hayes, H. J. Warren, D. L. Winsett, R. B. Young, Denver Colorado, 1978, “Design of small canal structures”, Chapter 6, 435 pp.
25. Bilen, Ö., 1988, “Sulama kanalları üzerindeki yapıların projelendirilmesi” DSI, İkinci Baskı, ANKARA.
26. Peterka, A. J. (1984). “Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators”. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, A Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph No. 25.
27. Kaya, N., 2003, “Enerji kırıcı havuzlarda farklı tip enerji kırıcı blokların enerji sönmleme oranlarının incelenmesi”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 101s, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ’ da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ’ da tamamladı. 2000 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2004 yılında bitirdi. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Dalında başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2006 yılında Elazığ Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı görevini sürdürmektedir.