

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ KIRICI HAVUZLARDA
FARKLI BİR TİP ENERJİ KIRICI YAPININ
ENERJİ SÖNÜMLEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

169330

Nurettin Volkan ÇAKMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ-2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ KIRICI HAVUZLARDA
FARKLI BİR TİP ENERJİ KIRICI YAPININ
ENERJİ SÖNÜMLEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Nurettin Volkan ÇAKMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 09/08/2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mualla ÖZTÜRK

Üye: Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Üye:

Üye:



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.08.05 tarih ve 2005-26/23 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Tez ve bilimsel anlamda bu çalışmayı yöneten ve çalışmalarım sırasında daima desteğini ve büyük yardımlarını gördüğüm danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mualla ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Nurettin Volkan ÇAKMAK



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	VI
SİMGELER LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ KIRICI YAPILAR	3
2.1. Enerji Kırıcı Yapıların Sınıflandırılmaları	4
2.2. Enerji Kırıcıların Tasarımına Etki Eden Faktörler	4
2.3. Hidrolik Sıçrama	7
2.3.1. Hidrolik Sıçrama Şekilleri	10
2.4. Hidrolik Sıçrama Havuzları	11
2.4.1. Yatay Düşü Yataklı Havuzlar	11
2.4.1.1. Şut Blokları (Chute Blocks)	12
2.4.1.2. Çarpma Blokları (Baffle Piers)	12
2.4.1.3. Mansap Eşiği	13
2.4.1.4. Enerji Kırıcı Havuzların Froude Sayısına Göre Projelendirilmesi	14
2.4.2. Eğimli Düşüm Yataklı Havuzlar	17
2.5. Havuzun Mansap Suyu Derinliği	19
2.6. Enerji Kırıcı Havuzun Uzunluğu	22
2.7. SAF (St. Antony Falls) Tipi Düşü Havuzu	23
2.8. Serbest Düşümlü Enerji Kırıcılar	25
2.8.1. Dikdörtgen havuz tipi	25
2.8.2. Çarpma Engelli Havuz Tipi	26
2.8.4. Trapezoidal Havuz Tipi	26
2.9. Jet Difüzyon ve Jet Etkileşimli Enerji Kırıcılar	27
2.9.1. Jet Difüzyon Havuzları	27
2.9.2. Serbest Jet Enerji Kırıcı Havuzlar	28
2.9.3. Serbest Jet Kaydırma Oluklu Hidrolik Sıçramalı Enerji Kırıcı Havuz	28
2.9.4. Tümsek (Hump) Tipi Enerji Kırıcı Havuz	29

2.9.5. Etkileşimli (Çarpmalı) Enerji Kırıcı Havuzlar	29
2.9.6. Çarpıştırmalı Serbest Jetler	30
2.10. Yuvarlak Uçlu Enerji Kırıcılar	31
2.10.1. Yekpare Yuvarlak Uçlu (Bucket) Tip Enerji Kırıcı	31
2.10.1.1. Yuvarlak Uç Yarı Çapının Belirlenmesi	32
2.10.2. Dişli Yuvarlak Uçlu Enerji Kırıcılar	33
2.11. Serbest Jet Fırlatmalı (Ski-Jump) Enerji Kırıcılar	33
2.11.1. Fırlatma Ucu Proje Kriterleri	34
2.11.1.1. Fırlatma Ucunun Yerinin Belirlenmesi	34
2.11.1.2. Fırlatma Ucunun Yarı Çapı	35
2.11.1.3. Jet Yörüngesinin Belirlenmesi	35
3. MATERYAL VE METOT	37
3.1. Deney Düzenegi	37
3.2. Materyal ve Deney Metodu	39
3.3. Deneyde Kullanılan Enerji Kırıcı Tipler, Deney Sonuçları ve Tartışma	41
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sıçrama yüksekliği (h_2) ile mansap suyu derinliği (h_1) karşılaştırılması ve tavsiye edilen enerji kırıcı yapı tipi	5
Şekil 2.2. Sıçrama yüksekliği (h_2) ve mansap suyu derinliği (h_1) karşılaştırılması ve tavsiye edilen enerji kırıcı yapı tipleri.	6
Şekil 2.3. Büyük deşarjlarda h_2 eğrisinin h_1 eğrisinin altında olması durumu	7
Şekil 2.4. Düşük deşarjlarda h_2 eğrisinin h_1 eğrisinin üstünde olması durumu	7
Şekil 2.5. Özgül enerji-derinlik arasındaki değişim	7
Şekil 2.6. Sıçramanın Şeması (Dolu savaklardan sonraki akım)	8
Şekil 2.7. Sıçramada yer alan yük kaybı	9
Şekil 2.8. Değişik sıçrama şekilleri	10
Şekil 2.9. Hidrolik sıçrama havuzu genel görünüşü	12
Şekil 2.10. Geliştirilen başlıca çarpma blokları	13
Şekil 2.11. Mansap eşik tipleri	14
Şekil 2.12. U.S.B.R. I. Tip düşüm havuzu	15
Şekil 2.13. U.S.B.R. II. Tip düşüm havuzu	16
Şekil 2.14. U.S.B.R. III. Tip Düşüm Havuzu	17
Şekil 2.15. Eğimli Düşü Yataklı Hidrolik Sıçrama Havuzları	17
Şekil 2.16. U.S.B.R. I. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği	19
Şekil 2.17. U.S.B.R. II. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği	20
Şekil 2.18. U.S.B.R. III. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği	21
Şekil 2.19. Doğal haldeki hidrolik sıçrama uzunluğu	22
Şekil 2.20. U.S.B.R. I. Tip düşüm havuzunun hidrolik sıçrama uzunluğu	22
Şekil 2.21. U.S.B.R. II. Tip düşüm havuzunun hidrolik sıçrama uzunluğu	23
Şekil 2.22. U.S.B.R.III. Tip düşüm havuzunun hidrolik sıçrama uzunluğu	23
Şekil 2.23. Trapez kesitli havuzun yarı planı	24
Şekil 2.24. SAF (St. Antony Falls) Tipi düşüm havuzu profili	24
Şekil2.25. Etkileşimli ve hidrolik sıçramalı havuzlardaki enerji kırınımının Karşılaştırılması	30
Şekil 2.26. Çarpmalı havuz tipi ve boyutlandırma kriterleri	30
Şekil 2.27. Yekpare yuvarlak uçlu enerji kırıcı	31
Şekil 2.28. Yuvarlak ucun yarı çapının belirlenmesi	32
Şekil 2.29. Dişli yuvarlak uçlu enerji kırıcı detayı	33

Şekil 2.30. Yuvarlak ucun topuk noktasının formları	34
Şekil 3.1. Deney Düzenegi	38
Şekil 3.2. Mansap suyu anahtar eğrisi	39
Şekil 3.3. 1. tip enerji kırıcının genel şekli	42
Şekil 3.4. 2. tip enerji kırıcının genel şekli	42
Şekil 3.5. 3. tip enerji kırıcının genel şekli	43
Şekil 3.6. 4. tip enerji kırıcının genel şekli	43
Şekil 3.7. 5. tip enerji kırıcının genel şekli	44
Şekil 3.8. 6. tip enerji kırıcının genel şekli	44
Şekil 3.9. 7. tip enerji kırıcının genel şekli	45
Şekil 3.10. 8. tip enerji kırıcının genel şekli	45
Şekil 4.1. 1. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok	48
Şekil 4.2. 2.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok	48
Şekil 4.3. 3.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok	49
Şekil 4.4. 4. deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok	49
Şekil 4.5. 5.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok	50
Şekil 4.6. 6.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok	50
Şekil 4.7. 7.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok	51
Şekil 4.8. 8.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok	51
Şekil 4.9. 9. deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok	52
Şekil 4.10. 10.Deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok	52
Şekil 4.11. 11.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok	53
Şekil 4.12. 12.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok	53
Şekil 4.13. 13.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok	54
Şekil 4.14. 14.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok	54
Şekil 4.15. 15.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok	55
Şekil 4.16. 16.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok	55
Şekil 4.17. 17.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok	56
Şekil 4.18. 18.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok	56
Şekil 4.19. 19.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok	57
Şekil 4.20. 20.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok	57
Şekil 4.21. 21.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok	58
Şekil 4.22. 22.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok	58

Şekil 4.23.	23.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok	59
Şekil 4.24.	24.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok	59
Şekil 4.25.	25.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok	60
Şekil 4.26.	26.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok	60
Şekil 4.27.	27.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok	61
Şekil 4.28.	28.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok	61
Şekil 4.29.	29.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok	62
Şekil 4.30.	30.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok	62
Şekil 4.31.	31.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok	63
Şekil 4.32.	32.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok	63
Şekil 4.33.	33.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok	64
Şekil 4.34.	34.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok	64
Şekil 4.35.	35.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok	65
Şekil 4.36.	36.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok	65
Şekil 4.37.	37.deneyde kullanılan 7.tip enerji kırıcı blok	66
Şekil 4.38.	38.deneyde kullanılan 8.tip enerji kırıcı blok	66
Şekil 4.39.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	68
Şekil 4.40.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	69
Şekil 4.41.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	70
Şekil 4.42.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	71
Şekil 4.43.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	72
Şekil 4.44.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	73
Şekil 4.45.	Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	74
Şekil 4.46.	36 deneyin en verimli olan 5. deney ile 37. ve 38. deneye ait enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim	75
Şekil 4.47.	36 deneyin en verimsiz değerlerine sahip enerji kırıcı yapıların enerji sönümlleme oranlarının Fr_1 ile arasındaki değişim	76
Şekil 4.48.	36 deneyde $bw=1/3b$ olan enerji kırıcı yapıların enerji sönümlleme oranlarının Fr_1 ile arasındaki değişim	77
Şekil 4.49.	36 deneyde $bw/b=2/3$ olan enerji kırıcı yapıların enerji sönümlleme oranlarının Fr_1 ile arasındaki değişim.	78
Şekil 4.50.	$bw/b=1/3$ olan en iyi enerji kırıcı yapı ile $bw/b=2/3$ olan en iyi enerji kırıcı yapının enerji sönümlleme oranlarının Fr_1 ile karşılaştırılması.	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. U.S.B.R. II.Tip Enerji kırıcı havuz uzunluğu	16
Tablo 2.2. Çarpma blokların boyutları	16
Tablo 2.3. Mansap eşiği boyutları	16
Tablo 2.4. Farklı eğimler için k katsayısının değeri	18
Tablo 3.1. Hidrolik sıçramadan önceki ve sonraki su yükseklikleri	39
Tablo 4.1. Deney numaralarına göre kullanılan enerji kırıcı tipler	47
Tablo 4.2. 1. deneyde kullanılan 1. Tip Enerji Kırıcı Blok Deney Sonucu	48
Tablo 4.3. 2.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	48
Tablo 4.4. 3.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	49
Tablo 4.5. 4. deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	49
Tablo 4.6. 5.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	50
Tablo 4.7. 6.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	50
Tablo 4.8. 7.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	51
Tablo 4.9. 8.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	51
Tablo 4.10. 9. deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	52
Tablo 4.11. 10.Deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	52
Tablo 4.12. 11.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	53
Tablo 4.13. 12.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	53
Tablo 4.14. 13.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	54
Tablo 4.15. 14.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	54
Tablo 4.16. 15.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	55
Tablo 4.17. 16.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	55
Tablo 4.18. 17.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	56
Tablo 4.19. 18.deneyde kullanılan 3.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	56
Tablo 4.20. 19.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	57
Tablo 4.21. 20.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	57
Tablo 4.22. 21.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	58
Tablo 4.23. 22.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	58
Tablo 4.24. 23.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	59
Tablo 4.25. 24.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	59
Tablo 4.26. 25.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	60
Tablo 4.27. 26.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	60

Tablo 4.28. 27.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	61
Tablo 4.29. 28.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	61
Tablo 4.30. 29.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	62
Tablo 4.31. 30.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	62
Tablo 4.32. 31.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	63
Tablo 4.33. 32.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	63
Tablo 4.34. 33.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	64
Tablo 4.35. 34.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	64
Tablo 4.36. 35.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	65
Tablo 4.37. 36.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	65
Tablo 4.38. 37. deneyde kullanılan 7. tip enerji kırıcı blok deneyi sonucu	66
Tablo 4.39. 38.deneyde kullanılan 8.tip enerji kırıcı blok deney sonucu	66
Tablo 4.40. Deney sonuçlarından elde edilen eğrilerin eğimi	67



SİMGELER LİSTESİ

b	: Enerji kırıcı yapı yüksekliği (m)
bw	: Enerji kırıcı yapının akım çıkışındaki akım uzunluğu (m)
E ₁	: Enerji kırıcı yapıdan önceki akım enerjisi (m)
E ₂	: Enerji kırıcı yapıdan sonraki akım enerjisi (m)
E _n	: Sıçratma ucu topuk kotu (m)
E _s	: Rezervuar su kotu (m)
Fr ₁	: Froude sayısı
g	: Yerçekim ivmesi (m/sn ²)
h ₁	: Enerji kırıcıdan önceki akım yüksekliği (m)
h ₂	: Hidrolik sıçrama yüksekliği (m)
h _c	: K ritik akım derinliği (m)
h _ç	: Enerji kırıcı yapının akım çıkış yüksekliği (m)
h _g	: Enerji kırıcı yapının akım giriş yüksekliği (m)
h _w	: Enerji kırıcı yapı yüksekliği (m)
j _t	: Kanal taban eğimi
L	: Hidrolik sıçrama uzunluğu (m)
N	: Sıçramada kaybedilen güç (kg.m/sn)
R	: Fırlatmalı enerji kırıcılarda fırlatma yüzeyinin eğrilik yarıçapı (m)
Q	: Debi (m ³ /sn)
q	: Birim en debi (m ³ /sn/m)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
μ	: Dinamik Viskozite (kg.sn/m ²)
γ	: Suyun özgül ağırlığı (t/m ³)
θ	: Kanalın taban eğimine tekabül eden açı
λ ₀	: Enerji kayıpları katsayısı
V ₁	: Enerji kırıcıdan önceki akım hızı (m/sn)
V ₂	: Enerji kırıcıdan sonraki akım hızı (m/sn)
w	: Şut bloklarında max.diş genişliği (m)
Y	: Jet yörüngesinin y koordinatları (m)
X	: Jet yörüngesinin x koordinatları (m)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ KIRICI HAVUZLARDA FARKLI BİR TİP ENERJİ KIRICI YAPININ ENERJİ SÖNÜMLEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Nurettin Volkan ÇAKMAK

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2005, Sayfa: 84

Barajların üzerinden su taşması, özellikle toprak ve kaya dolgu barajlarda güvenlik için çok önemlidir. Bu amaçla baraj gölüne gelen fazla suların kontrollü olarak mansap bölgesine verilmesini sağlayan dolu savaklar yapılır. Baraj ile sağlanan düşü farkından dolayı, dolusavak çıkışında çevresini tahrip edercesine büyük enerjiye sahip akımın enerjisinin azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla enerjinin sönmelenmesinde oldukça etkili olan hidrolik sıçrama ve türbülans oluşumunu sağlayan enerji kırıcı yapılar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada da hem şut bloku hem de eşik işlevini yerine getirmesi düşünülen farklı tipte 8 enerji kırıcı blok düşünülmüştür. Bu enerji kırıcıların ortak özellikleri kanal genişliğince yekpare yerleştirilmeleri ve akımın enerji kırıcının içinden geçerek memba veya mansaba çarpmasıdır. Böylece hidrolik sıçramanın yanında, suyun suya çarptırımı da gerçekleştirilerek türbülans oluşumu artırılmaya çalışılmıştır. Küçük debiler kullanılarak dağ akarsularına ait dolusavaklar için enerji kırıcı yapılar modellenmiştir. Enerji kırıcı tip yanında, enerji kırıcı yapı yüksekliği ve suyun enerji kırıcıdan çıkış genişliğinin enerji sönmelenmesine etkinliği araştırılmıştır.

Verilere göre, en iyi enerji sönmleyen tip 1.tiptir. Akım çıkış genişliği $1/3 b_w$ ve enerji kırıcı yüksekliği de h_1 'dir.

Anahtar Kelimeler: Dolu savak, Hidrolik Sıçrama, Enerji Kırıcılar, Enerji sönmleme, Enerji Kırıcı Havuz.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE ENERGY DISSIPATION AT THE STILLING BASIN FOR DIFFERENT TYPED AN ENERGY DISSIPATION

Nurettin Volkan ÇAKMAK

Firat University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2005, Page: 84

The overflow of water from dams is extremely important especially for earthfill dams. For this purpose spillways are built to transfer the excessive water to downstream

The huge energy of flow at the end of the spillway which is caused by the difference in height should be decreased. So, energy dissipator structures which leads to hydraulic jumps and turbulence formation are used to reduce the energy of flow.

8 different types of energy dissipator blocks to perform and threshold functions are considered in this study. Placement as one block and strike of flow to upstream and downstream by passing through are common features of these energy dissipators. So turbulence formation is to be increased by collision of water with water besides hydraulic jumps. Energy dissipator structures are designed by using small amounts of flow of mountain streams. The impact of the height of structure and the width of water at the exit on reducing the energy is also studied.

According to collected data the best type for energy reduction is type 1, the width of flow at the exit is $1/3b_w$ and the height of the dissipator is h_1 .

Key Words: Spillway, Hydraulic Jumping, Energy Dissipators, Energy Damping, Stilling Basin

1.GİRİŞ

Akarsu yapılarında, en önemli yer tutan yapılardan birisi barajlardır. Barajlar, inşa edildikleri ilk yıllarda, sulama amaçlı olarak inşa edilmekteydiler. Günümüzde ise barajlar, sulama, içme ve kullanma suyu temini, taşkın kontrolü ve elektrik üretimi amaçlarına yönelik olarak inşa edilmektedirler. Bazı barajlar bu amaçların bir kaçını veya tümünü sağlamak amacıyla inşa edilirler. Ülkemizde inşa edilen Atatürk barajı buna bir örnektir.

Barajların üzerinde su taşması, toprak ve kaya dolgu barajlar için büyük önem taşımaktadır. Barajları bu tehlikeden koruyan ve baraj gölüne gelen fazla suları kontrollü olarak mansap bölgesine aktaran yapılara dolusavak adı verilir. Yapılan araştırmalar sonucunda, günümüzde değişik tipte dolu savaklar inşa edilmektedir.

Baraj ile sağlanan düşü farkından dolayı, dolusavak yapılarının çıkışındaki akış, oldukça yüksek hızlara ulaşmaktadır. Oldukça büyük bir kinetik enerjiye sahip olan akış, büyük basınç ve sürtünme kuvvetleri meydana getirerek akış yatağında oyulma ve aşınmalara yol açar. Bu nedenle, suyun enerjisini kırarak yapıya ve çevredeki yapılara zarar vermeden suyu mansaba aktaran ve mansap bölgesine zarar vermeyecek şekilde sönmümlendirilmesi için inşa edilen yapılara enerji kırıcı yapılar denir. Değişik tipte enerji kırıcı yapılar projelendirilmiştir. Araştırmacılar bu yapıların olumsuz yönlerinin ortadan kaldırılması, daha ekonomik, daha verimli, yapıya ve çevreye daha az zarar verecek tipte enerji kırıcıların projelendirilmesi için çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada; hidrolik sıçrama havuzu içine yerleştirilen 8 tane farklı tip enerji kırıcı yapı üzerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, enerji sönmüleme oranı en iyi olan enerji kırıcı yapı tespit edilmiştir. Ayrıca; enerji kırıcı düşüm havuzları hakkında bilgi verilmiştir.

Araştırmacılar, enerji kırıcı yapılar konusunda çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarla ilgili olarak;

Chanami ve Rajaratnam [1],“Basamaklı Dolusavaklar Üzerinde Fırlatmalı Akım”,hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada enerji kaybının kritik akımla basamak yüksekliği arasındaki değişim miktarı incelenmiştir.

Verma ve Goel [2], “Boru Çıkışları için Düşüm Havuzlarında Kama Şekilli Yayma Blokların Kullanılması” başlıklı çalışmalarında, şekil, boyut ve konumlarını,

Froude sayısını dikkate alarak tespit ettikleri farklı tipteki kama şekilli bloklar üzerinde durmuşlardır.

Rajaratnam ve Hurting, çalışmalarını [3], “ Hidrolik yapılar için Elek Tipi (Gözenekli) Enerji Kırıcılar” başlığı ile yayınlamışlardır.

Nani [4], “Düşük Froude Sayıları için Düşüm Havuzlarının Tasarımı”, başlıklı çalışmada düşüm havuzu içinde gelen akıma karşı farklı eğimlerde enerji kırıcı blokların kullanılmasını incelemiştir.

Pillai, Goel ve Dubey [5], “ Düşük Froude Sayıları için Hidrolik Sıçramada Düşüm Havuz Tipi”, başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, düşüm havuzunun orta kısmına beşgen şeklindeki enerji kırıcı bloklar koyarak elde ettikleri tipi, mevcut düşüm havuzlarına karşı yeni bir tip olarak önermişlerdir.

Bradley ve Peterka [6], “Düşüm Havuzlarının Hidrolik Tasarımı”, başlıklı çalışmalarında Froude sayısının 4.5’den düşük olduğu değerlerde USBR IV. Tip düşüm havuzunun kullanılmasını önermişlerdir.

U.S. Dep. Of Interior [7], “ Küçük Barajların Tasarımı”, başlıklı çalışmalarında düşük Froude sayılarında düşüm havuzunun uzunluğunun hidrolik sıçrama uzunluğuna eşit yapılmasının yeterli yapılacağı belirtilmiştir.

DSİ [8], “ Aslantaş Barajı Derivasyon Tüneli Çıkış Yapıları Model Deneyleri Raporu”, başlıklı çalışmada derivasyon tüneli çıkışındaki akımın enerjisini kırmak için en uygun enerji kırıcıyı elde etmek amacıyla yapılan bir seri deneysel çalışma anlatılmıştır.

Yüksek hızlı akımın enerjisinin sönmülmesi için, suyu bir yere çarpma, türbülans oluşturma, hidrolik sıçrama, dağılma meydana getirme veya su ve hava arasında sürtünme sağlama ilkelerinden bir veya birkaçı kullanılabilir. Bu çalışmada da, suyu bir yere çarpma, hidrolik sıçrama oluşturma ve suyu suya çarptırma gibi yersel enerji kaybı gibi oluşumlardan yararlanarak enerji sönmülmesi sağlamaya çalışılmıştır. Bu amaçla daha önce kullanılan tiplerden farklı olarak, özellikle suyun suya çarptırımı ilkesine göre çalışan değişik tipler denenmiş ve en iyi sönmülemeyi gerçekleştiren tip elde edilmiştir.

2. ENERJİ KIRICI YAPILAR

Dolusavak üzerinden savaklanan su, deşarj kanalı sonuna ulaştığında büyük bir kinetik enerji ile oldukça fazla sürüklenme kuvvetine sahip olur. Aynı zamanda deşarj kanalındaki akım büyük oranda hava sürükler. Su, dolusavağın kabartıcı gövdesinin mansabına geçtikten sonra, deşarj kanalı sonuna ulaştığında sahip olduğu kinetik enerji uygun bir yapı ile sönmelenmediği takdirde yapı üzerinde kavitasyonlara, akarsu yatağında oyulmalara sebep olmaktadır. Rezervuardan savaklanan akışın bu yıkıcı etkilerini ortadan kaldırmak ve suyun enerjisini kırmak için inşa edilen yapılara enerji kırıcı yapılar denmektedir. Söz konusu yapılara bazı kaynaklarda düşüm yatakları, düşüm havuzları yada sakinleştirme havuzları da denmektedir.

Bir enerji kırıcı tesisin projelendirilmesi, topoğrafik faktörlerin yanı sıra, yapı üzerindeki akım şartları, bölgenin jeolojik özellikleri, ekonomik şartlar ve bunun gibi birçok faktöre bağlıdır. Bölgeden bölgeye de değişiklik gösteren bu faktörlerden dolayı bu yapıların projelendirilmesi oldukça kompleks hal almakta ve olayın matematiksel çözümü mümkün olmamaktadır. Bu yapıların projelendirilmesi konusunda birçok araştırmalar yapılmasına rağmen, henüz proje standartları tam olarak tamamlanmamış olup sürekli olarak gelişmektedir. Dolayısıyla enerji kırıcı bir tesisin kesin projesi yapılmadan önce, model çalışmaları ile en uygun yapı tipinin ve proje şartlarının belirlenmesi gerekir.

Deşarj kanalı sonunda, yüksek hıza sahip bir akışın enerjisini kırmak için; suyu bir yere çarpma, türbülans oluşturma, hidrolik sıçrama, dağıtma meydana getirme veya su ve hava arasında sürtünme sağlama şeklindeki ana ilkelerden biri veya bir kaçının bir arada kullanılmasıyla çok değişik tipte enerji kırıcı tesisler projelendirilebilir.

Büyük düşmelerde, özellikle yüksek barajların sularını akıtan dolu savaklarda çok büyük enerjilerin kırılması gerekir. Örneğin; Atatürk barajında, taşkın sırasında boşalan debinin gücü yaklaşık 27 milyon kilovattır. Bu değer de oldukça büyüktür. Bu tip yüksek düşümlerde suyun hızı 30 ile 40 m/sn' ye ulaşabilmektedir. Böyle büyük hızların oyma ve aşındırma gücü çok fazla olacaktır.

2.1. Enerji Kırıcı Yapıların Sınıflandırılmaları

Enerji kırıcı yapılar genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır [1], [6],[11].

- 1) Hidrolik sıçramalı enerji kırıcı havuzlar
 - 1.a) Yatay düşü yataklı havuzlar
 - 1.b) Meyilli düşü yataklı havuzlar
- 2) Serbest düşülü enerji kırıcı havuzlar
 - 2.a) Dikdörtgen havuz tipi
 - 2.b) Çarpma engelli tip
 - 2.c) Dişli ızgara tip
 - 2.d) Trapez havuz tipi
- 3) Jet difüzyonu ve jet etkileşimli enerji kırıcı havuzlar
 - 3.a) Jet difüzyon havuzu
 - 3.b) Serbest jet enerji kırıcı havuz
 - 3.c) Serbest jet kaydırma oluklu enerji kırıcı havuz
 - 3.d) Tümsek (Hump) tipi enerji kırıcı havuz
 - 3.e) Etkileşimli enerji kırıcı havuzlar
 - 3.f) Çarpıştırmalı serbest jetler
- 4) Yuvarlak uçlu (bucket) enerji kırıcılar
 - 4.a) Düz silindirik tip
 - 4.b) Dişli tip
- 5) Serbest jet fırlatmalı (ski-jump) enerji kırıcılar

2.2. Enerji Kırıcıların Tasarımına Etki Eden Faktörler

Enerji kırıcıların tasarımına:

- * Temel Zemininin yapısı
- * Taşkın büyüklüğü ve tekrerrü
- * Dolusavaktaki akış hızı
- * Sıçrama yüksekliği ile mansap su seviyesinin ilişkisi

gibi faktörler etki etmektedir [1], [11], [19].

Esasen en önemli faktör sıçrama yüksekliği ile mansap su seviyesinin ilişkisidir. Etkili bir enerji kırınımı için, tam bir hidrolik sıçramanın gerçekleşmesi gerekir. Bunun için de sıçrama yüksekliği ile mansap su seviyesinin denkleşmesi gerekmektedir. Bunu temin etmek için yapının hemen altında akarsuyun anahtar eğrisi çizilir ve bu eğriye mansap suyu anahtar eğrisi (h_1 eğrisi) denir. Ayrıca, akarsu tabanı esas alınarak hidrolik sıçrama yüksekliği eğrisi (h_2 eğrisi) çizilir. h_1 eğrisi sabit olduğundan sıçrama yerinde taban seviyesi değiştirilerek aynı koordinat ekseninde işaretlenen bu iki eğrinin birbiriyle uyuşması sağlanır [11], [19].

Mansap suyu eğrisi (h_1 eğrisi) ile hidrolik sıçrama yüksekliği eğrisi (h_2 eğrisi) birbiriyle aşağıdaki durumlarda bulunabilirler.

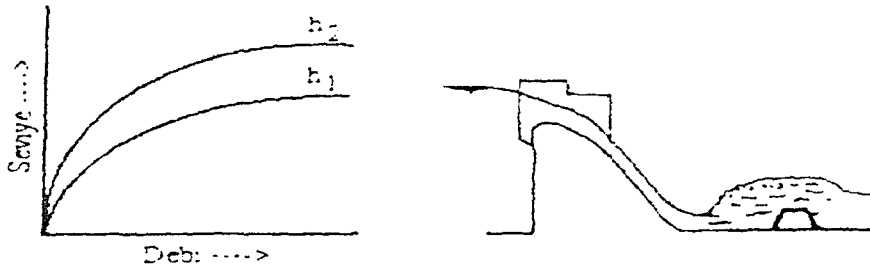
1. h_1 eğrisinin daima h_2 eğrisinin altında olması hali

Bu durumda, akarsuda ki akış derinliği yapının ucunda tam bir hidrolik sıçramanın oluşması için yetersizdir. Dolayısıyla; hidrolik sıçrama mansaba doğru kayar. Uygulamada genellikle bu durumla karşılaşılır.

h_1 eğrisi ile h_2 eğrisini çakışacak şekilde zemin kotları değiştirilir. Bu işlem;

- h_2 eğrisini h_1 eğrisiyle çakışacak şekilde mansap zemin kotunun düşürülmesi,
- Yatay düşü yatağı kotunun, zemin kotunun altına düşürülmesi,
- Zemin kotunun düşürülmesi fakat mansap sonuna doğru yükseltilmesi,

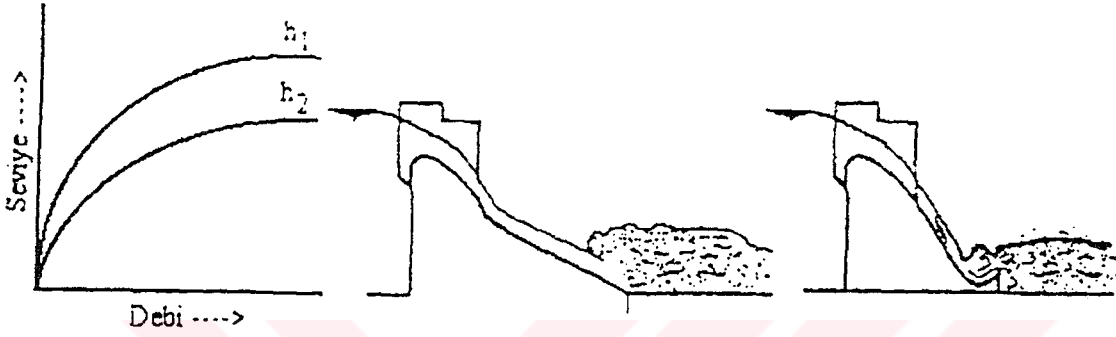
gibi üç farklı şekilde yapılabilir. Bu durumda, tavsiye edilen enerji kırıcı yapı tipi; nehir yatağına çarpma bloklu veya eşikli kırıcı havuz tipidir.



Şekil 2.1. Sıçrama yüksekliği (h_2) ile mansap suyu derinliği (h_1) karşılaştırılması ve tavsiye edilen enerji kırıcı yapı tipi

2. h_2 eğrisinin daima h_1 eğrisinin altında olması hali

Mansap su derinliğinin, sıçrama yüksekliğinden çok fazla olmasından dolayı bu durum meydana gelir. Bu olaya batmış hidrolik sıçrama, adı da verilir. Verimli enerji kırılması gerçekleşmemektedir. Bu durumda, su seviyelerinin denkleştirilmesi için düşü yatağının eğimli yapılması veya yuvarlak uçlu enerji kırıcıların kullanılması gerekir.

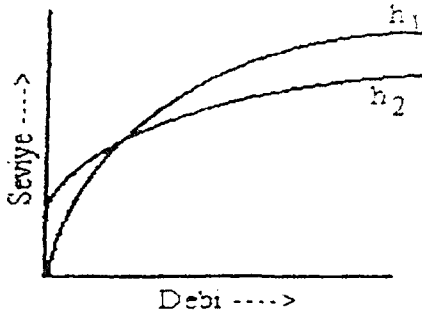


Şekil 2.2. Sıçrama yüksekliği (h_2) ve mansap suyu derinliği (h_1) karşılaştırılması ve tavsiye edilen enerji kırıcı yapı tipleri.

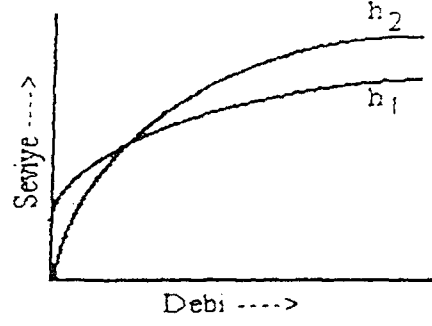
3. Düşük deşarjlarda h_2 eğrisinin h_1 eğrisinin üstünde, büyük deşarjlarda ise altında olması hali

Düşük deşarjlarda da mansap su seviyesi tam bir hidrolik sıçramanın oluşması için yetersiz olduğundan, sıçrama mansaba doğur kayacaktır. Büyük deşarjlarda ise mansap su seviyesi sıçrama yüksekliğinden fazla olduğu için, batmış hidrolik sıçrama gerçekleşir.

Bu durumda, serbest jet fırlatmalı enerji kırıcı yapı tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni, yapının düşük deşarjlarda serbest jet fırlatmalı (ski-jump) olarak çalışması, büyük deşarjlarda ise yuvarlak uçlu (bucket) enerji kırıcı tip olarak çalışmasıdır.



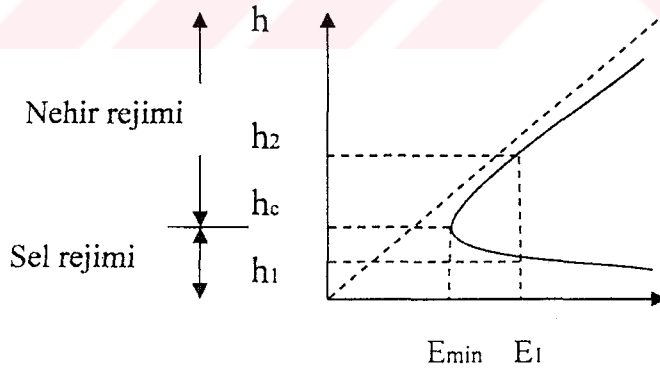
Şekil 2.3. Büyük deşarjlarda h_2 eğrisinin h_1 eğrisinin altında olması durumu



Şekil 2.4. Düşük deşarjlarda h_2 eğrisinin h_1 eğrisinin üstünde olması

2.3. Hidrolik Sıçrama

Hidrolik prensiplerinden faydalanarak enerji kırılmasının en iyi yolu hidrolik sıçramadır. Bu olayı bir düzene sokan ve belirli bir yapı içinde oluşmasını sağlayan sistem düşü havuzlarıdır. Düşü havuzu boyutlarını en iyi şekilde tayin edebilmek için hidrolik sıçramanın ayrıntılı olarak bilinmesi gerekir. Bir kanalda debi sabit tutulduğu takdirde enerji yüksekliği su derinliğine bağlı bir fonksiyon olur. $E=f(h)$ fonksiyonunun değişimi **Şekil 2.5'** de verilmiştir.



Şekil 2.5. Özgül enerji-derinlik arasındaki değişim

Özelliksel enerjinin sabit bir değerine karşılık iki tane h değeri vardır. **Şekil.2.5** den de görüldüğü gibi, derinliği kritik derinlikten büyük olduğu akım rejimine nehir rejimi, derinliği kritik derinlikten küçük olduğu akım rejimine sel rejimi denir.

Kritik derinliğin bir tarafındaki akım nehir rejiminde ise diğer tarafındaki akım sel rejiminde olmak zorundadır. Kritik derinliğin iki tarafındaki akımın birbirinden farklı olması zorunludur. Nehir rejiminden sel rejimine geçiş sürekli olduğu halde, sel rejiminden nehir rejimine geçiş süreksizdir.

Hidrolik sıçrama, akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişinde meydana gelen su seviyesindeki ani yükselme olarak tanımlanır.

Sel rejiminde $h_1 < h_c$, $Fr_1 > 1$

Nehir rejiminde $h_2 > h_c$, $Fr_1 < 1$

Froude sayısı

$$Fr_1 = V_1 / (g \cdot h_1)^{1/2} \quad (1)$$

$$h_c = (q^2 / g)^{1/3} \quad \text{Dikdörtgen kesitli kanallarda kritik derinlik} \quad (2)$$

Burada;

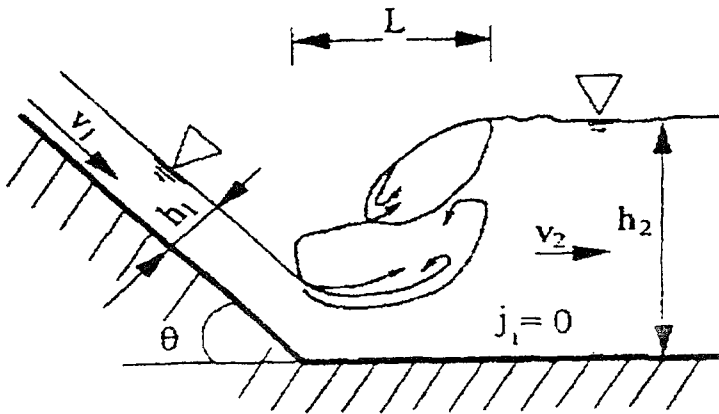
g : Yer çekim ivmesi (m/sn^2)

h_1 : Akışın derinliği (m)

V_1 : Akışın hızı (m/sn)

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

Sonsuz genişlikteki, eğimli bir kanalda yer alan akım incelendiğinde (Şekil.2.6)



Şekil 2.6. Sıçramanın Şeması (Dolu savaklardan sonraki akım)

Akım derinliği h_1 , kanalın taban eğimi J_t , bu eğime tekabül eden açı θ olsun. V_1 hızıyla hareket eden akım $J_t = 0$ eğimli bir kanal devam ediyorsa, su birden bire derinliğini artırır ve bunun sonucunda enerjisini büyük ölçüde kaybederek daha yavaş bir akıma geçer. V_1 hızı arttıkça sıçrama mansap yönünde yer değiştirir. Hızın değeri azaldıkça sıçrama memba kanalına yaklaşır ve kanal taban eğiminin değiştiği kesite kadar gelir. Bu türden basit bir sıçramada V_1 hızı biliniyorsa h_1 ve h_2 derinlikleri arasındaki orantı,

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right) \text{ denklemi ile verilmektedir.} \quad (3)$$

h_1 : Sıçrama öncesi su derinliği (m)

h_2 : Sıçramadan sonraki su derinliği (m)

Teorik olarak sıçramanın uzunluğu hesaplamak imkansızdır. Laboratuarda ve doğada sıçramanın uzunluğunu ölçme güçlüğünden dolayı konu bugüne kadar karanlıkta kalmıştır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda, hidrolik sıçrama uzunluğu amprik formüllerle hesaplanabilmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır; [2]

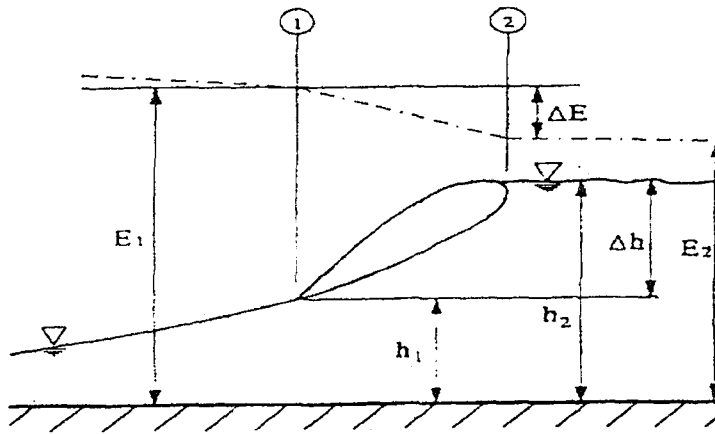
$$\text{Sofranetz (1927).....} = 5.2 h_2 \quad (4)$$

$$\text{Bakmeeff-Matzke (1993).....} = 5 (h_2 - h_1) \quad (5)$$

$$\text{Page (1935).....} = 5.6 h_2 \quad (6)$$

Sıçramada kaybedilen güç veya kırılan enerji kg.m/sn olarak;

$N = \gamma \cdot Q \cdot \Delta E$ ile verilmektedir.



Şekil 2.7. Sıçramada yer alan yük kaybı

Hidrolik sıçrama randımanı,

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{(8F_1^2 + 1)^{3/2} - 4F_1^2 + 1}{8F_1^2(2 + F_1^2)} \quad (7)$$

ile verilmektedir.

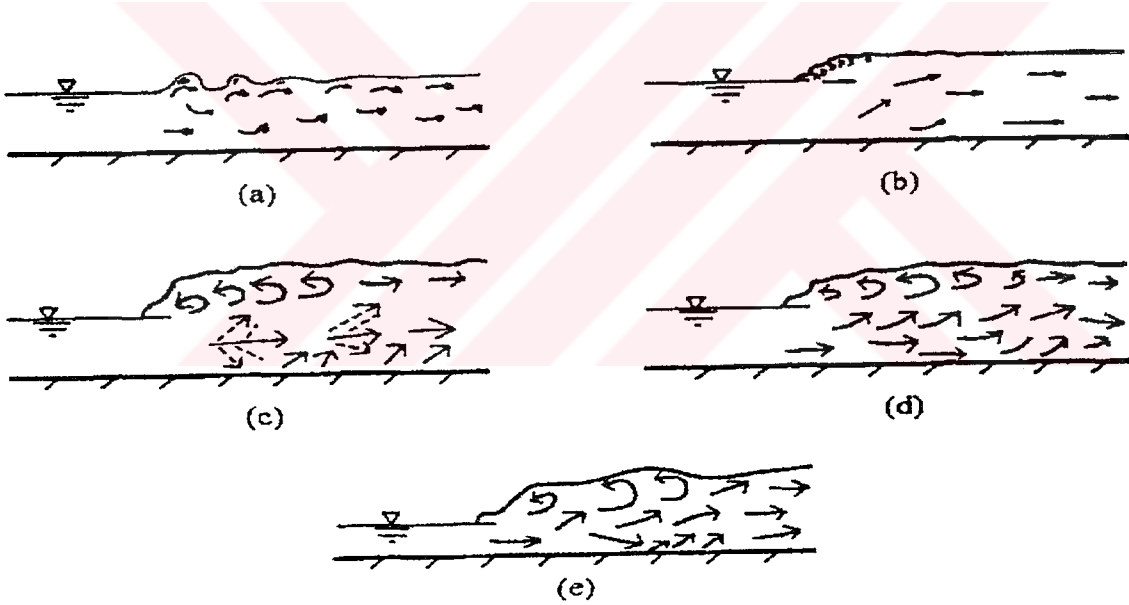
$$\frac{(\Delta h)}{E_1} = \frac{h_2}{E_1} - \frac{h_1}{E_1} \quad (8)$$

$$\frac{(\Delta \Delta h)}{E_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 3}{F_1^2 + 2} \quad (9)$$

şeklindeki boyutsuz sayı sıçrama yüksekliğinin sıçramaya giriş enerjisine oranıdır.

2.3.1. Hidrolik Sıçrama Şekilleri

Sıçrama, Froude sayısına (F_{r1}) göre tarif edilmiştir.



Şekil 2.8. Değişik sıçrama şekilleri

$F_{r1} = 1$ ise akım kritik rejimindedir ve sıçrama olmaz.

Şekil.2.8.a'daki sıçramada $1 < F_{r1} < 1,7$ 'dir. Bu tip sıçramaya sıçrama öncesi hal ismi verilir. Hafif sallantılar vardır ve basit havuzlar ile kontrol altına alınabilen dalgalı sıçramalardır.

Şekil.2.8.b'deki sıçrama da $1,7 < F_{r1} < 2,5$ 'dir. Bu tip sıçrama zayıf hidrolik sıçrama halidir ve enerji kaybı az olur. Bu tip sıçrama da sıçrama havuzu özellik göstermez.

Şekil.2.8.c'deki sıçramada $2,5 < F_{r1} < 4,5$ 'dir. Mühendislik alanına giren ilk sıçramadır. Bazı hallerde bir çeşit rezonans (kararsızlık) doğurduğundan tehlikeli olabilir. Enerji kaybı orta derecededir. Mühendislik yapılarıyla kontrol altına alınabilir.

Şekil.2.8.d'deki sıçrama da $4,5 < F_{r1} < 9,0$ 'dır. $\Delta E \approx 0,45 \sim 0,70$ dir. Barajların düşü havuzlarında rastlanan kuvvetli sıçramanın şartıdır. Mühendislik yapılarıyla kontrol altına alınabilir. Yeni değişmeyen kararlı (dengeli) sıçramadır.

Şekil.2.8.e'deki sıçramada $F_{r1} > 9,0$ dir ve çok kuvvetli sıçramanın şartıdır. Dikkatle incelenmesi gereken sıçramadır. Bu takdirde sıçratma uçlarıyla problemler çözümlenebilir.

2.4. Hidrolik Sıçrama Havuzları

Hidrolik sıçrama için duvarların düşey veya düşeye yakın olması gereklidir. Dolayısıyla yamuk kesitli hidrolik sıçrama havuzları iyi sonuç vermezler.

Hidrolik sıçrama havuzları, bütün düşülerde en yaygın olarak kullanılır. Amaç suyun hızını azaltarak enerjinin kırılmasıdır. Havuz uzunluğu doğrudan doğruya model deneyleri yapılarak veya yapılmış deneylerden elde edilen sonuçlardan faydalanılarak hesaplanır. Havuz derinliği teorik hesaplar ile kesin olarak bulunabilmektedir.

Hidrolik sıçramalı havuz tipi enerji kırıcılar, alüvyonlu ve/veya zayıf kaya yapısına sahip aşağıdaki dolusavaklar için daha kullanışlı olmaktadır. Bunlar da kendi aralarında iki grupta incelenebilir.

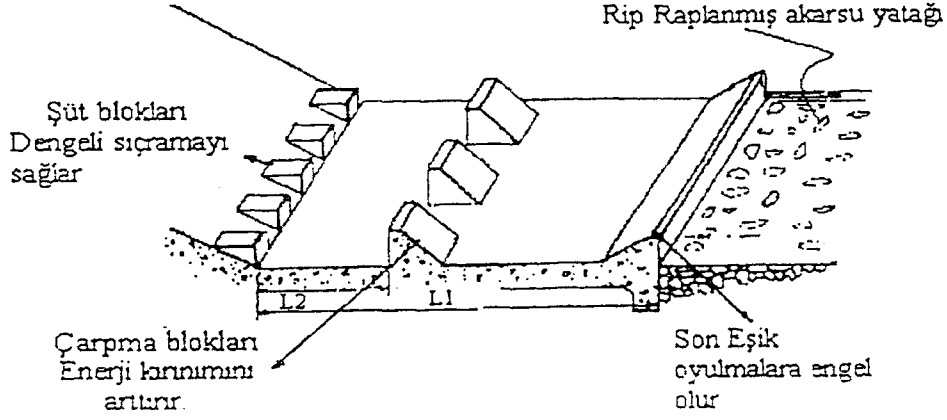
2.4.1. Yatay düşü yataklı havuzlar

h_1 ve h_2 derinliği birbirine eşit olduğunda normal zemin seviyelerinde hidrolik sıçrama için gerekli derinlik temin edilmektedir. Bu durumda yatay düşü yataklı hidrolik sıçrama havuzları kullanılmaktadır [1], [4], [6], [11], [19], [20].

Hidrolik sıçrama havuzları genel olarak, şut blokları, çarpma (baffle piers) blokları ve mansap eşiğinden ibaret olarak Şekil 2.9'deki gibi projelendirilmektedir.

Çarpma blokları ve mansap eşiklerinin değişik şekilleri bazı araştırmacılar tarafından projelendirilmiştir.

Şekil.2.9’de yatay düşü havuzlu enerji kırıcı havuzu, elemanları ile birlikte en genel şekilde verilmektedir.



Şekil 2.9. Hidrolik sıçrama havuzu genel görünüşü

2.4.1.1. Şut blokları (Chute Blocks)

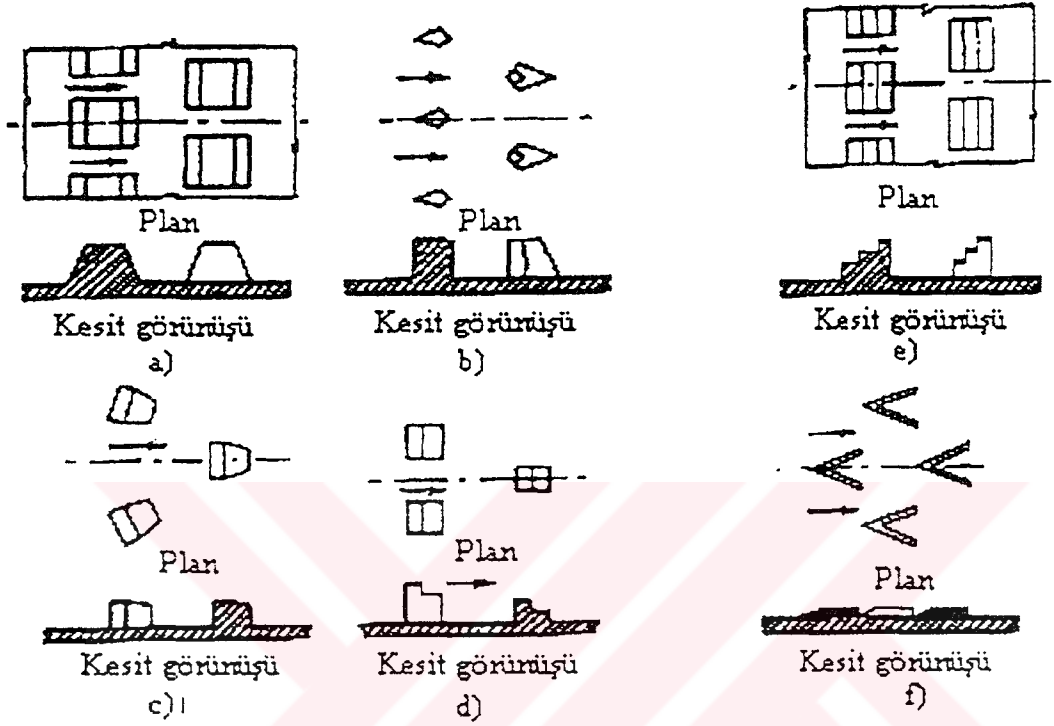
Akışın enerjisinin kırılmasında istenilen, türbülansın meydana gelmesine yardımcı olmak, akışı belirli bir sayıda su jetine bölmek, havuza giriş akışının etkili yüksekliğinin artırılmasını sağlamak için havuz girişine yerleştirilen yapılardır. Bu blokların havuzun merkez çizgisine simetrik ve akış yönüne paralel olacak şekilde projelendirilmesi gerekir [6], [11].

2.4.1.2. Çarpma blokları (Baffle Piers)

Çarpma blokları mansap su derinliğinin azalmasını, havuz boyunun kısılmasını ve havuzdaki türbülansın artmasını tam olarak sağlayan yapılardır [4], [11].

Bu bloklar, yüksek hıza sahip akışın enerjisini kırmaya yardımcı olmak, türbülansı artırmak ve sıçramanın oluşumunu dengelemek için enerji kırıcı havuzun yaklaşık orta kesimlerine şut blokları ile çapraz olacak şekilde havuza yerleştirilirler. Ancak, araştırmacılar çok yüksek giriş hızına sahip havuzlarda bu blokların yerleştirilmesini tavsiye etmemektedirler. Çok değişik tipte çarpma blokları

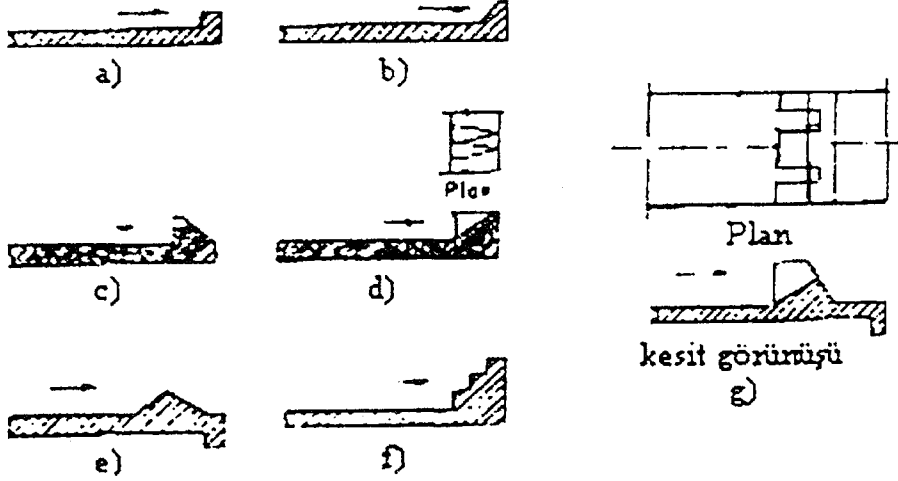
geliştirilmiş olmasına rağmen, üç köşeli (Şekil.2.10.e) çarpma bloklarının iki sıra halinde ve çaprazlama şekilde yerleştirilmesinin oldukça verimli olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmektedir [11].



Şekil 2.10. Geliştirilen başlıca çarpma blokları

2.4.1.3. Mansap eşiği

Enerji kırıcı havuzun sonuna düz, basamaklı, meyilli veya dişli olarak; nehir yatağındaki akışı yukarı doğru yönlendirmek ve akarsu yatağında oyulmalara ve katı madde taşınmasına sebep olan ters akıntıları önlemek amacıyla inşaa edilen yapılardır. Laboratuar deneyleri eşiğin, havuzun verimini büyük ölçüde artırdığı ve akışı nehir tabanından başka tarafa çevirerek mansap su derinliğini azaltmaya yardımcı olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar Şekil.2.11.g’de gösterilen Rehback dişli eşiğinin en verimli eşik olduğunu belirtmektedirler. Başlıca mansap eşik tipleri Şekil 2.11.’de gösterildiği gibidir [4], [11], [20].



Şekil 2.11. Mansap eşik tipleri

2.4.1.4. Enerji kırıcı havuzların froude sayısına göre projelendirilmesi

Enerji kırıcı havuzlar, havuza giriş akımının froude sayısına göre projelendirilirler.

$$Fr_1 = V_1 / (g \cdot h_1)^{1/2} \quad (10)$$

$Fr_1 < 1,7$ ise;

Havuzla gerek yoktur.

$1,7 < Fr_1 < 2,5$ ise;

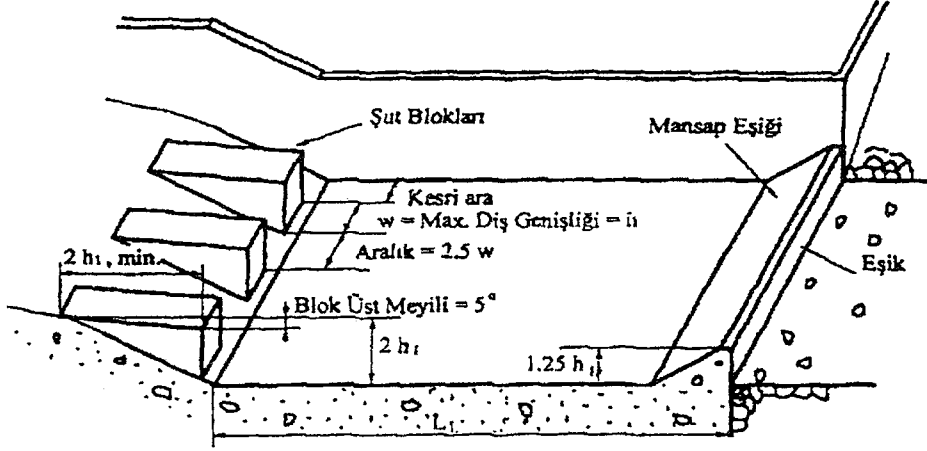
Akım sıçrama öncesi hal şeklindedir. Türbülansın etkisi çok azdır. Sadece kanal kaplaması yeterli olmaktadır [20].

$2,5 < Fr_1 < 4,5$ ise;

Bu durumda, tam manasıyla bir hidrolik sıçrama oluşmamaktadır. Dalgalar, havuz sonunun ötesinde de etkisini gösterdiğinden havuzun dışında farklı yapılarla enerjinin kırılması gerekir. Ancak, salınan akımın meydana getirdiği dalga hareketi

tamamıyla sönümlenemez. Bu nedenle havuzlar, Froude sayısının daha büyük değerlerine nispeten daha az verimlidir.

Şekil 2.12.'de görülen U.S.B.R. I. Tip havuzun Froude sayısının bu değerleri için uygun bir çözümdür.



Şekil 2.12. U.S.B.R. I. Tip düşüm havuzu

Enerji kırıcı havuzların etkin bir şekilde çalışabilmesi için girişteki Froude sayısının 4.5 ile 15 arasında olması gerekir. Froude sayısının belirtilen sınıfları dışında; özel çalışma ve model tecrübeleri gerekir.

$$1.7 < Fr_1 < 17 \text{ ise;}$$

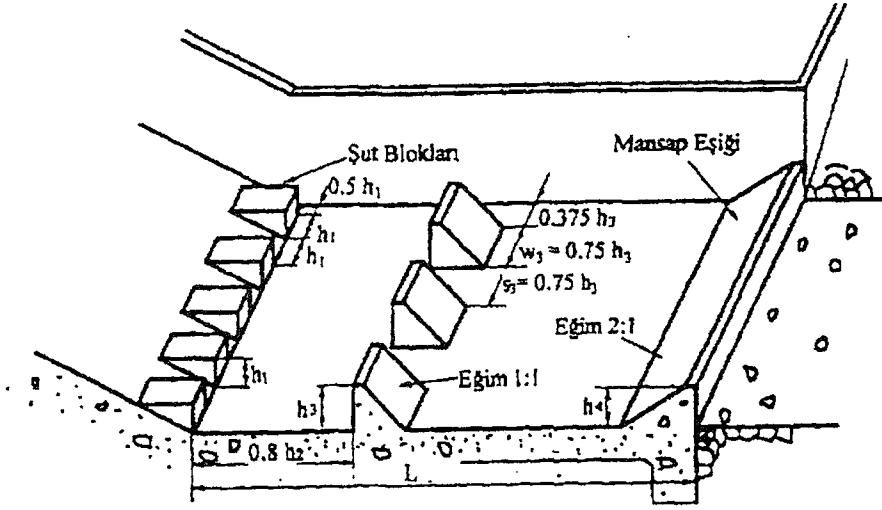
Bu şartlarda, Minosata Üniversitesi Saint Antony Falls hidrolik laboratuvarlarında geliştirilen SAF enerji kırıcı havuz tavsiye edilmektedir. Froude sayısının çok fazla değişken olduğu durumlar için projelendirilmekte olup, Froude sayısına bağlı olarak havuz boyutları değişmektedir.

$$Fr_1 > 4.5 \text{ ise;}$$

Bu durumda havuzda tam bir hidrolik sıçrama oluşmaktadır. SAF enerji kırıcı havuz veya U.S.B.R. Tip enerji kırıcı havuz kullanılabilir.

Eğer; havuza giriş hızı 15 m/sn'den küçük ise, Şekil 2.13.'de gösterilen USBR Tip II enerji kırıcı havuz önerilir. Bu tip havuz, sıçrama boyunu kısaltmak için, şut ve

çarpma blokları ile mansap eşiğine sahiptir. Enerjinin kırılması çarpma blokları ve hidrolik sıçramayla oluşan türbülansın tesirliliğine bağlıdır.



Şekil 2.13. U.S.B.R. II. Tip düşüm havuzu

Tablo 2.1. U.S.B.R. II. Tip Enerji kırıcı havuz uzunluğu

Froude Sayısı Fr_1	5	6	8	10	12	14	16
L/h_2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8

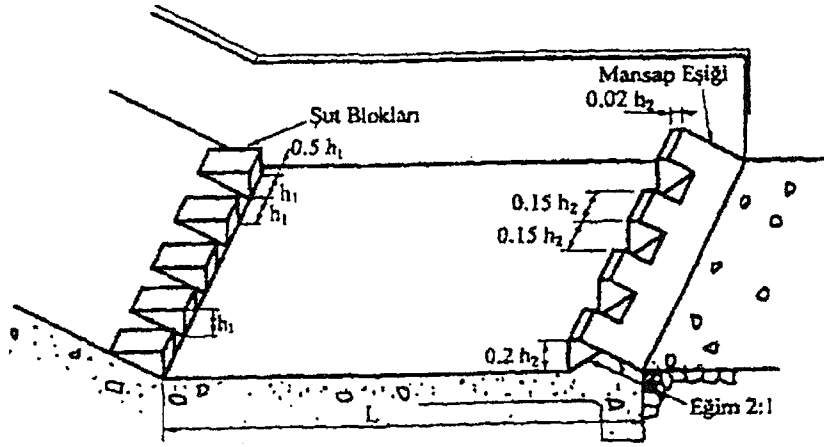
Tablo 2.2. Çarpma blokların boyutları

Froude Sayısı Fr_1	5	6	8	10	12	14	16
h_3/h_1	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3

Tablo 2.3. Mansap eşiği boyutları

Froude Sayısı Fr_1	5	6	8	10	12	14	16
h_4/h_1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

Eğer, havuza giriş hızı 15m/sn'den büyük ise; akış çok yüksek hıza sahip olduğundan, çarpma bloklarının yerleştirilmesi uygun görülmektedir. Bu nedenle, Şekil 2.14.'deki U.S.B.R Tip III enerji kırıcı havuz tavsiye edilmektedir.

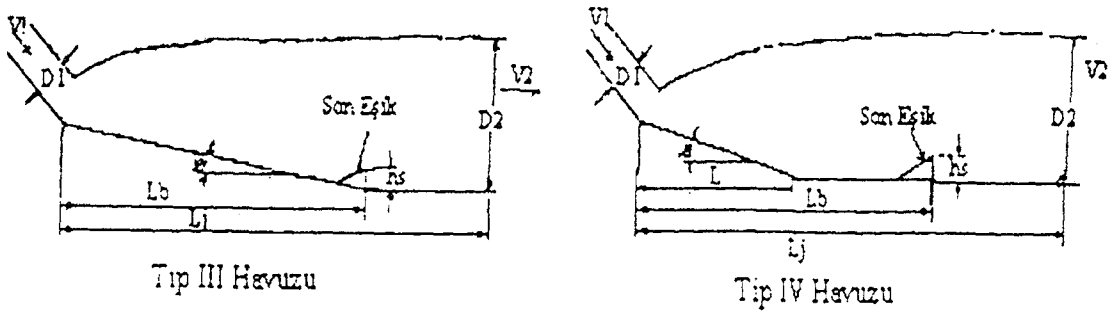


Şekil 2.14. U.S.B.R. III. Tip Düşüm Havuzu

2.4.2. Eğimli düşüm yataklı havuzlar

Bu tip enerji kırıcı havuzlar, h_2 sıçrama yüksekliği eğrisinin h_1 mansap suyu anahtar eğrisinden sürekli küçük olduğu durumlarda kullanılır. Çünkü, bu durumda, nehir yatağında zararlı olan batık hidrolik sıçrama gerçekleşir. Jet, akarsu yatağı üzerinde güçlü bir dip akıntısı olarak akacaktır. Bu da akarsu yatağının erozyona uğramasına sebep olur. bu durumu önlemek için, eğimli düşü yatağı kullanılması önerilmektedir [1], [20].

$h_1 > h_2$ olduğu durumlarda tip III havuzu, maksimum deşarjlarda yani $h_1 \gg h_2$ olduğu veya minimum deşarjlarda yani $h_1 \geq h_2$ olduğunda ise tip IV enerji kırıcı havuz tavsiye edilmektedir. Bu havuz tipleri Şekil 2.15.'de görülmektedir.



Şekil 2.15. Eğimli Düşü Yataklı Hidrolik Sıçrama Havuzları

Tip III Enerji Kırıcı Havuz Projelendirilirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

1) $\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right)$ denkleminde mansap su derinliği bulunur.

2) Froude sayısının büyük değerleri için sıçrama uzunluğu bulunur ve düşü yatağının kesin eğimi h_1 ve h_2 eğrileri çakışacak şekilde belirlenir. Ayrıca sıçrama uzunluğu aşağıdaki formülle de hesap edilebilir.

$$L = h_1 \cdot \left\{ \left[\frac{(8F_{r1}^2 \cdot \cos^3 \theta)}{(1 - 2 \tan \theta k + 1)} \right]^{1/2} - 1 \right\} / 2 \cos \theta \quad (11)$$

Burada;

- L : Sıçramanın uzunluğu
h₁ : Sıçramadan önceki su derinliği
Fr₁ : Sıçramadan önceki akışın Froude sayısı
θ : Düşü yatağının eğimi

Tablo 2.4. Farklı eğimler için k katsayısının değeri

tanθ	k
0.04	3.3
0.08	2.7
0.16	2.0
0.24	1.6
0.32	1.3

3) Düşü yatağının eğimi küçük deşarjlar için test edilmelidir.

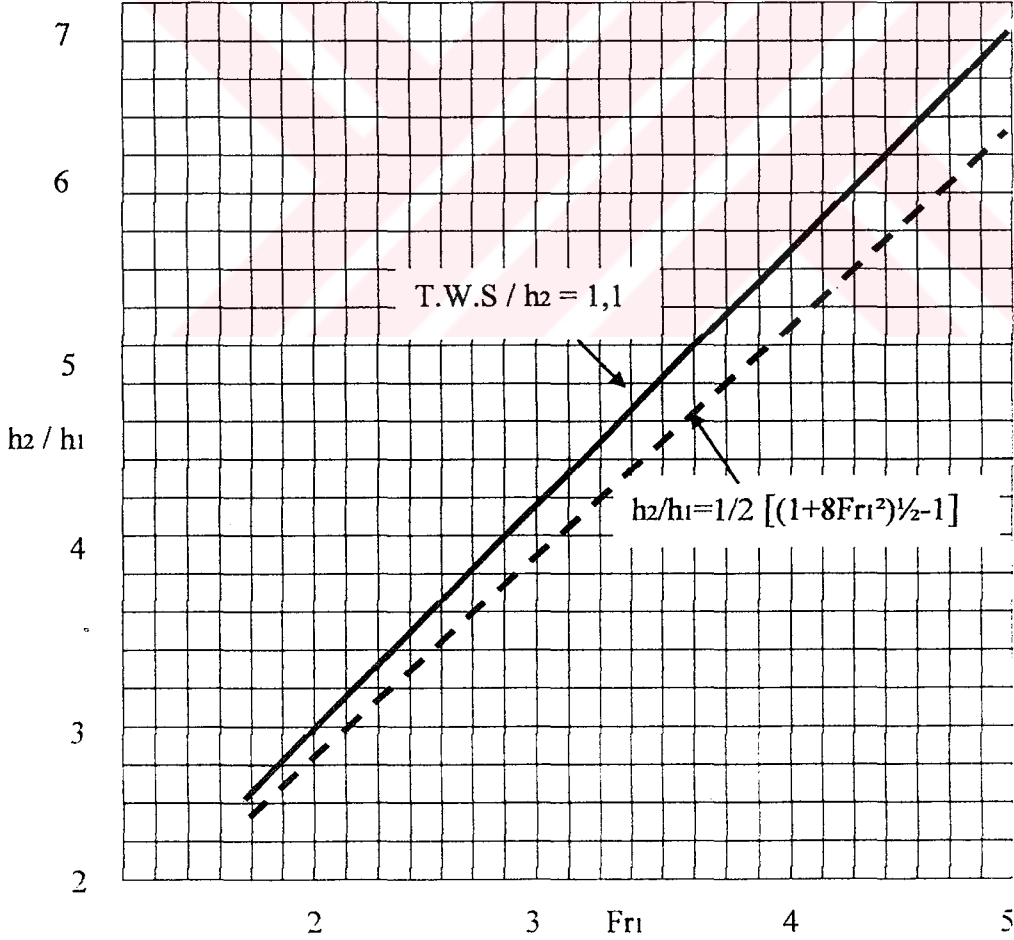
4) Havuz 0.05 ~ 0.02 h₂ yüksekliğinde, yekpare veya dişli bir eşikle sonlandırılabilir. Bu eşğin memba yüzey eğimi 2/1 ile 3/1 arasında olması tavsiye edilmektedir.

Tip IV. Enerji kırıcı havuz projelendirilirken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- 1) Mansap su derinliği için en yetersiz olan deşarjlar belirlenir.
 - 2) Belirlenenden daha büyük deşarjlar bekleniyorsa, düşü yatağı uzunluğu ve seviyesi artırılır. (Tip I ve Tip II nolu havuzlar gibi)
 - 3) Mansap su derinliği belirlenir.
 - 4) Belirlenen derinlik için uygun eğim belirlenir.
 - 5) Havuz 0.05 ile 0.02 h_2 yüksekliğinde yekpare veya dişli bir eşikle tamamlanır.
- Bu eşğin memba yüzey eğimi 2/1 ile 3/1 arasında değişir.

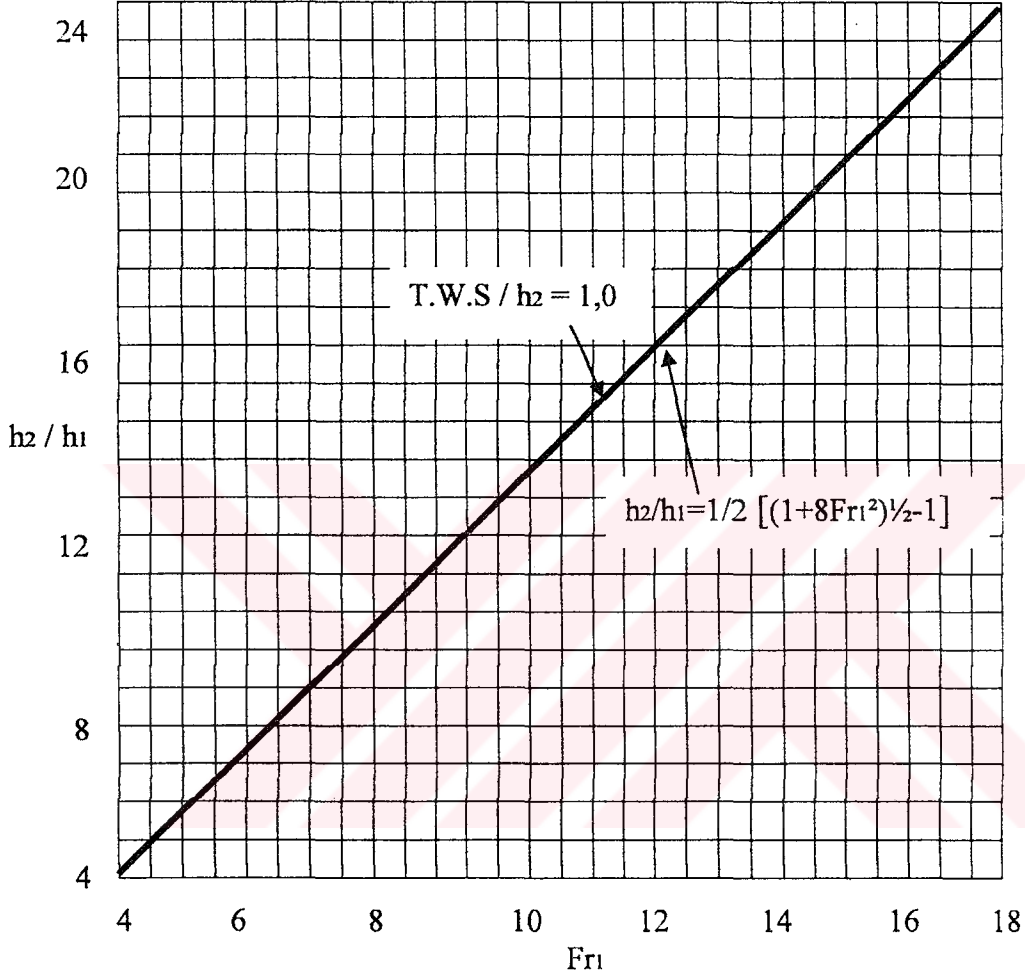
2.5. Havuzun mansap suyu derinliği

Havuzda hidrolik sıçrama oluşarak enerji kırılması için, havuz mansabında yeterli bir su derinliğine (kuyruksuyu) ihtiyaç vardır. Sıçramanın memba şartları bilinmektedir. Dolayısıyla h_2 mansap derinliği bulunabilir.



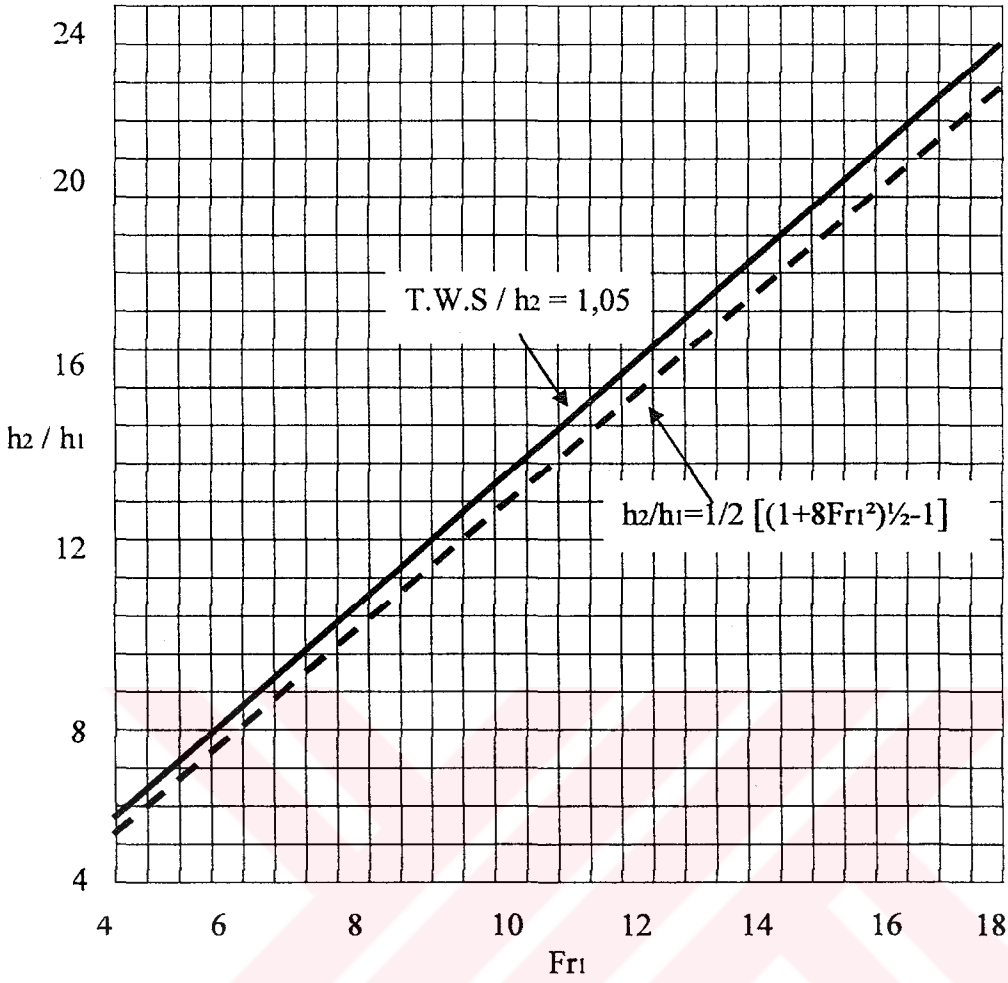
2.16. U.S.B.R. I. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği

Şekil.2.16’de gösterilen U.S.B.R. I. Tip havuzdaki mansap su derinliği, hesaplanan eşlenik sıçrama derinliğinden % 10 fazla olmalıdır. Böylece sıçramanın havuz sınırları içinde olması ve dalga hareketinin kısmen sönümlenmesi sağlanmış olur.



Şekil 2.17. U.S.B.R. II. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği

Şekil 2.17’de gösterilen U.S.B.R II. Tip havuzdaki mansap su derinliği, hesaplanan eşlenik sıçrama derinliği ile aynı olmalıdır.



Şekil 2.18. U.S.B.R. III. Tip düşüm havuzunun minimum mansap su derinliği

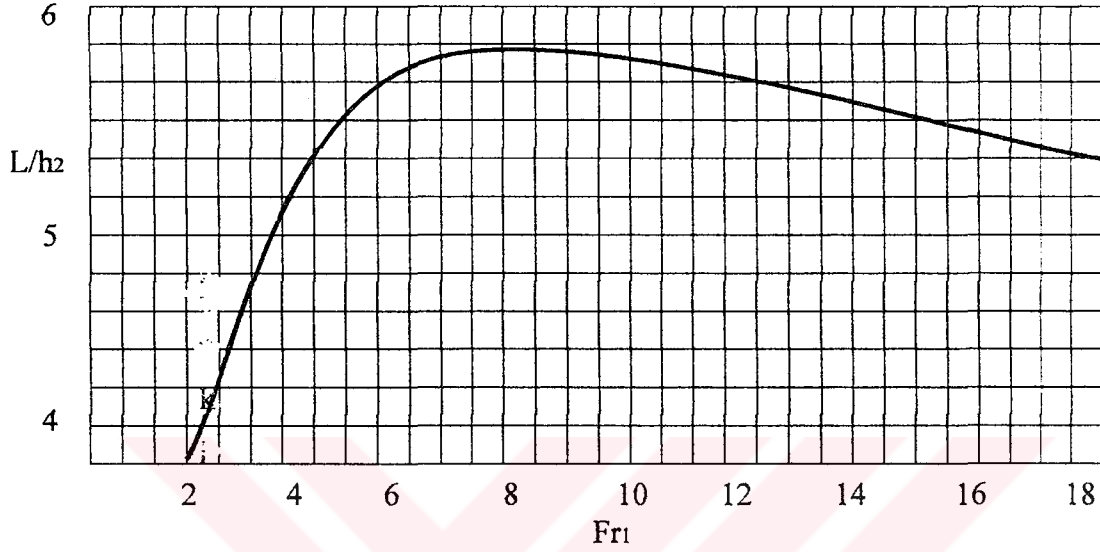
Şekil.2.18’de gösterilen U.S.B.R. I. Tip havuzdaki mansap su derinliği, hesaplanan eşlenik sıçrama derinliğinden % 5 fazla olmalıdır.

Yapımın çalıştığı ve h_y ile gösterilecek olan mansap suyu derinliği (h_y/h_2) ≤ 1.2 ise nispeten pahalı bir çözüme gidilmiş olur.

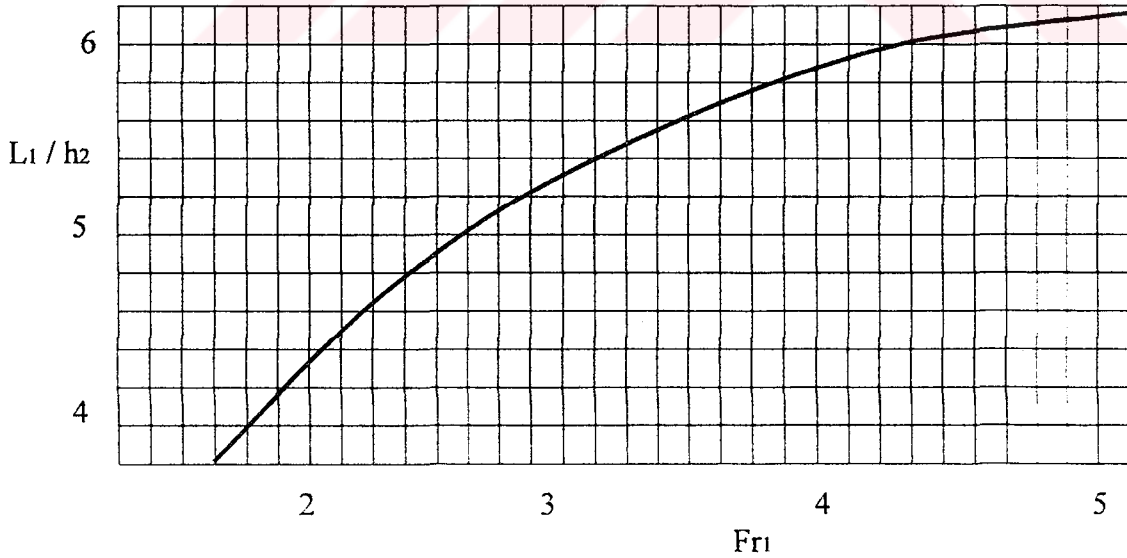
Amerikan literatürü $h_y = 1.05 h_2$ alınmasının en doğru çözümü vereceğinden bahsetmektedir. h_y derinlik değeri hesaplanırken yapılacak hataların düzeltilmesi mümkün değildir. Hatta, havuza eklenecek yan unsurlar yardımı ile dahi bu hata giderilememektedir.

2.6. Enerji Kırıcı Havuzun Uzunluğu

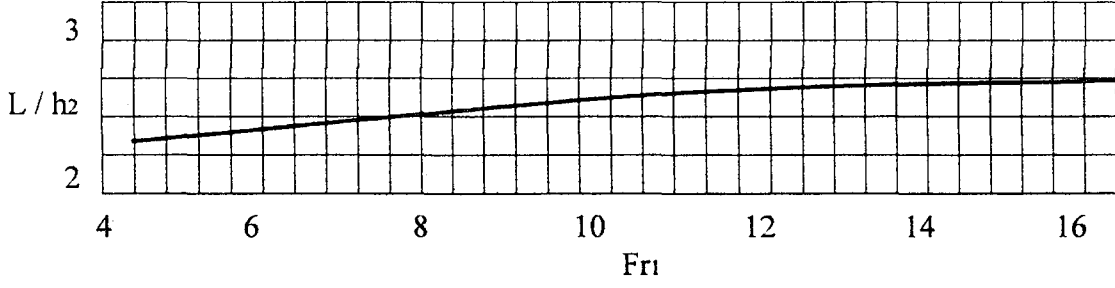
Havuzun uzunluğu gerek inşa edilmiş havuzların çalışmaları gereksi model deneyleri yardımıyla belirlenmiştir. Şekil.2.20., Şekil.2.21., Şekil.2.22.'de hesaplanan uzunlukların hidrolik sıçramanın doğal uzunluğundan (Şekil.2.19.) kısa olduğu görülür.



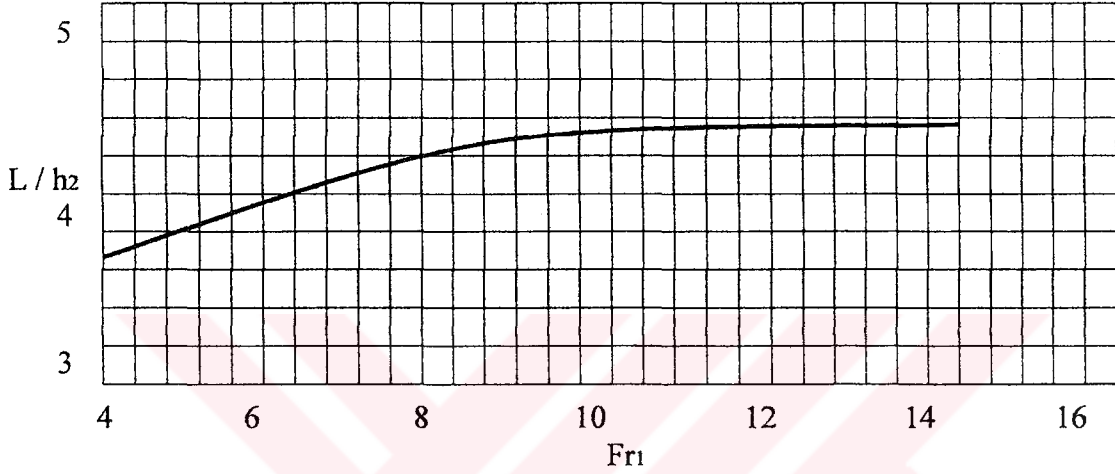
Şekil 2.19. Doğal haldeki hidrolik sıçrama uzunluğu



Şekil 2.20. U.S.B.R. I. Tip düşüm havuzunun hidrolik sıçrama uzunluğu



Şekil 2.21. U.S.B.R. II. Tip düşüm havuzunun hidrolik sıçrama uzunluğu

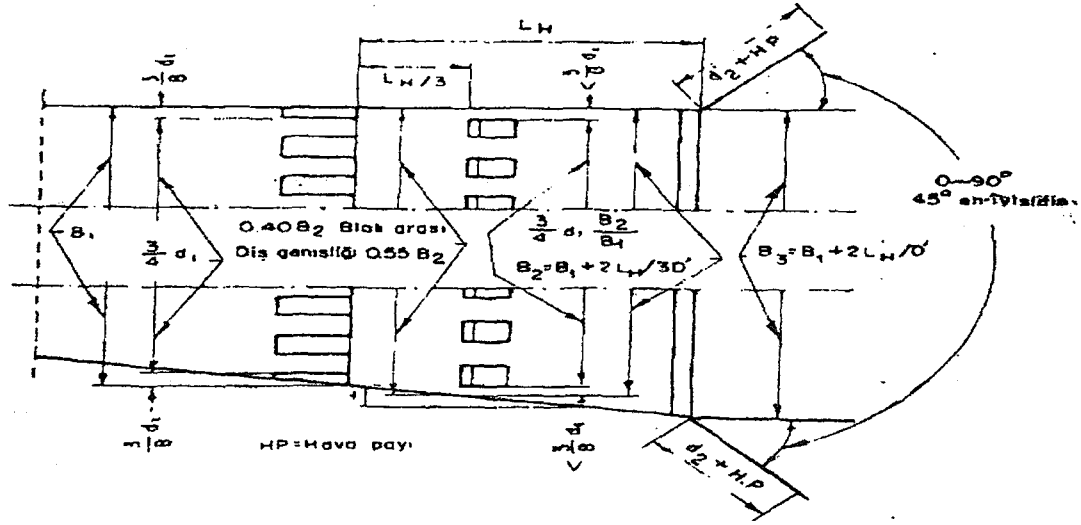


Şekil 2.22. U.S.B.R.III. Tip düşüm havuzunun hidrolik sıçrama uzunluğu

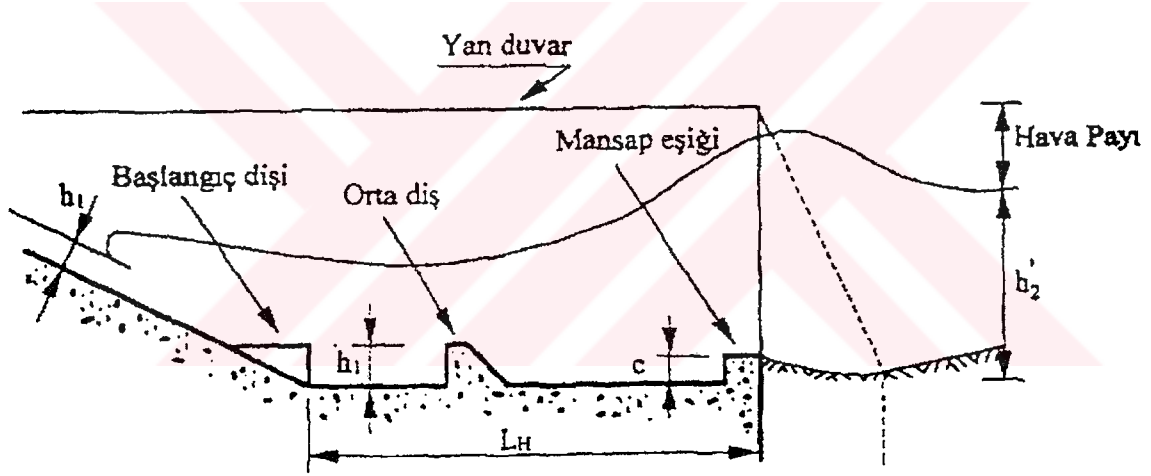
Enerji kırılması hidrolik sıçrama ile temin edildiğinden III. tip havuz uzunluğu, II. tip havuz uzunluğundan büyük olacaktır. Bununla birlikte şut blokları ve dişli mansap eşiğinin bulunması durumunda havuz boyu, şut blokları ve dişli mansap eşiği olmadığı zaman gerekli havuz boyuna nazaran, oldukça kısılacaktır. Bu takdirde sıçramanın havuz dışında meydana gelmesi ihtimalini azaltmak için havuzdaki su derinliği, hesaplanan eşlenik sıçramadan % 5 kadar büyük olmalıdır.

2.7. SAF (St. Antony Falls) Tipi Düşü Havuzu

Bu tip havuzlar $1,7 < Fr_1 < 17$ olduğu aralıkta denenmiştir. Froude sayısının 17'den daha büyük olduğu değerler içinde kullanılmıştır. Enerji kırıcı dişler havuzun başında, ortasında ve çıkışında bulunur. Bu düzenek, kuyruk suyu derinliğini azaltmak için düşünülmüştür. Şekil.2.23.'de düşü havuzunun planı ve Şekil.2.24.'de düşü havuzunun profili gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Trapez kesitli havuzun yarı planı



Şekil 2.24. SAF (St. Antony Falls) Tipi düşüm havuzu profili

Bu tip havuzun projesi hazırlanırken aşağıdaki hususların göz önünde bulundurulması gerekir.

- 1- $Fr_1 > 3$ için, havuzun uzunluğu,

$$L = 4,50 h_2 / Fr_1 0,38$$
- 2- Havuz girişi ve havuz ortası dişlerinin yüksekliği h_1 'e eşittir. Aralarındaki açıklıklar yaklaşık olarak $3/4 h_1$ olarak alınabilir. Dişlerin şaşırtmacaları koşulu yoktur.
- 3- Havuz ortası dişleri projelendirmek için:

- * Dişlerin havuz girişine uzaklıkları $L_H/3$,
- * Dişlerin havuz yan duvarlarından olan açıklığı min $3/8 h_I$,
- * Dişlerin havuz genişliğinin % 40~50'sini kaplaması gerekir.

* Havuz trapez şekilleri ise, yani mansaba doğru genişliyor ise o zaman yukarıda verilen boyutlar orantılı olarak artırılmalıdır.

* Dişler dikdörtgen kesitli olabileceği gibi memba mansap yönünde kesilmiş de olabilir.

4- Mansap dişi yüksekliği;

$C = 0,070 h_2$ dir.

5- Düşü havuzunun mansabında su derinliği en az

$h_2' = 1,40 F_{r1}^{0,45} h_1$ olmalıdır.

6- Hava payı $1/3 h_2'$ dir.

7- Kanat duvarları, havuz bitiminden başlamalı, $1/1$ 'lik şevle tabii zemine saplamalı ve akım doğrultusu ile 45° lik bir açı yapmalıdır.

2.8. Serbest Düşümlü Enerji Kırıcılar

Su, keskin kenarlı bir savaktan açık havaya serbest olarak dökülmektedir. Enerji, tabanda bir enerji kırıcı tesis yardımıyla yok edilir. Bu tip enerji kırıcıları dört grupta toplayabiliriz [6], [11], [19].

Bunlar;

- * Dikdörtgen havuz tipi
- * Çarpma engelli havuz tipi
- * Dişli ızgara tipi
- * Trapez havuz tipi

2.8.1. Dikdörtgen havuz tipi

Bu tip, hidrolik sıçrama havuzlarına benzemekte olup, yalnız sıçrama başladığı nokta, düşü yüksekliğine ve düşü havuzundaki su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Burada sıçramanın başladığı noktadan sonra hidrolik sıçrama havuzlarından birisi kullanılabilir.

2.8.2. Çarpma engelli havuz tipi

Bu tip dolusavaklarda akış keskin kenarlı bir savaktan serbest olarak beton bir havuza direkt olarak dökülür. Serbest olarak suya dalan akış dipte çarpma engelleri ile karşılaşır. Serbest olarak dökülen jet, çarpma bloklarına çarptırılarak türbülans artırılması sağlanır. Türbülansın artması sonucunda enerji kırımını gerçekleştirir. Çarpma engelli tip enerji kırıcılar düşük düşülü dolusavaklar için projelendirilmektedirler. Zira yüksek düşülü dolusavaklarda serbest olarak dökülen akış oldukça büyük bir kinetik enerjiye sahip olacağından yapıya zarar verecektir. Bu tip enerji kırıcılarda mansap su derinliği ile düşü yüksekliği bir birinden bağımsızdır [6], [20].

2.8.3. Dişli ızgaralı havuz tipi

Bu havuz tipi Froude sayısının 2.5 ile 4.5 arasında olduğu akış şartlarında önerilmektedir. Akışın savaklandığı keskin kenarlı savaktan itibaren, akış doğrultusunda yatay konsol kirişler projelendirilir. Bu kirişler yardımıyla akış parçalanmasıyla akışın tesirliliği azaltılmaktadır. Havuzdaki hidrolik sıçramayı iyileştirmek için havuz sonuna bir eşik yerleştirilir [6], [20].

2.8.4. Trapezoidal havuz tipi

Trapezoidal düşü havuz tipi geçmişte kullanılmış olup istenmeyen değişik karakteristikleri vardır. Bunlar; kısaca etkisiz bir hidrolik sıçramanın oluşması, havuzda akışın toplam enerjisine nispeten az bir enerji kırımını gerçekleşmesi, sabit bir akışın gerçekleşmemesi, bu kararsızlığın sonucu olarak düşü yerinin aşağısında dalgalanmalar oluşmakta ve kanal kenarlarında ciddi oyulmalara sebep olmaktadır. Büyük deşarjlarda güçlü yan çevrıntiler oluşmakta ve suyun kanal yanlarından dışarı taşmasına neden olmaktadır. Bu da yapı temelinde oyulmalara neden olmaktadır.

Hidrolik model çalışmalarından sonra, bu havuz tipi $5.66 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'den daha az deşarjlar için tavsiye edilmektedir [11], [24].

Tavsiye edilen yapı iki V şekilli kanaldan oluşmakta ve akışı iki eşit parçaya bölmektedir.

2.9. Jet Difüzyon ve Jet Etkileşimli Enerji Kırıcılar

Kuyu, tünel veya sifon tipli dolusavakların iletim hattı sonundaki çıkış yapıları kapaklı veya serbest tünelli olarak projelendirilir. Bu çıkış yapısındaki deşarjlar yüksek hızlı ve yaklaşık yatay olarak açığa çıkar. Yüksek hızlı akışın enerjisinin büyük bir kısmı yapı çıkışındaki ve akarsu yatağındaki kesimlerde erozyonu en aza indirmek ve çıkış mansab bölgesini emniyetli kılacak şekilde, mümkün olduğu kadar çabuk dağıtılmalıdır.

Eğer çıkış yapısının olduğu bölge sağlam kayadan oluşuyorsa; jet, bir yansıtıcıyla zemin üzerine serbest olarak düşürülerek enerjisi kırılır. Jetin düştüğü bölgede oyulma tehlikesi varsa bir enerji kırıcı havuz projelendirilebilir. Çıkış yapısından çıkan jetler, yüksek hızlı olduğu durumlarda aşağıdaki enerji kırıcı yapılar projelendirilir. Diğer durumlarda ise hidrolik sıçrama havuzlarından birinin projelendirilmesi önerilmektedir [1], [7], [11], [20].

- * Jet difüzyon havuzları
- * Serbest jet enerji kırıcı havuzları
- * Serbest kaydırma oluklu enerji kırıcı havuzları
- * Tümsekli enerji kırıcı havuzlar
- * Etkileşimli enerji kırıcı havuzlar
- * Çarpıştırmalı serbest jetler

2.9.1. Jet difüzyon havuzları

Hidrolik sıçrama havuzlarında, havuz boyunun büyük bir çoğunluğu akışın girişte hidrolik sıçramaya hazırlanması için kullanılır. Bu ise havuz boyunu arttırmakta ve ekonomik bir çözüm olmaktan uzaklaştırmaktadır. Hidrolik sıçrama için gerekli havuz boyunu azaltmak maksadıyla, Bureau of Reclamation mühendisleri jet difüzyon havuzlarını geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonunda jet difüzyon havuzları kullanılarak havuz boyunun oldukça kısaltmanın mümkün olduğu gösterilmiştir. Enders barajı için bir jet difüzyon havuzu projelendirilmiştir. Enerji

kırıcı havuzun uzunluğu, hidrolik sıçrama havuzu projelendirildiğinde 53.3 m iken, jet difüzyon havuzu projelendirildiğinde 22.86 m ye inmiştir.

2.9.2. Serbest jet enerji kırıcı havuzlar

Bu enerji kırıcı havuzların genel çalışma prensibi; su jetinin su dolu havuza havadan düşmesi ile enerji kırınımının gerçekleşmesidir [11].

2.9.3. Serbest jet kaydırma oluklu hidrolik sıçramalı enerji kırıcı havuz

Enerji kırıcı havuz olarak hidrolik sıçramalı havuzlar kullanılır. Fakat püskürerek çıkan jetin havuza girmesi için, çıkış yapısı ile havuz girişi arasında kaydırma oluğu inşaa edilir. Suyun oluk yüzeyinden ayrılmaması için (12) denklemiyle elde edilen jet yörüngesinden daha kesin projelendirilmemelidir.

$$Y = -\left\{x \tan \theta + \left[\frac{(gx^2)}{(2V_{\max}^2)} \right] * (1 + \tan \theta) \right\} \quad (12)$$

Burada;

Y: Jet yörüngesinin y koordinatları (m)

x: Jet yörüngesinin x koordinatları (m)

θ : x, y koordinatındaki düşü ile yatay arasındaki açı

$V_{\max}$: Maksimum hızın 1.5 katı alınmalı (m/sn)

Havuz projelendirilirken şu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

* Sadece bir jet mevcutsa, verimliliği artırmak için enerji kırıcı havuz boyunca bölücü duvarlar yerleştirilebilir. Bölücü duvarlar, şut bloklarına doğru uzatılmalı ve duvar yükseklikleri maksimum mansab suyu seviyesinden daha yüksek olmalı.

* Havuz genişliğinin, jet genişliğinin iki katı olması ve havuzun her bir yarısı jetin merkezi ile simetrik olması tavsiye edilmektedir.

2.9.4. Tümsek (Hump) tipi enerji kırıcı havuz

Jet eksenini, akış yatağının kotundan daha aşağıda olduğundan, fakat tamamıyla kuyruk suyunun altında kalmadığı durumlarda, uygun bir hidrolik sıçrama formunu almasını ve jetlerin yayılmasını sağlamak için, enerji kırıcı havuza eğrisel bir çıktı yerleştirilir. Havuz içindeki tümseğin projelendirilmesinde en önemli iki faktör, tümseğin şeklinin ve boyutunun belirlenmesidir.

Havuz tümseğinin başlangıcına dairesel bir kemer, sonuna ise parabol şekli verilmelidir. Pratikte tümseğin başlangıcındaki dairesel eğri ile kanal tabanı uygun bir tanjant eğrisiyle birleştirilir.

Laboratuar deneyleri şu sonuçları göstermektedir [11].

* Tümsek çok yüksek olduğunda jetler çıkışta etkilice yayılamamaktadır.

* Tümsek çok alçak olduğunda ise proje debisinden daha küçük deşarjlarda mansapda batmış bir hidrolik sıçrama oluşmaktadır.

* Küçük deşarjlarda da sıçramanın sağlanması için, tümsek kreti, nehir taban kotuna kadar yükseltilmeli. Ayrıca tümsek, tüm deşarjlarda akışın tümsek kesitine düzgün olarak yayılacak şekilde projelendirilmeli.

Serbest akışlı tünel veya mecraların deşarjlarında, kışın çıkış yapısındaki donmayı önlemek amacıyla havuz tümseğinin kreti tünel çıkış üst kotundan daha yüksek bir kotta projelendirilir.

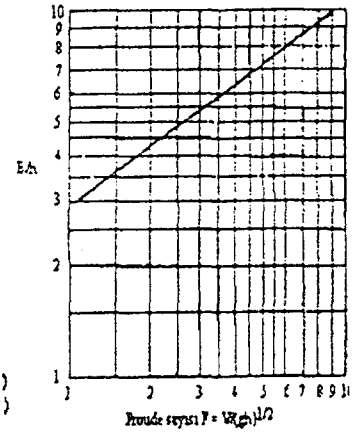
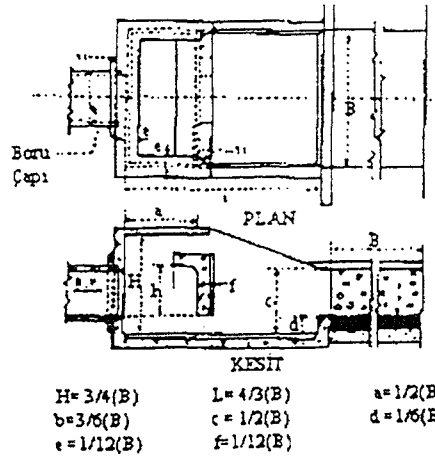
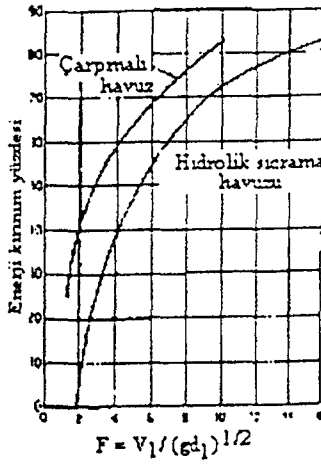
2.9.5. Etkileşimli (Çarpmalı) enerji kırıcı havuzlar

Jetlerin kuyruk suyuna tamamen batmış olduğu durumda, enerji kırıcı havuzda oyulmaların olması en istenilmeyen durumdur. Zira kontrol kapakları suyun altında kalacak ve bunları kontrol etmek mümkün olmayacaktır.

Yatay jetli havuzlar, serbest jet düşü havuzlarına benzer. Yalnız burada düşü yatağı ihmal edilir. Çok önemli yapılarda jetlerin hafifçe aşağıya doğru havuz içine indirilmesi istenilir. Çarpma açısı ve havuzun optimum boyutlarının belirlenmesi için model deneyleri tavsiye edilmektedir [1], [11], [20].

Çarpıştırılmalı havuzların en önemli özelliği mansab suyunun, enerji kırıcı havuzun çalışma performansını etkilememesidir. Bu havuzlar giriş hızlarının 9

m/sn'den daha az olduğu durumlarda tavsiye edilmektedir. Froude sayısına bağlı olarak çarpıştırmalı havuzlardaki enerji kırımını, hidrolik sıçrama havuzundan daha büyüktür (Şekil 2.25.).



Şekil 2.25. Etkileşimli ve hidrolik sıçramalı havuzlardaki enerji kırımının karşılaştırılması

Şekil 2.26. Çarpmalı havuz tipi ve boyutlandırma kriterleri

Çarpıştırmalı enerji kırıcı havuzlardaki gelişmeler, kuyruk suyu değişmelerinden bağımsız bir enerji kırımını sağlamak ve rölatif olarak daha küçük havuzlara ihtiyaç duyulmasıyla başlamıştır.

Şekil 2.26.'da çok değişik akış şartlarında kullanılan, düşey konsol çarpma bloklu genel bir örnek verilmektedir. Enerji kırımını akışın düşey konsola çarpmasıyla başlar ve akış memba tarafına yönelir. Bu yapı enerji kırımını için mansab suyuna ihtiyaç duymamakla birlikte, mansab suyunun olması yapı çıkışındaki hızı azalttığından enerji kırıcı havuzun performansını arttırmaktadır.

2.9.6. Çarpıştırmalı serbest jetler

Açık kanallı dolu savaklarda, serbest jet fırlatmalı veya yuvarlak uçlu (bucket) tipli enerji kırıcılara ek olarak, çarpıştırmalı jetler projelendirilmiştir. Bu tip enerji kırıcılar prensip olarak, iletim hattının uygun bir kesitine veya sıçratma ucunun uygun

bir yerine jet yansıtıcıların veya bölücülerin yerleştirilmesiyle, parçalara ayrılan jetlerin havada birbiriyle veya taban akışıyla çarpıştırılması şeklinde çalışmaktadır.

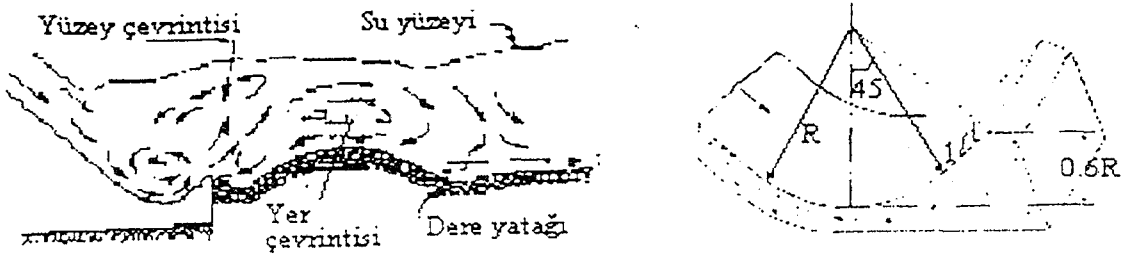
Serbest dökülen jetlerin parçalanması ve havalandırılması, jetlerin dökülüşü sırasında enerji kırımını artırır. Yapılan deneyler, jetin havadaki yörüngesi esnasındaki enerji azalmasının, toplam enerjinin % 12'si olduğunu göstermiştir [1].

2.10. Yuvarlak Uçlu Enerji Kırıcılar

Yuvarlak uçlu enerji kırıcılar ülkemizde ve yurt dışında başarıyla uygulanmaktadır. Bu tip enerji kırıcı genelde sıçrama yüksekliği eğrisinin, mansab suyu anahtar eğrisinin altında olduğu durumda tavsiye edilir. Ancak diğer durumlarda da verimli olarak çalışmaktadır. Bu tip enerji kırıcının inşa edilebilmesi için sağlam kaya zemine ihtiyaç vardır. Yuvarlak uçlu enerji kırıcılar, eğimli düşü yataklı enerji kırıcılardan daha ekonomik olmaktadır. Bunlar mansab su seviyesine ve yatak şartlarına bağlı olarak, yekpare ve dişli olarak projelendirilmektedir [6].

2.10.1. Yekpare yuvarlak uçlu (bucket) tip enerji kırıcı

Yüksek hızlı akışı dere yatağından uzağa saptıracak şekilde, yarıçapı en elverişsiz akış şartlarına göre itina ile belirlenen, yekpare silindirik bir sıçratma ucundan ibaret olup Şekil 2.27.'de görülmektedir. Bu yapıda esas olarak iki tip çevrinti oluşmaktadır; birisi yuvarlak uç üzerinde saat ibresi tersi yönünde oluşan yüzey çevrintisi, diğeri ise yapı mansabında saat ibresi yönünde oluşan yer çevrintisidir [6], [20].



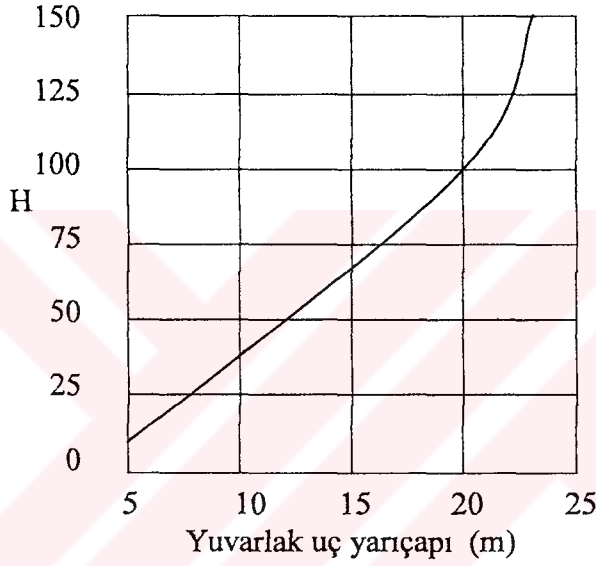
Şekil 2.27. Yekpare yuvarlak uçlu enerji kırıcı

Mansapda meydana gelen bu şiddetli çevrintiler, oyulan taban malzemesini yuvarlak uç üzerine sürükler. Bu malzemeler ise yuvarlak uçta aşınmalara sebep olur. bu nedenle gevşek tabanlı zeminlerde kullanılmamalıdır [19].

2.10.1.1. Yuvarlak uç yarı çapının belirlenmesi

Yarıçap için aşağıdaki değerlerin en küçüğü alınmalıdır.

R.S. Varshney eğrisinden yarıçap okunur. (Şekil 2.28.)



Şekil 2.28. Yuvarlak ucun yarı çapının belirlenmesi

$$R = 0.6\sqrt{H * H_d} \quad (12)$$

Burada;

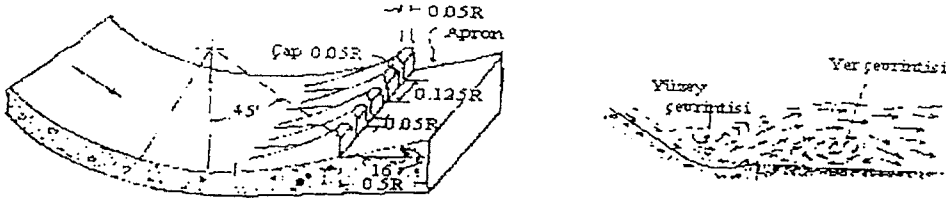
H: Yuvarlak uç girişi ile dolusavak kreti arasındaki kot farkı (m)

H_d: Dolusavak kreti üzerindeki su yükü (m)

Yuvarlak ucun en etkili çalıştığı durumdaki çıkı açısı 45° olarak bildirilmektedir.

2.10.2. Dişli yuvarlak uçlu enerji kırıcılar

Dişli yuvarlak uçlu tip, yekpare tipin sıçratma ucunun iki yarısına akışı bölücü dişlerin yerleştirilmesinden ibarettir. Ayrıca bu tipte sıçratma ucu çıkış açısı daha düşüktür. (Şekil 2.29.)



Şekil 2.29. Dişli yuvarlak uçlu enerji kırıcı detayı

Yekpare yuvarlak uçlu enerji kırıcılardan, mansab su seviyesi şartları ve simetrik olmayan kapakların çalışması durumunda, yatak malzemesinin yapı üzerine akma riskini artırması, bu tiplerin kullanılabilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Dişli yuvarlak uçlu tip de ise yüksek hızlı akış yapıyı daha yatık olarak terk eder. Suyun bir kısmı akarsu yüzeyine doğru ilerler, bu nedenle hem yüzeyde daha az çvrntiler hem de tabanda daha yavaş akımlar oluşur. Böylece yatak malzemesi oyulmaları ve taşınımı azaltılmış olur. Dişli yuvarlak uçlu tip, bu özelliklerden dolayı, yekpare yuvarlak uçludan daha ziyade tercih edilmektedir.

2.11. Serbest jet fırlatmalı (Ski-Jump) eneri kırıcılar

Serbest jet fırlatmalı enerji kırıcılar, dere yatağı sağlam kayalardan oluşan mevkilerde ve hidrolik sıçrama için yeterli mansab su derinliği bulunmadığı durumlarda uygulanır. Uygun arazi şartları sağlandığında oldukça ekonomik bir çözüm olmaktadır.

Bu tip enerji kırıcılarda, deşarj kanalı sonunda yüksek hızlara erişen akışı, bir yay parçası olan jet fırlatma ucuyla havaya fırlatılmaktadır. Jet fırlatma ucundan yüksek hızla fırlayan jet, yapının hemen mansabında oyulmalara sebep olur. Yapının yıkılmasına neden olmaması için, yapıdan yeteri kadar uzağa fırlatılmalıdır. Enerji

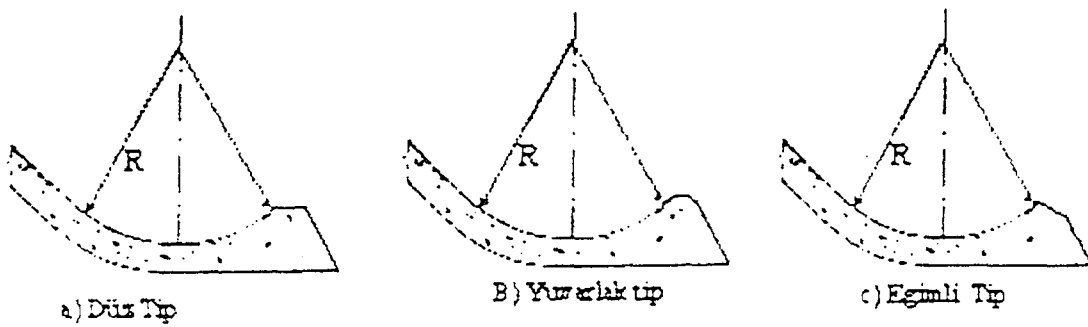
kırınımı, jetin şiddetli bir şekilde püskürmesiyle ve jetin nehir yatağına veya su havuzundaki suya çarpmasıyla sağlanır. Yüksek hızlı jet, havanın içinde serbestçe dökülürken, hava sürtünmesinden oluşan yüzey gerilmeleriyle hareketi bir derecede kesilir. Uzun bir yörüngenin etkisi ile jetin enerjisinin büyük bir kısmı, jet kanala çarpmadan önce kırılabilir. Düşü havuzu gerektirmediginden dolayı ekonomik olmaktadır. Bu nedenle yaygın olarak kullanılmaktadır [1], [7].

2.11.1. Fırlatma ucu proje kriterleri

2.11.1.1. Fırlatma ucunun yerinin belirlenmesi

Fırlatma ucunun yerleştirileceği kota, ekseriyetle barajın genel projesi dikkate alınarak karar verilir. Eğer sıçratma ucunun altında HES santrali bulunuyorsa fırlatma ucu santralden daha yukarıya yerleştirilir (Karakaya barajı).

Ayrıca fırlatma ucu mansap su seviyesinden daha yukarıya yerleştirilmeli ve özellikle fırlatma ucu topuğunun, maksimum mansap su seviyesinden daha yukarıda olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Eğer sıçratma ucu topuk noktası, maksimum mansap su seviyesinin altında kalıyorsa, fırlatma ucu, yekpare yuvarlak uçlu enerji kırıcılar gibi çalışacaktır. Bu durumda topuğun altında negatif basınçlar oluşacaktır. Negatif basınçları önlemek için topuk altı havalandırılmalı veya daha basit olarak Şekil 2.30'daki gibi eğimli topuk yapılmasıyla kontrol altına alınmış olur [1].



Şekil 2.30. Yuvarlak ucun topuk noktasının formları

2.11.1.2. Fırlatma ucunun yarı çapı

Fırlatma ucunun yarı çapı, yekpare yuvarlak uçlu enerji kırıcıların sıçratma uçları ile aynı şekilde projelendirilir.

2.11.1.3. Jet yörüngesinin belirlenmesi

Jetin kesin yörüngesini veren bir bağıntı henüz tama olarak belirlenmemiştir. Zira, Jet'e hava karışımı ve hava sürtünmesi tam olarak modelize edilememektedir. Eğer jet yörüngesinin belirlenmesinde hava sürtünmeleri elimine edilirse, aşağıdaki formül yardımıyla jet yörüngesi belirlenir. Bu şekilde elde edilen jet boyuna teorik jet boyu denir.

$$X = \left\{ V_0^2 \sin \theta \cos \theta + V_0 \cos \theta \sqrt{V_0^2 \sin^2 \theta \pm 2gy} \right\} / g \quad (14)$$

$$Y = V_0^2 \sin^2 \theta / (2g) \quad (15)$$

$$V_0 = \lambda_0 \sqrt{2g(E_s - E_n)} \quad (16)$$

Burada;

Y: Jetin düşey koordinatı

X: Jetin yatay koordinatı

y: Sıçratma ucu ile mansab su seviyesi arasındaki kot farkı. (Mansab su seviyesi, jet fırlatma ucu topuğunun üstünde ise (+), altında ise (-) alınır.)

V_0 : Akışın ilk fırlatma hızı

θ : Akışın fırlatma açısı

E_s : Rezervuar su kotu

E_n : Sıçratma ucu topuk kotu

λ_0 : Enerji kayıpları katsayısı

Yapılan çalışmalarda, fırlatma hızı 20 m/sn'ye kadar olan hızlarda teorik hızın gerçek hıza oranının yaklaşık 1 olduğu anlaşılmıştır. Pratikte ise, gerçek jet boyu teorik jet boyunun %90'ı kadardır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Düzenegi

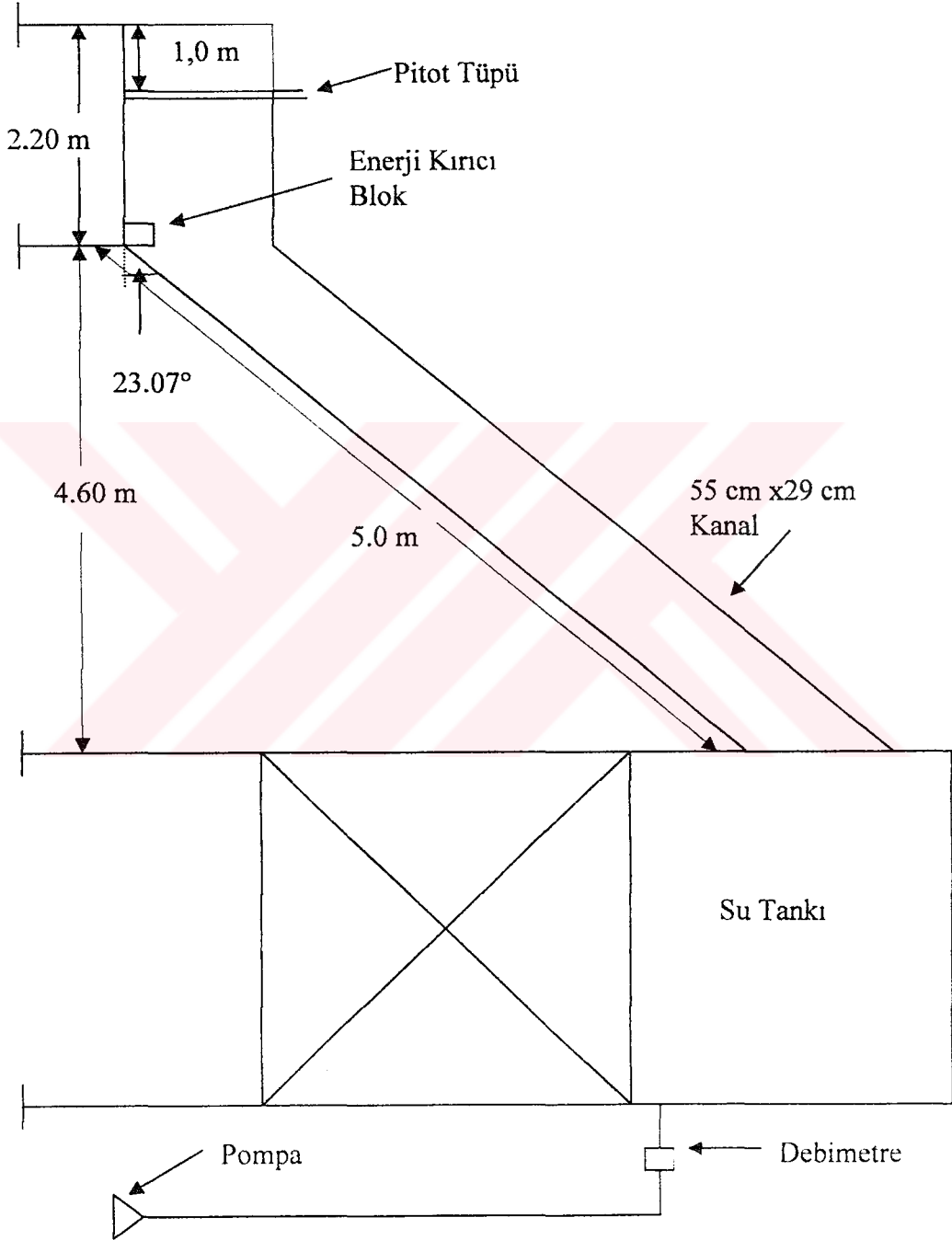
Bu çalışmada;hidrolik sıçrama havuzlarında bulunan çarpma ve şut bloklarına alternatif olması düşünülerek tasarlanan sekiz farklı tip enerji kırıcı yapının enerji sönümlenmesi ile performansı araştırılmıştır. Deneyler, Fırat üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneylerin yapıldığı dikdörtgen savak genişliği 0.29 m, kanal duvar yüksekliği 0.55 m ve uzunluğu 5.0 m'dir. Kanalın yatayla yaptığı açı 23.07° dir. Düşü havuzu olarak düşünülen kısmın uzunluğu 2.20 m'dir. Deneyde imkansızlıktan dolayı kullanılan debi değerleri $0.01 \text{ m}^3/\text{sn}$, $0.02 \text{ m}^3/\text{sn}$, $0.03 \text{ m}^3/\text{sn}$, $0.04 \text{ m}^3/\text{sn}$, buna karşılık gelen enerji kırıcı yapıdan önceki akım yükseklikleri 0.009 m , 0.017 m , 0.023 m , 0.029 m arasında değiştiğinden ve bu değerler çok küçük değerler olduğundan, enerji kırıcı yüksekliği olarak da kullanmak olanaksız olduğundan enerji kırıcı blok yüksekliği olarak $0.030 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik debiye karşılık gelen enerji kırıcı yapıdan önceki akım yüksekliğinin katları alınmıştır. Buna göre üç farklı enerji kırıcı yükseklik kullanılmıştır. Bunlar; $2h_1$, $3h_1$, $4h_1$ değerleridir. Zaten bu çalışmadaki esas amaç; enerji sönümlenmesinde enerji kırıcı tipin etkisinin araştırılmasıdır. Fakat deneylerde bu üç yüksekliğin etkinliği de araştırılmıştır.

Deneyde kullanılan debi, bir su motoru vasıtasıyla depoya gönderilen su ile sağlanmıştır. Ayrıca; debi miktarı su motoru çıkışındaki bir vana vasıtasıyla, depo girişinde bulunan dijital debimetreden okunarak ayarlanmıştır.

Enerji kırıcılar dolusavağın bitiminden itibaren farklı kısımlara yerleştirilmiş fakat en iyi sönümlenmenin düşüm havuzu ile dolusavak bitiminin birleştiği yerde gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle enerji kırıcılar hep bu yere yerleştirilmiştir. Enerji kırıcı blok membaya doğru yaklaştırıldığında enerji sönümleme oranı artmaktadır. Aslında bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Çünkü; enerji kırıcı blok amacına uygun olarak şut bloku gibi davranmıştır.

Enerji kırıcı tip olarak hem eşik hem de suya çarptırımında düşünüldüğünden oluklu enerji kırıcılar tasarlanmıştır. Amaç, daha çok türbülans oluşturmaktır. Şekil 3.1'de deney düzenegi görülmektedir.



Şekil 3.1. Deney Düzeneği

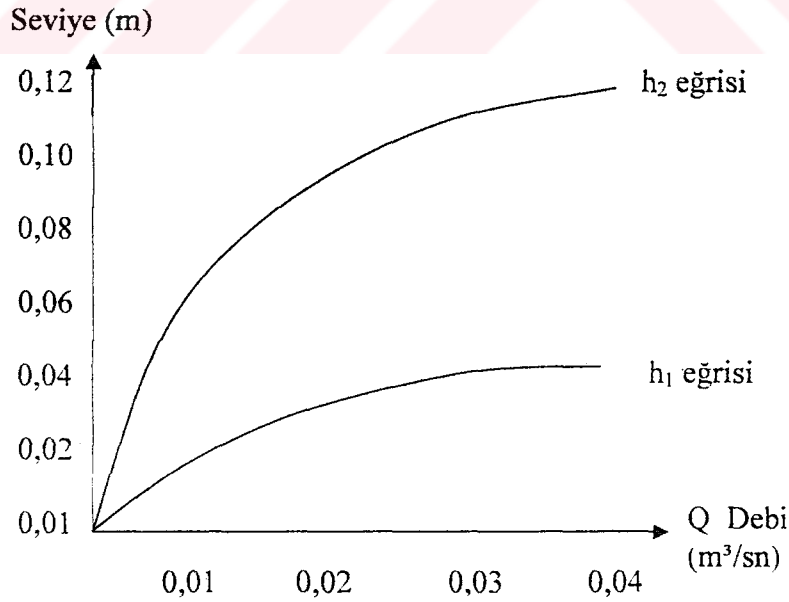
3.2. Materyal ve Deney Metodu

Enerji kırmada, suyun çarpma, türbülans oluşturma, dağılma meydana getirme veya su ve hava ile sürtünme sağlama şeklindeki ana ilkeler kullanılarak pek çok değişik tipte enerji sönümleme yapıları inşa edilmiştir. Bu çalışmada da, değişik tipte enerji kırıcı bloklarla deneyler yapılmıştır. Deney verileri kullanılarak blokların enerji sönümleme oranları belirlenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Enerji kırıcı tiplerde, esas faktör sıçrama yüksekliği ile mansap su seviyesinin ilişkisidir. Bu nedenle mansap suyu anahtar eğrisi Şekil 3.2’de grafiklendirilmiştir.

Tablo 3.1. Hidrolik sıçramadan önceki ve sonraki su yükseklikleri

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	h ₂ (m)
0,010	0,009	0,054
0,020	0,017	0,079
0,030	0,023	0,0998
0,040	0,029	0,119



Şekil 3.2. Mansap suyu anahtar eğrisi

Bu grafik ve enerji kırıcıdan önceki kesitte elde edilen Froude sayıları (Fr_1) da göz önünde tutulduğunda kullanılacak enerji kırıcı tipin çarpma bloklu veya eşikli enerji kırıcı havuz tipine bir alternatif olacağı görülmüştür. Bu çalışmada hem suyun yani akımın akıma, hem suyun yapıya çarpımı ve türbülans oluşumu sonucu enerjinin sönümlenmesi tasarlanmıştır. Dolayısıyla bu enerji kırıcılar enerji kırıcı blok ve eşik görevini de görmektedir.

Enerji kırıcı yerleştirilmeksizin debi değerlerine karşı gelen kanal derinlikleri ve buna bağlı olarak değişen hızlar hem CFRD programı ile hesaplanmış ve hem de kanalda limnimetre ve pitot borusu ile ölçüm yapılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Her bir ölçüm değeri beş okumanın ortalaması olarak alınmıştır. Elde edilen hızlara göre, eşikten önceki Froude sayısı Fr_1 olarak 8.79 , 9.26 , 9.89 , 12.67 değerlerini almıştır. Bu değerler debinin 0.010 m³/sn , 0.020 m³/sn , 0.030 m³/sn , 0.040 m³/sn değerlerine karşı gelen enerji kırıcıdan önceki akım değerlerine aittir.

Yapılan tüm deneylerde $Fr_1 > 1$ 'dir. Dolayısıyla enerji kırıcı bloklardan önceki akım, sel rejimindedir.

Bu çalışmada, etkiyen parametreler için boyut analizi yapılmıştır.

Enerji kırıcı yapıya ait parametreler;

hw =Enerji kırıcı yapının yüksekliği (m)

bw =Enerji kırıcı yapının akım çıkışındaki uzunluğu (m)

Akışkana ait parametreler;

ρ =yoğunluk (kg/m³)

μ =Dinamik viskozite (kg.sn/m²)

g = Yerçekim ivmesi (m/sn²)

Akıma ait parametreler;

V_1 =Enerji kırıcı yapıdan önceki akımın hızı (m/sn)

h_1 =Enerji kırıcı yapıdan önceki akımın yüksekliği (m)

E_1 =Enerji kırıcı yapıdan önceki akımın enerjisi (m)

E_2 =Enerji kırıcı yapıdan sonraki akımın enerjisi (m)

$F(hw, \rho, \mu, g, V_1, h_1, bw, E_1, E_2)=0$

Olduğundan bu olay boyutsuz sayılar cinsinden $F(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6)$ ile de ifade edilebilir.

Buna göre;

$$\Pi_1=Re$$

$$\Pi_2=Fr$$

$$\Pi_3=hw/h_1$$

$$\Pi_4=E_1/h_1$$

$$\Pi_5=E_2/h_1$$

$$\Pi_6=bw/h_1$$

Şeklinde boyutsuz sayılar yazılabilir. Bu olayda Reynolds sayısı etkin bir parametre değildir. E_1/h_1 ve E_2/h_1 boyutsuz sayıları yerine $(E_1-E_2)/E_1$ yazılabilir. Buna göre olay, $(Fr_1, hw/h_1, E_1-E_2/E_1, bw/h_1)=0$ ile ifade edilebilir.

Bu çalışmada sekiz farklı tip enerji kırıcı yapı incelenmiştir. İlk altı tip için enerji kırıcı yüksekliği $hw=2h_1$, $hw=3h_1$, $hw=4h_1$ olarak denenmiştir. Oluklu olarak kullanılan enerji kırıcıların su giriş yükseklikleri $1/3 hw$ olarak alınmıştır. Bir ön deneme niteliğinde yapılan deneysel çalışmada enerji kırıcı yapının su giriş yükseklikleri $hg=1/3 hw$, $hg=1/2 hw$, $hg=2/3 hw$ olarak alınmış, sonuçta en iyi sönmülemenin $hg=1/3hw$ olduğu durumda gerçekleştiği görülmüştür. Fakat bu gözlemler tezde değerlendirilmemiştir. Enerji kırıcılarda su giriş genişlikleri de değiştirilmiştir. Su giriş genişliği $bw=1/3 b$ ve $bw=2/3 b$ olarak iki farklı genişlik kullanılmıştır. İlk 6 tipte enerji kırıcıların mansabında $hç=1/3 hw$ olacak şekilde kanal genişliği boyunca bir oluk bırakılmış ve suyun bir kısmı bu oluktan mansaba yönlendirilmiştir.

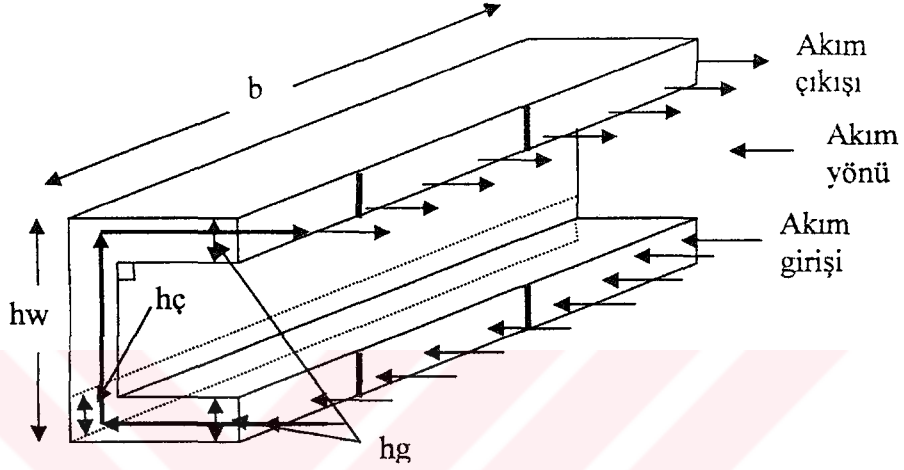
3.3. Deneyde Kullanılan Enerji Kırıcı Tipler, Deney Sonuçları ve Tartışma

Enerji kırıcıların özellikleri şöyledir.

Birinci tipte, enerji kırıcıya giren akım ile enerji kırıcıdan çıkan bir kısım akım ters yöndedir. Yani; suyun bir kısmı eşik görevini de gören enerji kırıcının üstünden hidrolik sıçrama yaparak atlamakta bir kısmı ise tekrar enerji kırıcının memba tarafındaki suya çarpmaktadır. Ayrıca; ilk altı enerji kırıcı tipte enerji kırıcının mansabında açılan bir delikle su akım yönünde mansaba verilmektedir. 2. ve 5. tip enerji kırıcıların akım çıkışları 30° , 45° , 60° , ve 3. , 4. ve 6. tip enerji kırıcıların akım çıkışları 120° , 135° , 150° gibi farklı açılarla membaya yönlendirilmiştir. Ancak; enerji

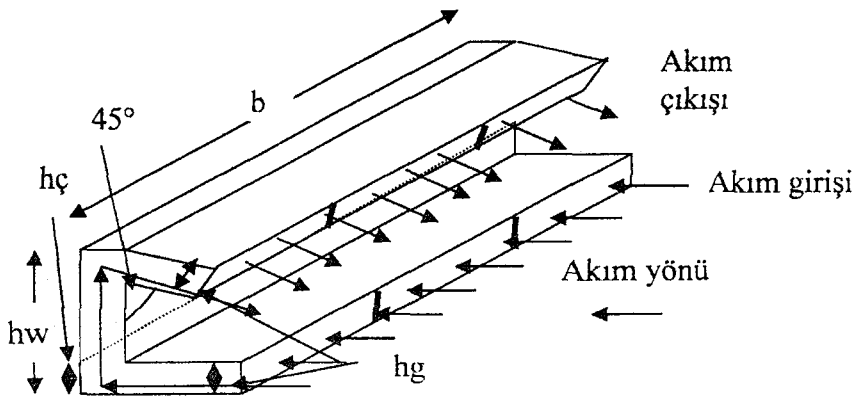
sönümleme oranı, hidrolik sıçrama yüksekliğinde herhangi bir değişiklik gözlenmediğinden bu çalışmada yer almamıştır.

Su giriş ağız ve su çıkış ağız yükseklikleri hep eşit olacak şekilde $h_c = h_g = 1/3 h_w$ olarak alınmıştır. 1. tipin genel şekli Şekil 3.3’de belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 3.3’de akımın enerji kırıcı yapı içindeki hareketi de gösterilmiştir. Diğer bütün enerji kırıcı yapılarda akım aynı yolu izlemektedir.



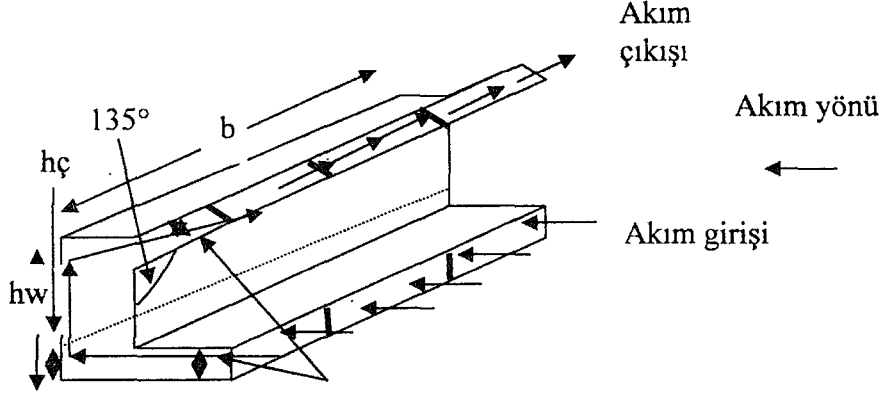
Şekil 3.3. 1. tip enerji kırıcının genel şekli

2. tip enerji kırıcının birinci tipten farkı oluklu enerji kırıcıya giren akımın, enerji kırıcının üst tarafından tekrar membaya dönerken 90° lik bir açıyla değil de 45° lik bir açıyla dönmesidir. Bu tipin genel şekli Şekil 3.4’de belirtilmiştir.



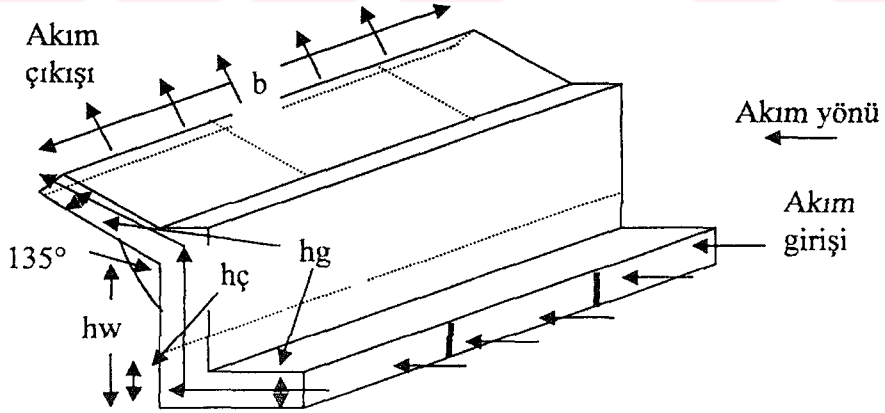
Şekil 3.4. 2. tip enerji kırıcının genel şekli

3. tip enerji kırıcının ikinci tipten farkı oluklu enerji kırıcıya giren akım, enerji kırıcının üst tarafından tekrar membaya dönerken 135° lik bir açıyla dönmesidir. Bu tipin genel şekli Şekil 3.5’de belirtilmiştir.



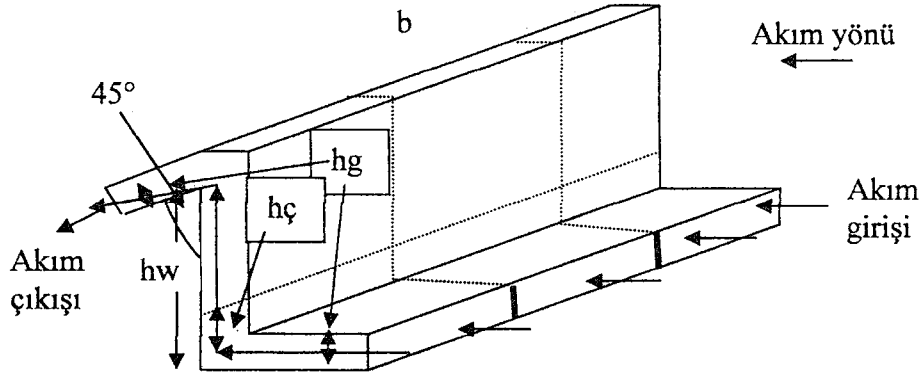
Şekil 3.5. 3. tip enerji kırıcının genel şekli

4. tip enerji kırıcının üçüncü tip enerji kırıcından farkı oluklu enerji kırıcıya giren akımın, enerji kırıcının üst tarafından tekrar membaya değil de 135° lik bir açıyla mansaba yönlendirilmesidir. Bu tipin genel şekli Şekil 3.6’da belirtilmiştir.



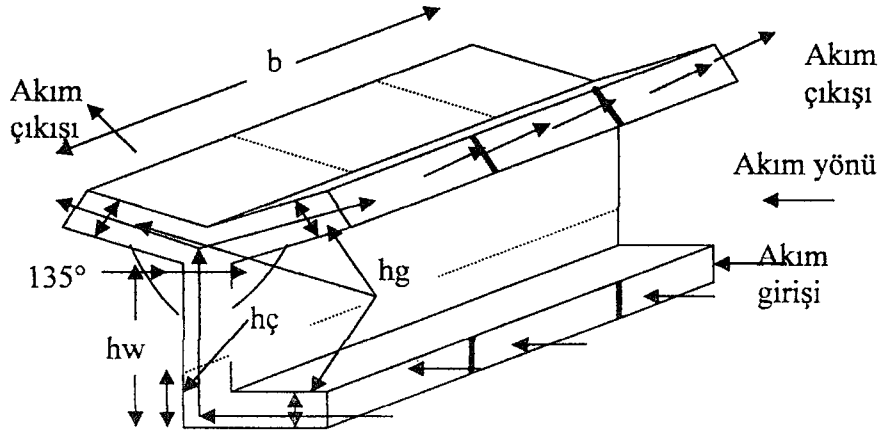
Şekil 3.6. 4. tip enerji kırıcının genel şekli

5. tip enerji kırıcının dördüncü tip enerji kırıcıdan farkı oluklu enerji kırıcıya giren akımın, enerji kırıcının üst tarafından 45° lik bir açıyla mansaba yönelmesidir. Bu tipin genel şekli Şekil 3.7’de belirtilmiştir.



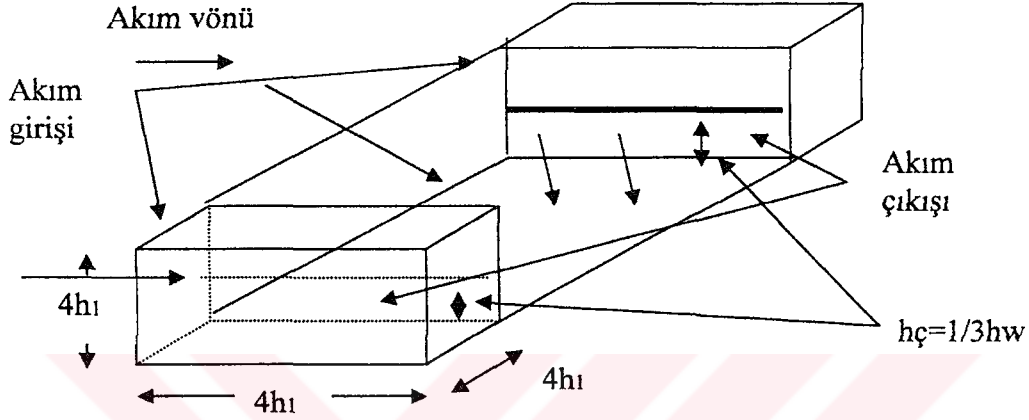
Şekil 3.7. 5. tip enerji kırıcının genel şekli

6. tip enerji kırıcının beşinci tip enerji kırıcıdan farkı oluklu enerji kırıcıya giren akımın, enerji kırıcının üst tarafından hem memba ve hem de mansap yönüne doğru 135° lik bir açıyla yönelmesidir. Bu tipin genel şekli Şekil 3.8’de belirtilmiştir.



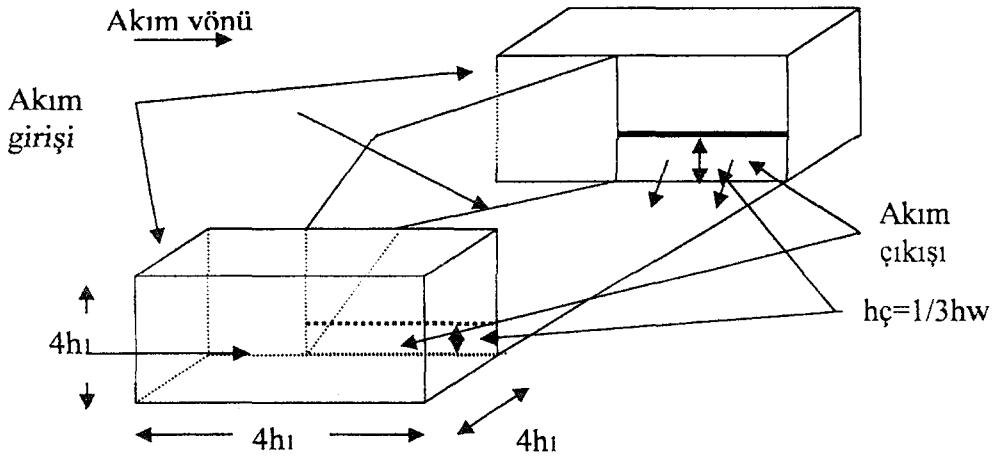
Şekil 3.8. 6. tip enerji kırıcının genel şekli

7. ve 8. tip enerji kırıcılar tamamen bundan önceki enerji kırıcılardan farklıdır. Bu tipte giren akım çıkan akım doğrultusuna dik yönde iki tarafta çıkış yapmakta ve akımın birbiriyle çarpışması sağlanmaktadır. Aynı zamanda enerji kırıcının üst kısmından sıçrayan akımda bunlara çarparak türbülans oluşturmakta ve girişimin max. düzeyde olmasını sağlamaktadır. Bu tip enerji kırıcıda $h_c = 1/3 h_g$ alınmıştır. Yedinci tip enerji kırıcının genel şekli Şekil 3.9'da belirtilmiştir.



Şekil 3.9. 7. tip enerji kırıcının genel şekli

8. tip enerji kırıcının yedinci tip enerji kırıcıdan farkı akım giriş haznelerinin arasında kalan duvarın memba tarafından gelen akımı 45°'lik bir açıyla ikiye bölmektedir. bu tip enerji kırıcının genel şekli Şekil 3.10'da belirtilmiştir.



Şekil 3.10. 8. tip enerji kırıcının genel şekli

Bu deneysel çalışmada, suyun enerji kırıcı bloklar vasıtasıyla yine kendisine çarptırmak suretiyle akım içinde oluşturulan hidrolik sıçrama ve türbülans yardımıyla enerji sönümleme oranları incelenmiştir.

Enerji kırıcı bloklardan önce ve sonra akımın hız yükseklikleri ölçülerek, hız değerleri ve akım derinlikleri hesaplanmıştır. Enerji yüksekliği formüllerinden, akımdaki enerji yükseklikleri hesaplanarak enerji sönümleme oranları bulunmuştur. Bulunan bu değerlere göre enerji kırıcı bloklardan elde edilen enerji sönümleme oranları aşağıda karşılaştırılmıştır. Enerji sönümleme oranı $(E_1 - E_2)/E_1$ ile Fr_1 arasındaki değişim hem statistica bilgisayar programı hem de grafikler yardımıyla incelenerek enerji sönümleme oranı en iyi olan enerji kırıcı yapı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada 36.deneye kadar olan tiplerde amaç, suyu yine geldiği yöne yani, mansaba çevirmek suretiyle kendine çarptırarak enerji sönümlemesini sağlamaktır. Bu deneylerde elde edilen sonuçlara göre en iyi enerji kırma özelliğine sahip enerji kırıcı blok tespit edilmeye çalışılmıştır. 37'inci ve 38'inci deneylerde bundan önceki deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılara alternatif olabilecek farklı bir enerji kırıcı yapı denenmiştir. Bu tiplerde amaç; suyun bir kısmını enerji kırıcı içine aldıktan sonra birbirine zıt iki doğrultuda ve akıma dik olacak akımın çıkışını gerçekleştirmektir. Suyun bir kısmı da eşik gibide davranan enerji kırıcı üstünden mansaba sıçramaktadır. Böylece güçlü bir girişim meydana gelmekte ve enerji sönümlenmesi sağlanmaktadır.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

1. deney ile 38. deney arasında kalan deney sıra numaraları ve buna karşı gelen tip numaraları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney numaralarına göre kullanılan enerji kırıcı tipler

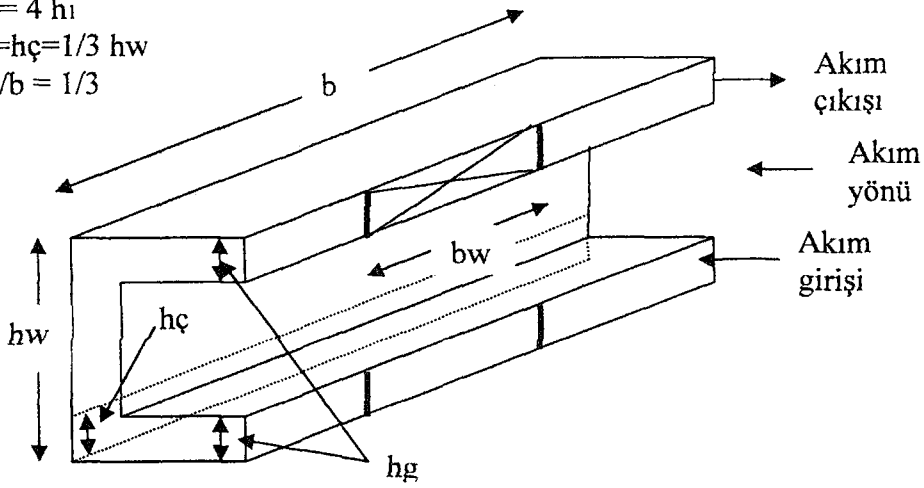
Deney numarası	Tip numarası
1., 2., 3., 4., 5., 6.,	1.Tip
7., 8., 9., 10., 11., 12.,	2.Tip
13., 14., 15., 16., 17., 18.,	3.Tip
19., 20., 21., 22., 23., 24.,	4.Tip
25., 26., 27., 28., 29., 30.,	5.Tip
31., 32., 33., 34., 35., 36.,	6.Tip
37.	7.Tip
38.	8.Tip

1. Deney sonucu

$$hw = 4 h_1$$

$$hg = hç = 1/3 hw$$

$$bw/b = 1/3$$



Şekil 4.1. 1. deneyde kullanılan 1. Tip Enerji Kırıcı Blok

Tablo 4.2. 1. deneyde kullanılan 1. Tip Enerji Kırıcı Blok Deney Sonucu

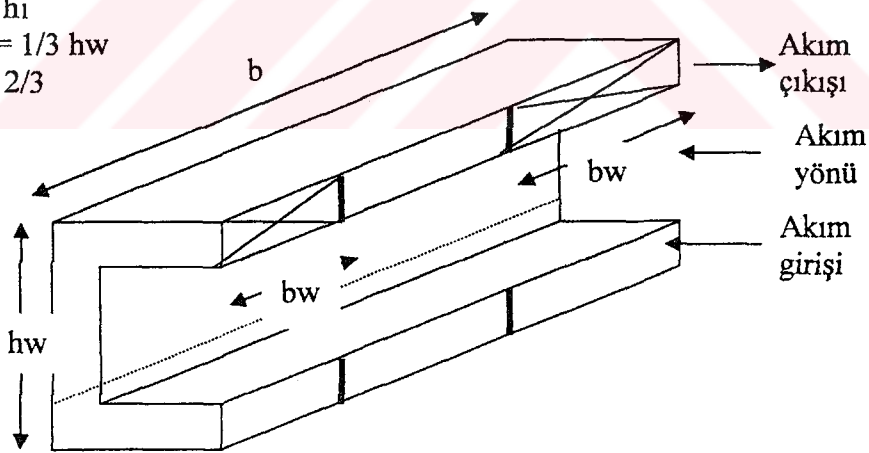
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,842	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,810	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,23	0,60	0,784	8,79

2. Deney sonucu

$$hw = 4 h_1$$

$$hg = hç = 1/3 hw$$

$$bw/b = 2/3$$



Şekil 4.2. 2. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.3. 2. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

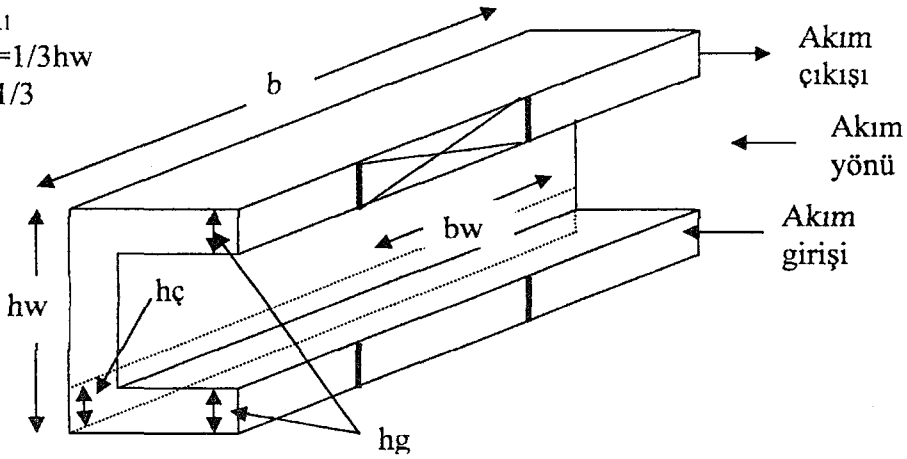
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,835	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,814	9,89
0,030	0,023	4,397	0,22	0,47	0,773	9,26
0,040	0,029	4,688	0,24	0,58	0,776	8,79

3. Deney sonucu

$$h_w = 3h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 1/3$$



Şekil 4.3. 3. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.4. 3. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

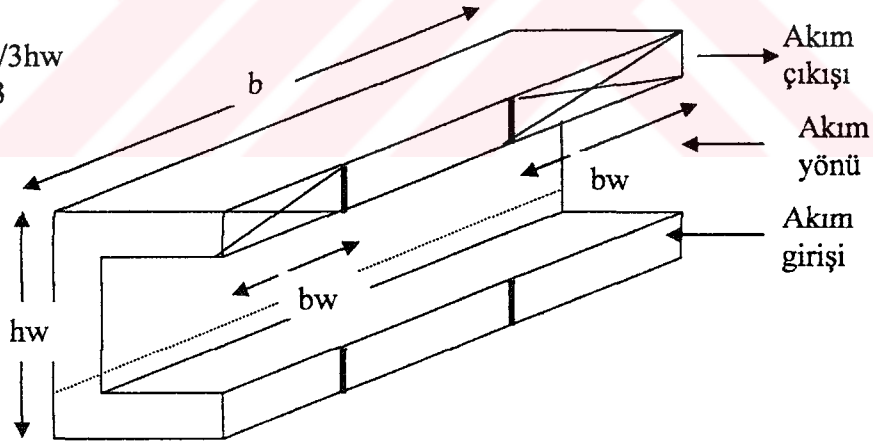
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,13	0,53	0,830	9,89
0,030	0,023	4,397	0,18	0,57	0,811	9,26
0,040	0,029	4,688	0,20	0,69	0,805	8,79

4. Deney sonucu

$$h_w = 3h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 2/3$$



Şekil 4.4. 4. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.5. 4. deneyde kullanılan 1. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

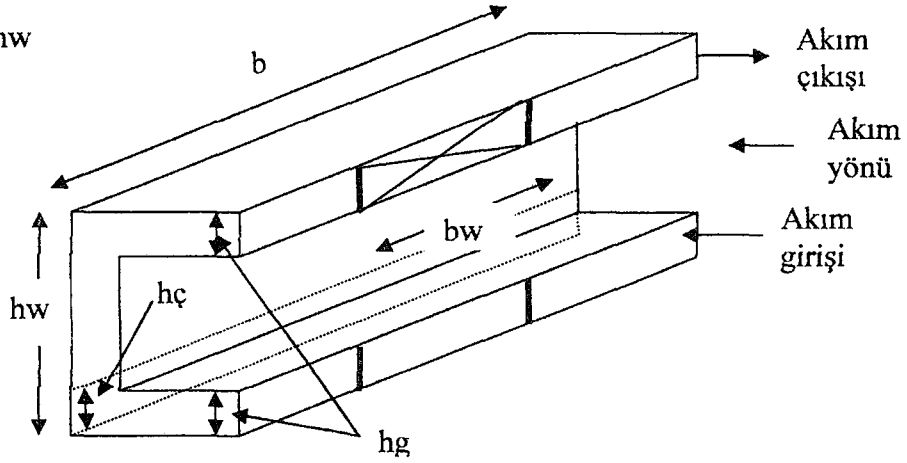
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,843	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,17	0,61	0,812	9,26
0,040	0,029	4,688	0,23	0,60	0,784	8,79

5. Deney sonucu

$$hw = 2h_1$$

$$hg = hc = 1/3hw$$

$$bw/b = 1/3$$



Şekil 4.5. 5.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.6. 5.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

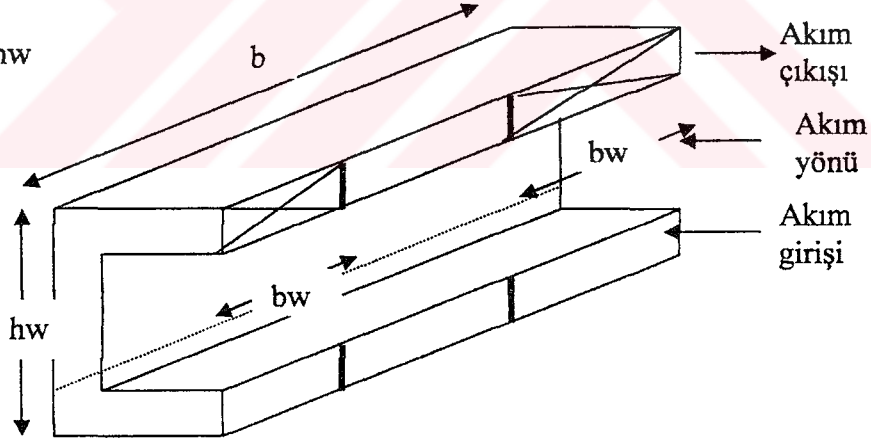
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,10	0,35	0,855	12,67
0,020	0,017	4,042	0,11	0,63	0,847	9,89
0,030	0,023	4,397	0,14	0,74	0,833	9,26
0,040	0,029	4,688	0,16	0,86	0,828	8,79

6. Deney sonucu

$$hw = 2h_1$$

$$hg = hc = 1/3hw$$

$$bw/b = 2/3$$

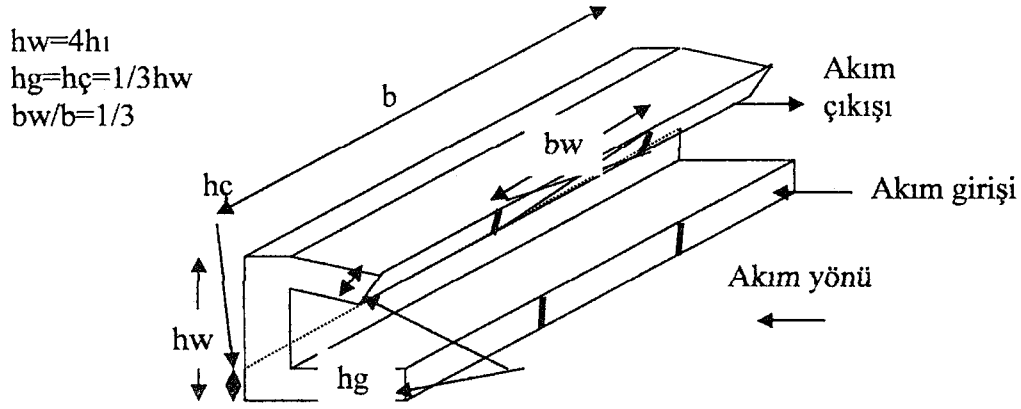


Şekil 4.6. 6.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.7. 6.deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,843	12,67
0,020	0,017	4,042	0,12	0,58	0,839	9,89
0,030	0,023	4,397	0,14	0,74	0,833	9,26
0,040	0,029	4,688	0,20	0,69	0,805	8,79

7. Deney sonucu

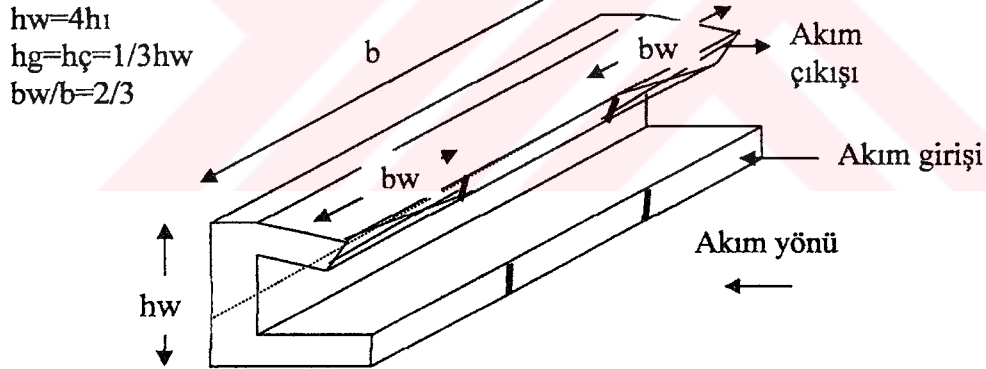


Şekil 4.7. 7.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.8. 7.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,23	0,60	0,784	8,79

8. Deney sonucu



Şekil 4.8. 8.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.9. 8.deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

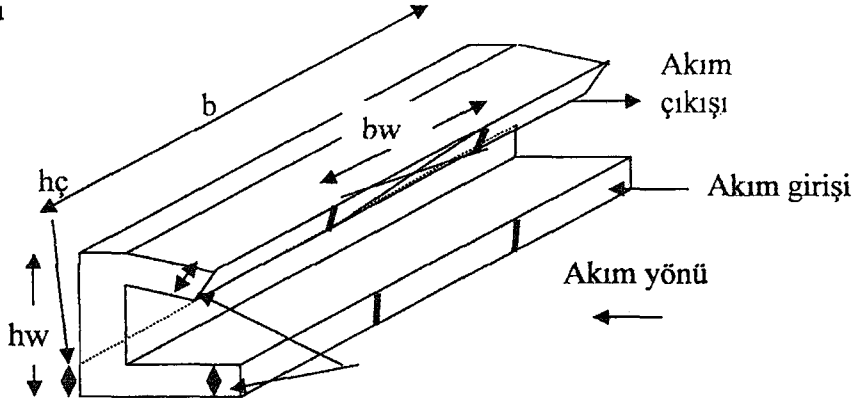
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,15	0,23	0,791	12,67
0,020	0,017	4,042	0,17	0,41	0,790	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,26	0,53	0,761	8,79

9. Deney sonucu

$$hw = 3h_1$$

$$hg = hç = 1/3hw$$

$$bw/b = 1/3$$



Şekil 4.9. 9. deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.10. 9. deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

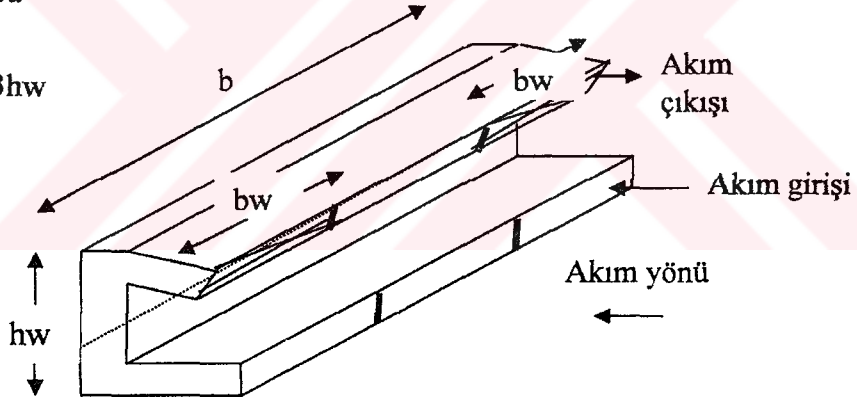
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,18	0,57	0,805	9,26
0,040	0,029	4,688	0,23	0,60	0,784	8,79

10. Deney sonucu

$$hw = 3h_1$$

$$hg = hç = 1/3hw$$

$$bw/b = 2/3$$



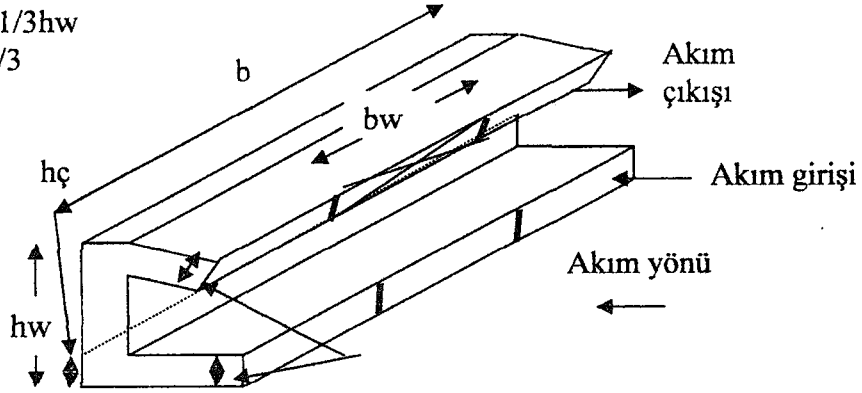
Şekil 4.10. 10. Deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.11. 10. Deneyde kullanılan 2.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,17	0,41	0,790	9,89
0,030	0,023	4,397	0,20	0,52	0,788	9,26
0,040	0,029	4,688	0,21	0,66	0,798	8,79

11. Deney sonucu

$$\begin{aligned} h_w &= 2h_1 \\ h_g &= h_c = 1/3 h_w \\ b_w/b &= 1/3 \end{aligned}$$



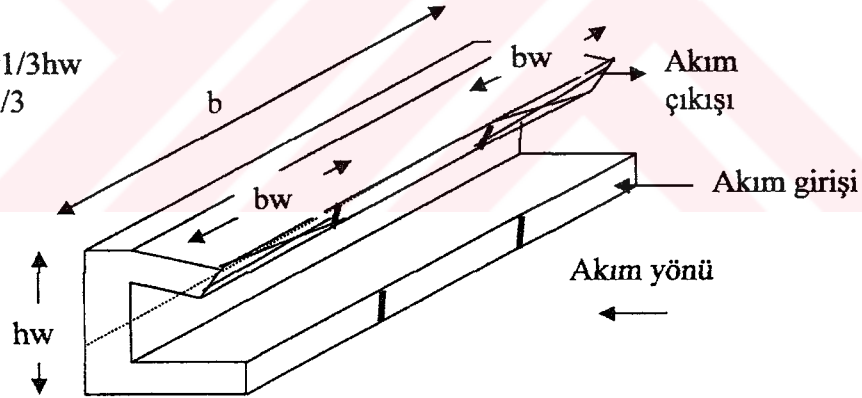
Şekil 4.11. 11. deneyde kullanılan 2. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.12. 11. deneyde kullanılan 2. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,14	0,49	0,821	9,89
0,030	0,023	4,397	0,16	0,65	0,820	9,26
0,040	0,029	4,688	0,17	0,81	0,823	8,79

12. Deney sonucu

$$\begin{aligned} h_w &= 2h_1 \\ h_g &= h_c = 1/3 h_w \\ b_w/b &= 2/3 \end{aligned}$$



Şekil 4.12. 12. deneyde kullanılan 2. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.13. 12. deneyde kullanılan 2. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

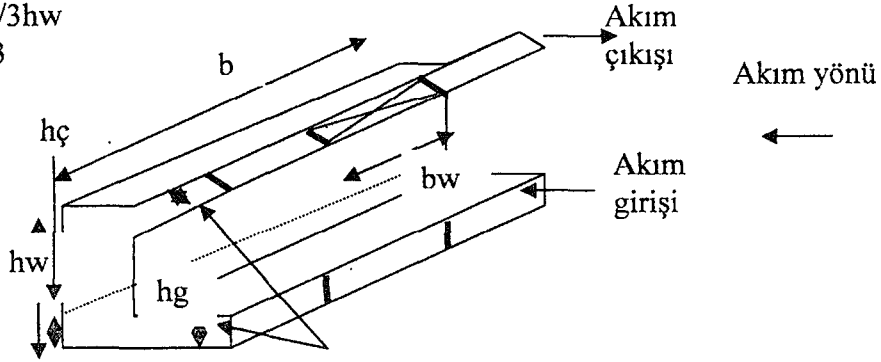
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,13	0,53	0,830	9,89
0,030	0,023	4,397	0,16	0,65	0,820	9,26
0,040	0,029	4,688	0,19	0,73	0,811	8,79

13. Deney sonucu

$$hw = 4h_1$$

$$hg = hç = 1/3hw$$

$$bw/b = 1/3$$



Şekil 4.13. 13. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.14. 13. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

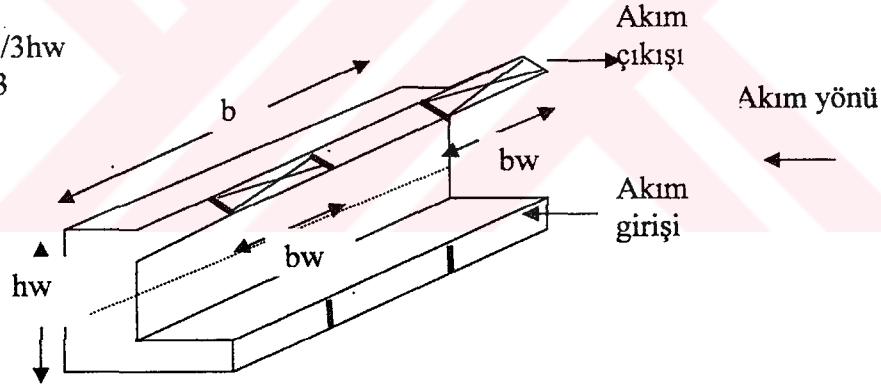
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,843	12,67
0,020	0,017	4,042	0,14	0,49	0,821	9,89
0,030	0,023	4,397	0,15	0,69	0,827	9,26
0,040	0,029	4,688	0,16	0,86	0,828	8,79

14. Deney sonucu

$$hw = 4h_1$$

$$hg = hç = 1/3hw$$

$$bw/b = 2/3$$



Şekil 4.14. 14. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.15. 14. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

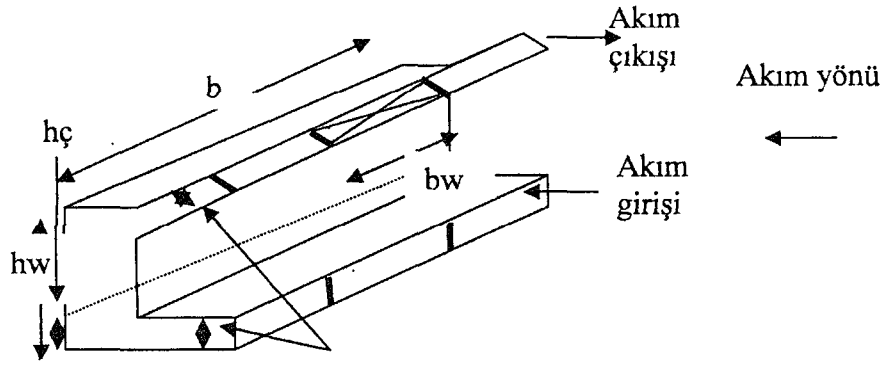
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,16	0,22	0,777	12,67
0,020	0,017	4,042	0,16	0,43	0,801	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,27	0,51	0,754	8,79

15. Deney sonucu

$$h_w = 3h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 1/3$$



Şekil 4.15. 15. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.16. 15. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

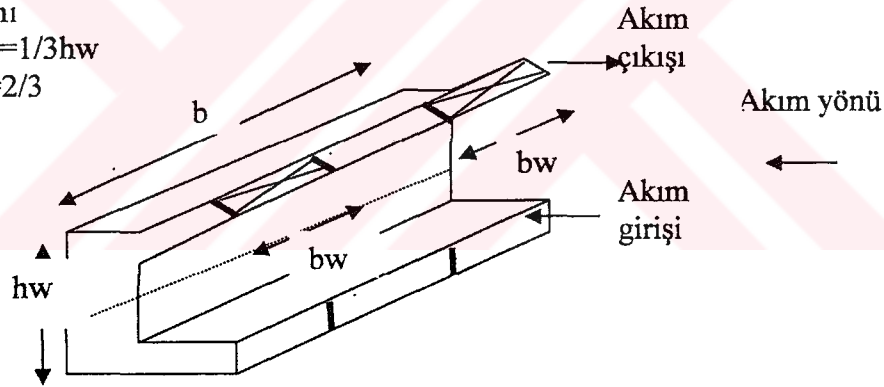
$Q \text{ (m}^3/\text{sn)}$	$h_1 \text{ (m)}$	$V_1 \text{ (m/sn)}$	$h_2 \text{ (m)}$	$V_2 \text{ (m/sn)}$	$(E_1-E_2)/E_1$	Fr_1
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,17	0,61	0,813	9,26
0,040	0,029	4,688	0,17	0,81	0,823	8,79

16. Deney sonucu

$$h_w = 3h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 2/3$$



Şekil 4.16. 16. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.17. 16. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

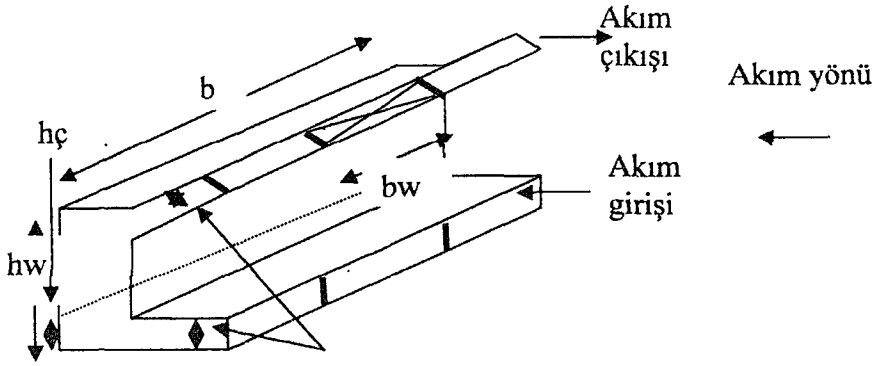
$Q \text{ (m}^3/\text{sn)}$	$h_1 \text{ (m)}$	$V_1 \text{ (m/sn)}$	$h_2 \text{ (m)}$	$V_2 \text{ (m/sn)}$	$(E_1-E_2)/E_1$	Fr_1
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,12	0,58	0,839	9,89
0,030	0,023	4,397	0,17	0,61	0,813	9,26
0,040	0,029	4,688	0,24	0,58	0,777	8,79

17. Deney sonucu

$$h_w = 2h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 1/3$$



Şekil 4.17. 17. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.18. 17. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

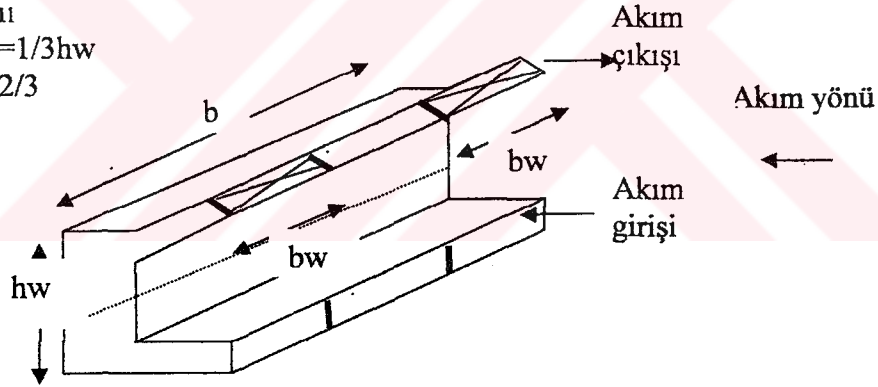
Q (m³/sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,843	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,17	0,61	0,813	9,26
0,040	0,029	4,688	0,18	0,77	0,817	8,79

18. Deney sonucu

$$h_w = 2h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 2/3$$

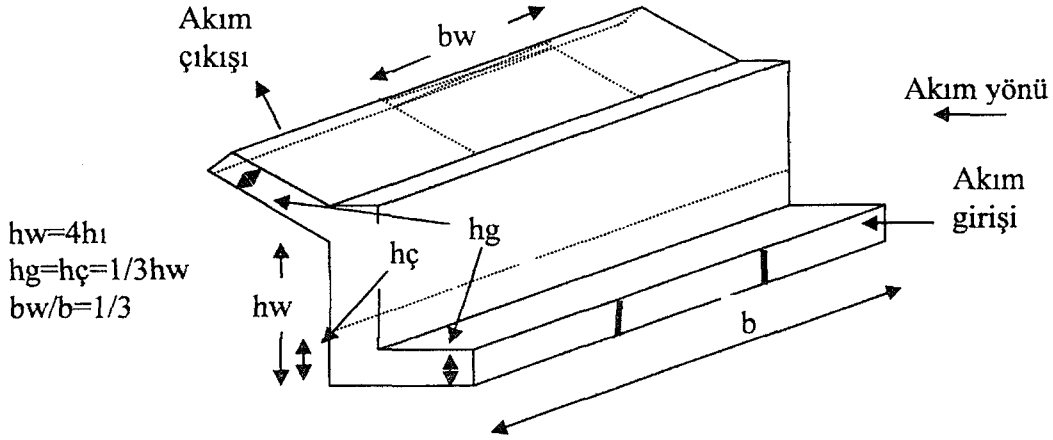


Şekil 4.18. 18. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.19. 18. deneyde kullanılan 3. tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m³/sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,13	0,27	0,817	12,67
0,020	0,017	4,042	0,14	0,49	0,821	9,89
0,030	0,023	4,397	0,15	0,69	0,827	9,26
0,040	0,029	4,688	0,20	0,69	0,805	8,79

19.Deney sonucu

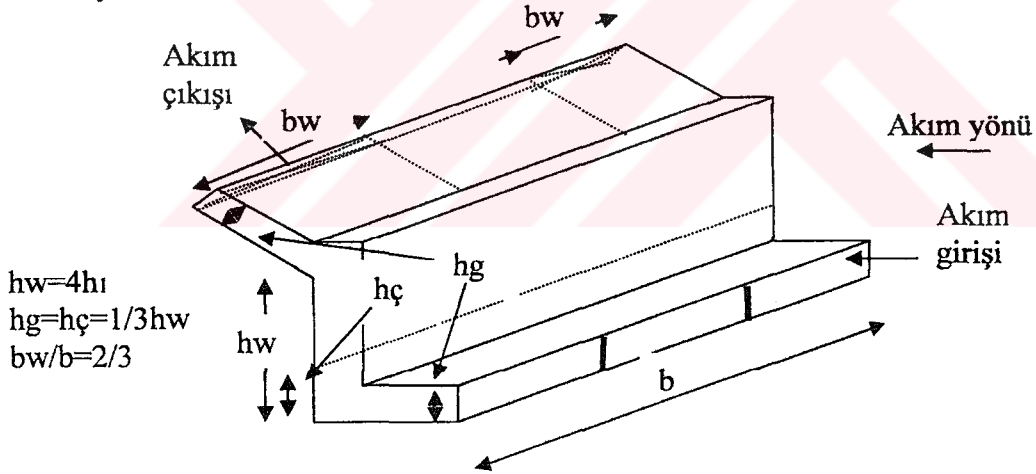


Şekil 4.19. 19.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.20. 19.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,13	0,27	0,817	12,67
0,020	0,017	4,042	0,17	0,41	0,790	9,89
0,030	0,023	4,397	0,23	0,45	0,762	9,26
0,040	0,029	4,688	0,23	0,60	0,784	8,79

20.Deney sonucu

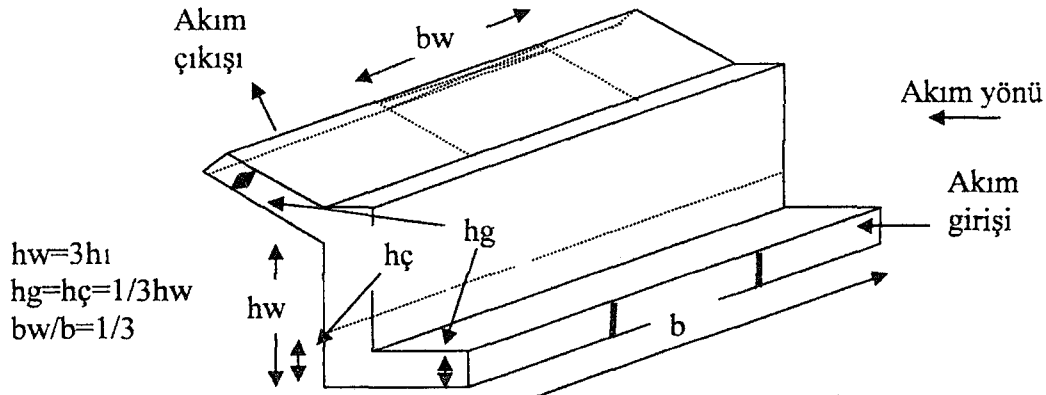


Şekil 4.20. 20.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.21. 20.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,14	0,25	0,804	12,67
0,020	0,017	4,042	0,16	0,43	0,801	9,89
0,030	0,023	4,397	0,26	0,40	0,734	9,26
0,040	0,029	4,688	0,29	0,48	0,738	8,79

21.Deney sonucu

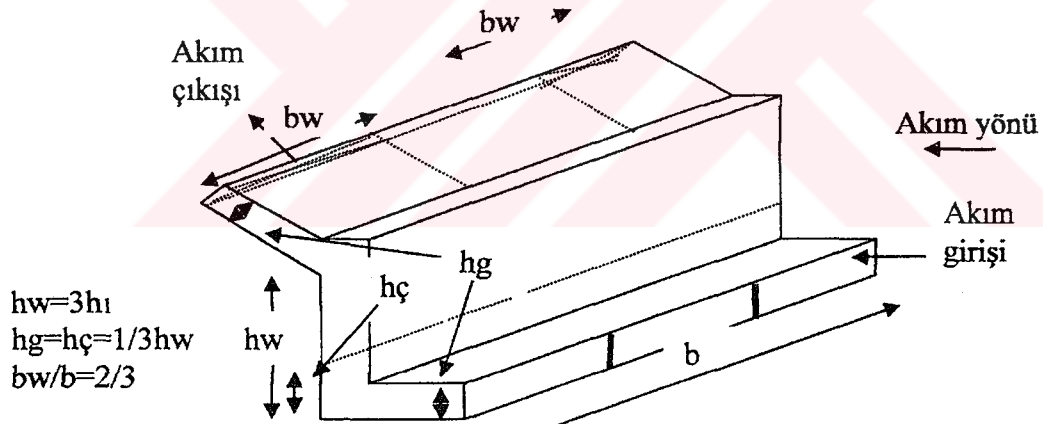


Şekil 4.21. 21.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.22. 21.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,16	0,22	0,777	12,67
0,020	0,017	4,042	0,17	0,41	0,790	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,779	9,26
0,040	0,029	4,688	0,24	0,58	0,776	8,79

22.Deney sonucu

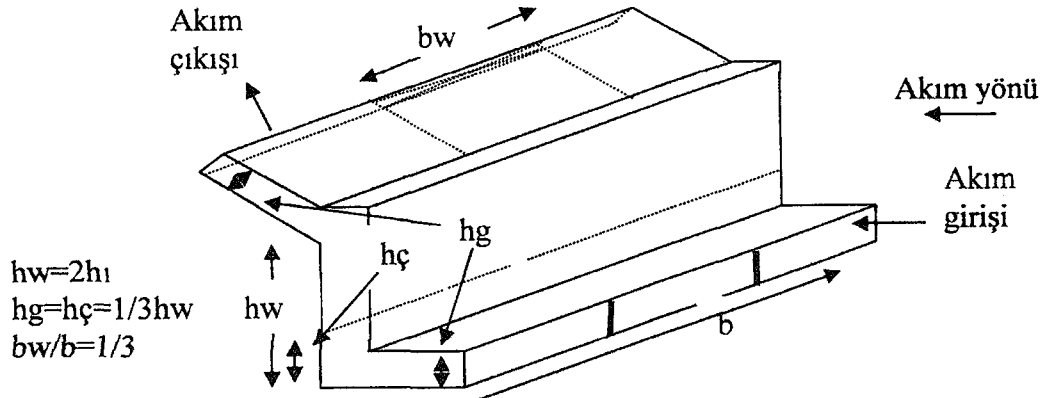


Şekil 4.22. 22.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.23. 22.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,13	0,27	0,817	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,22	0,63	0,791	8,79

23.Deney sonucu

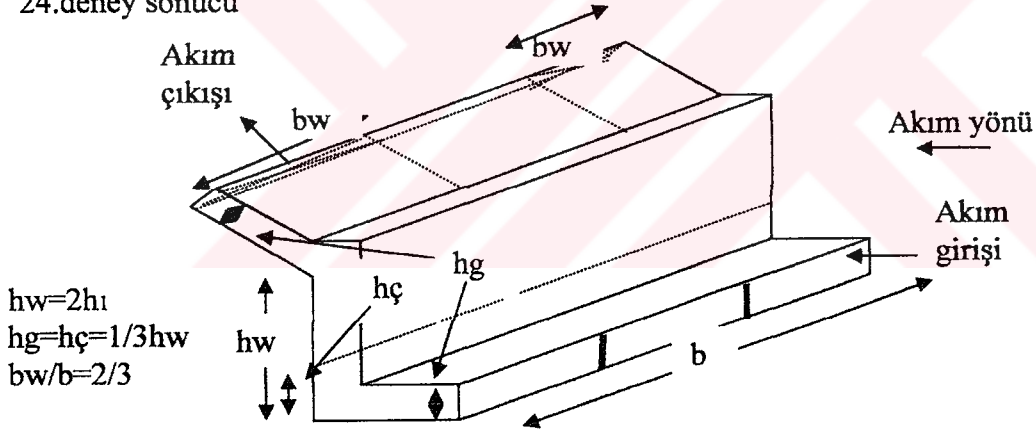


Şekil 4.23. 23.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.24. 23.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m³/sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,18	0,19	0,751	12,67
0,020	0,017	4,042	0,19	0,36	0,769	9,89
0,030	0,023	4,397	0,20	0,52	0,788	9,26
0,040	0,029	4,688	0,22	0,63	0,791	8,79

24.deney sonucu



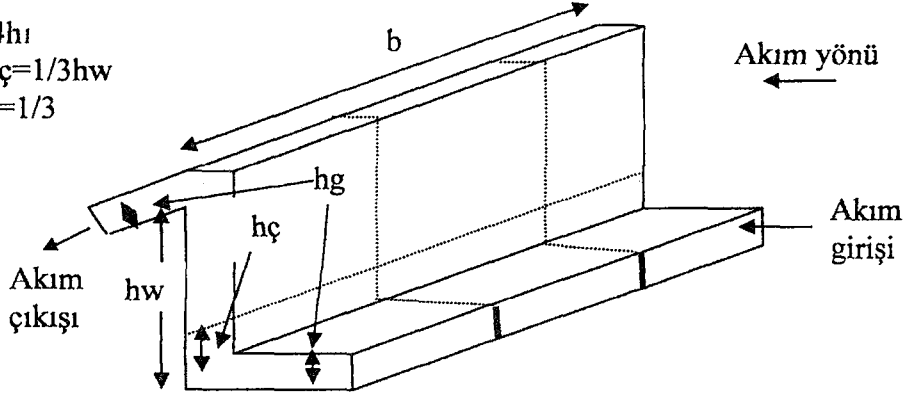
Şekil 4.24. 24.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.25. 24.deneyde kullanılan 4.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m³/sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,12	0,58	0,839	9,89
0,030	0,023	4,397	0,17	0,61	0,812	9,26
0,040	0,029	4,688	0,26	0,53	0,761	8,79

25. Deney sonucu

$$\begin{aligned} hw &= 4h_1 \\ hg &= h_ç = 1/3hw \\ bw/b &= 1/3 \end{aligned}$$



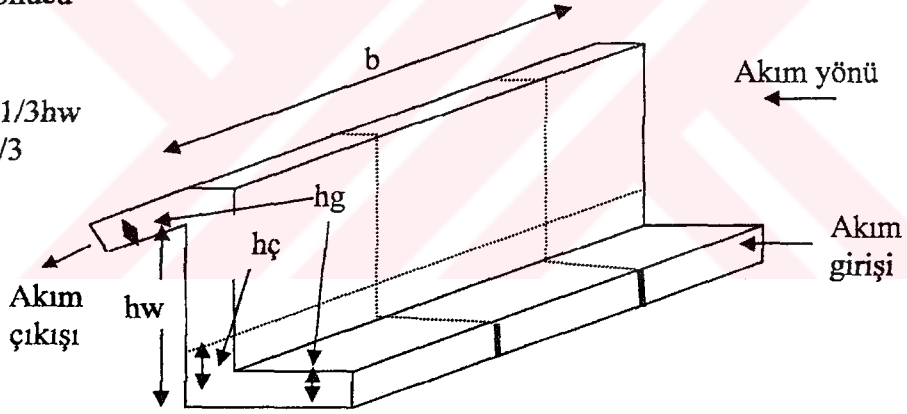
Şekil 4.25. 25.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.26. 25.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,843	12,67
0,020	0,017	4,042	0,12	0,58	0,839	9,89
0,030	0,023	4,397	0,26	0,40	0,734	9,26
0,040	0,029	4,688	0,29	0,48	0,738	8,79

26. Deney sonucu

$$\begin{aligned} hw &= 4h_1 \\ hg &= h_ç = 1/3hw \\ bw/b &= 2/3 \end{aligned}$$



Şekil 4.26. 26.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.27. 26.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

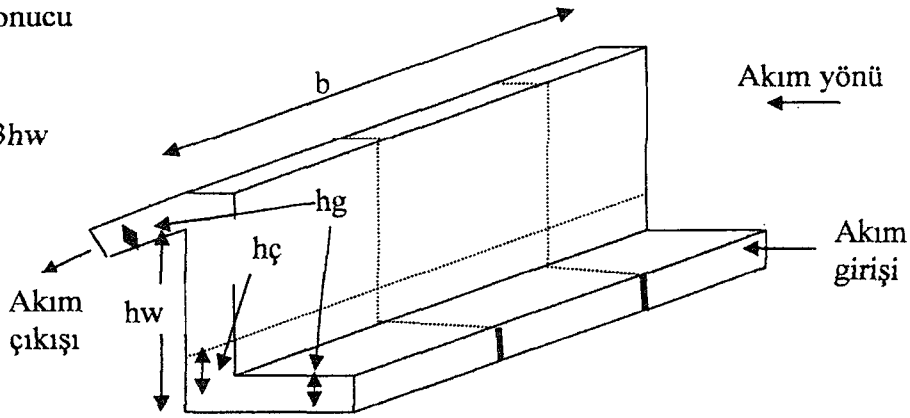
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,16	0,22	0,777	12,67
0,020	0,017	4,042	0,17	0,41	0,790	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,22	0,63	0,791	8,79

27.Deney sonucu

$$hw=3h_1$$

$$hg=hç=1/3hw$$

$$bw/b=1/3$$



Şekil 4.27. 27.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.28. 27.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

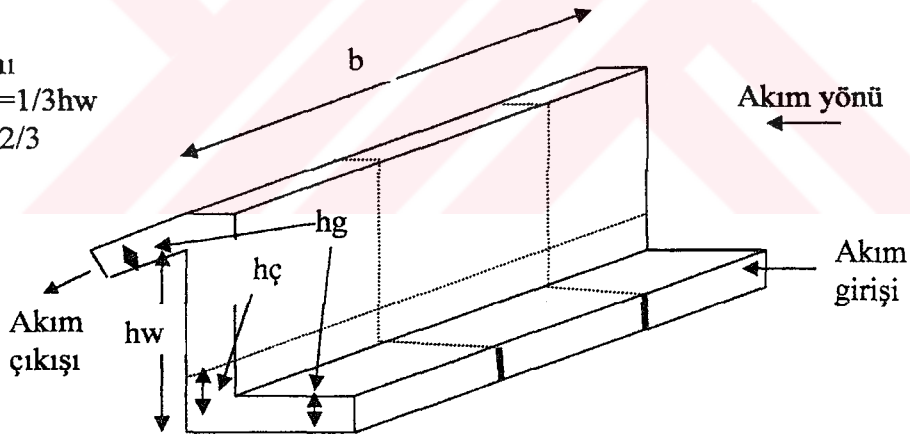
Q (m³/sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,12	0,58	0,839	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,27	0,51	0,754	8,79

28.Deney sonucu

$$hw=3h_1$$

$$hg=hç=1/3hw$$

$$bw/b=2/3$$



Şekil 4.28. 28.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.29. 28.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

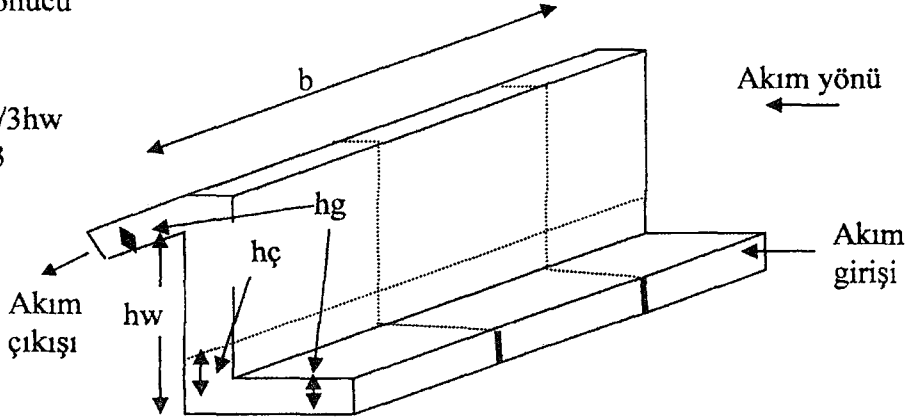
Q (m³/sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,12	0,58	0,839	9,89
0,030	0,023	4,397	0,14	0,74	0,833	9,26
0,040	0,029	4,688	0,18	0,77	0,817	8,79

29. Deney sonucu

$$h_w = 2h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 1/3$$



Şekil 4.29. 29.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.30. 29.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

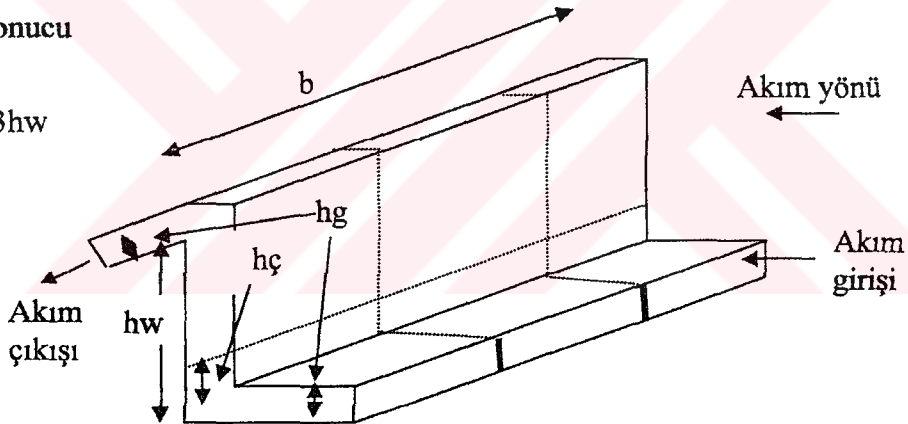
Q (m³/sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,17	0,20	0,764	12,67
0,020	0,017	4,042	0,17	0,41	0,790	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,779	9,26
0,040	0,029	4,688	0,24	0,58	0,777	8,79

30. Deney sonucu

$$h_w = 2h_1$$

$$h_g = h_c = 1/3 h_w$$

$$b_w/b = 2/3$$

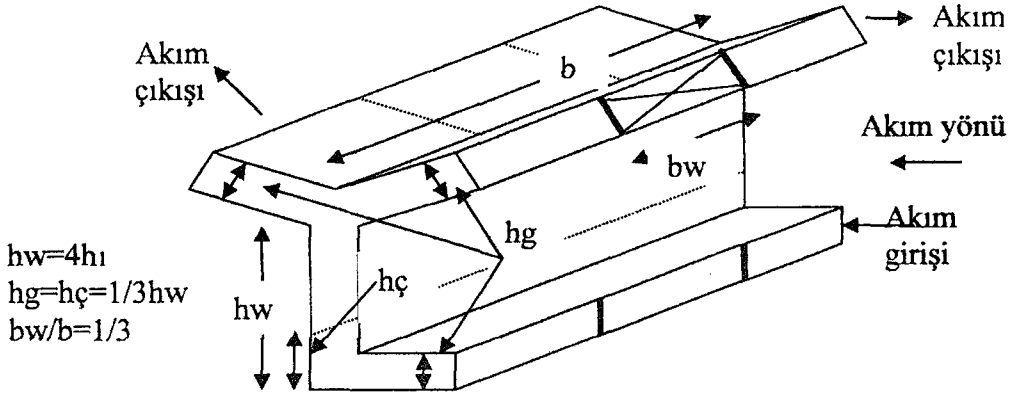


Şekil 4.30. 30.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.31. 30.deneyde kullanılan 5.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m³/sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,14	0,49	0,821	9,89
0,030	0,023	4,397	0,15	0,69	0,827	9,26
0,040	0,029	4,688	0,17	0,81	0,823	8,79

31.Deney sonucu

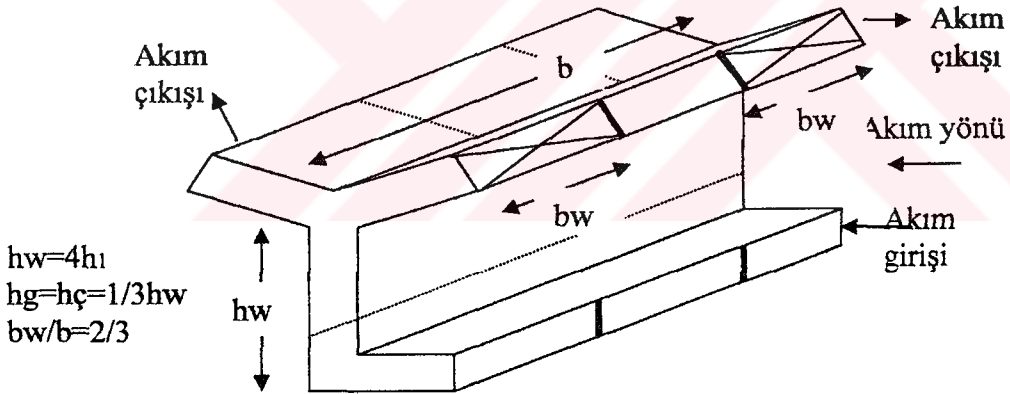


Şekil 4.31. 31.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.32. 31.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m³/sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,10	0,35	0,855	12,67
0,020	0,017	4,042	0,13	0,53	0,830	9,89
0,030	0,023	4,397	0,23	0,45	0,762	9,26
0,040	0,029	4,688	0,31	0,45	0,721	8,79

32.Deney sonucu

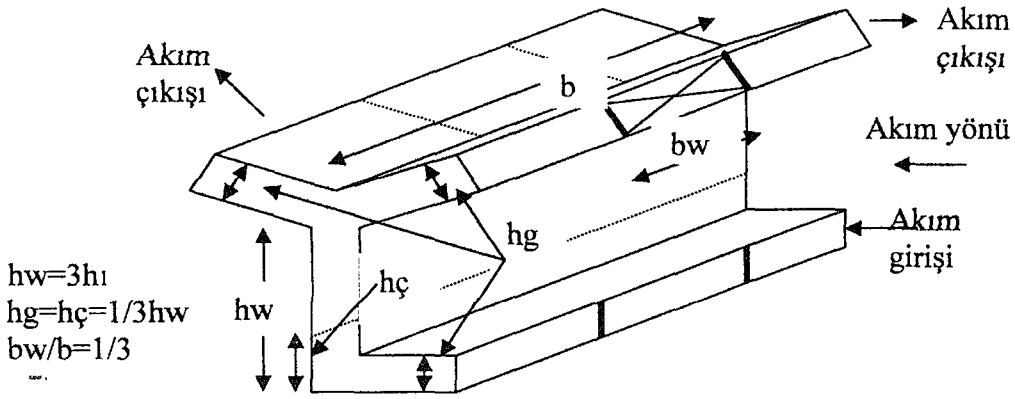


Şekil 4.32. 32.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.33. 32.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m³/sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,15	0,23	0,791	12,67
0,020	0,017	4,042	0,16	0,43	0,801	9,89
0,030	0,023	4,397	0,22	0,47	0,771	9,26
0,040	0,029	4,688	0,32	0,43	0,714	8,79

33.Deney sonucu

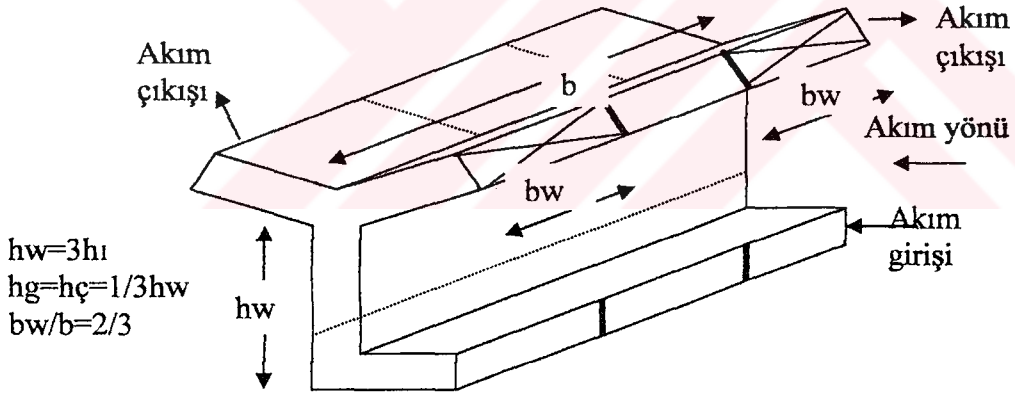


Şekil 4.33. 33.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.34. 33.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,11	0,31	0,843	12,67
0,020	0,017	4,042	0,13	0,53	0,830	9,89
0,030	0,023	4,397	0,14	0,74	0,833	9,26
0,040	0,029	4,688	0,16	0,86	0,828	8,79

34.Deney sonucu

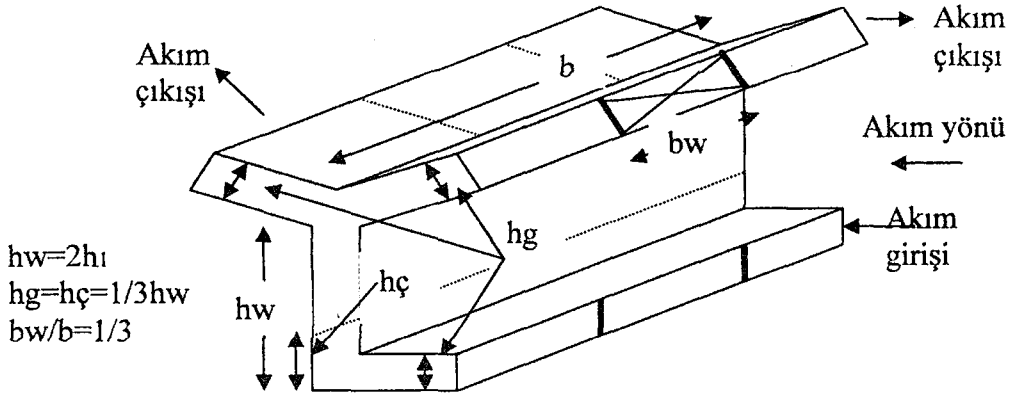


Şekil 4.34. 34.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.35. 34.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,16	0,43	0,801	9,89
0,030	0,023	4,397	0,18	0,57	0,805	9,26
0,040	0,029	4,688	0,26	0,53	0,761	8,79

35.Deney sonucu

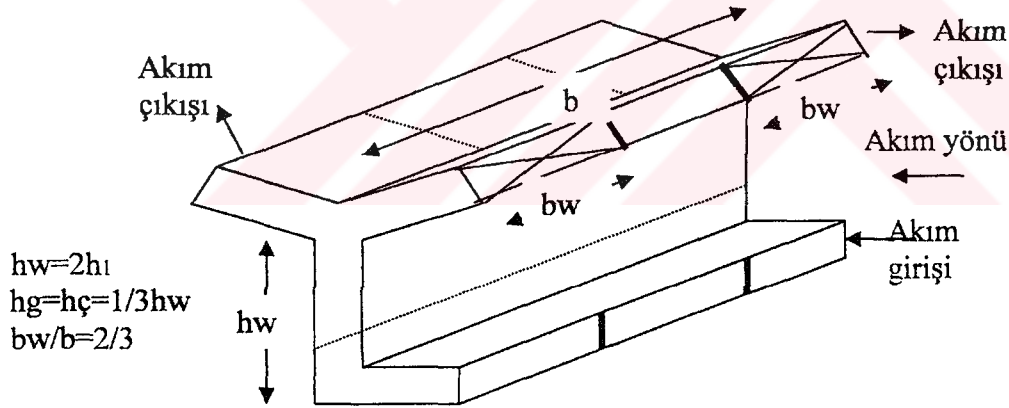


Şekil 4.35. 35.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.36. 35.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,17	0,20	0,764	12,67
0,020	0,017	4,042	0,18	0,38	0,780	9,89
0,030	0,023	4,397	0,19	0,54	0,797	9,26
0,040	0,029	4,688	0,26	0,53	0,761	8,79

36.Deney sonucu

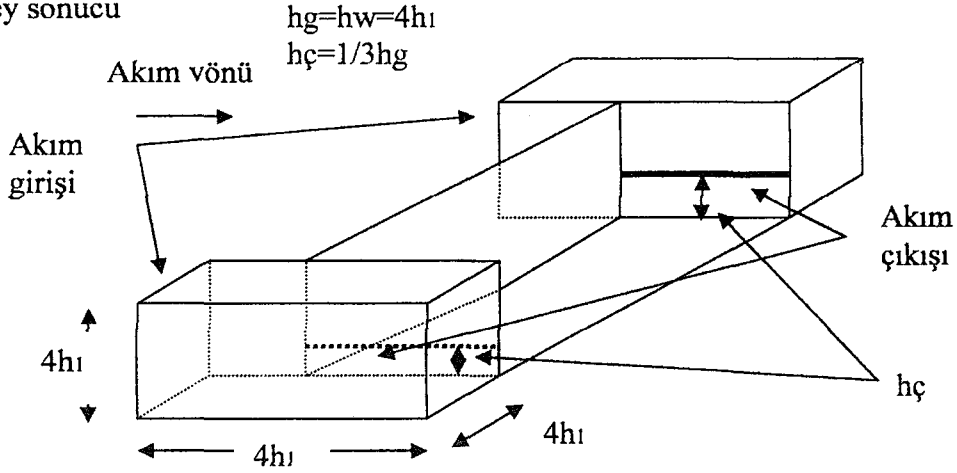


Şekil 4.36. 36.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.37. 36.deneyde kullanılan 6.tip enerji kırıcı blok deney sonucu

Q (m ³ /sn)	h1 (m)	V1 (m/sn)	h2 (m)	V2 (m/sn)	(E1-E2)/E1	Fr1
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,13	0,53	0,830	9,89
0,030	0,023	4,397	0,16	0,65	0,820	9,26
0,040	0,029	4,688	0,20	0,69	0,805	8,79

37.Deney sonucu

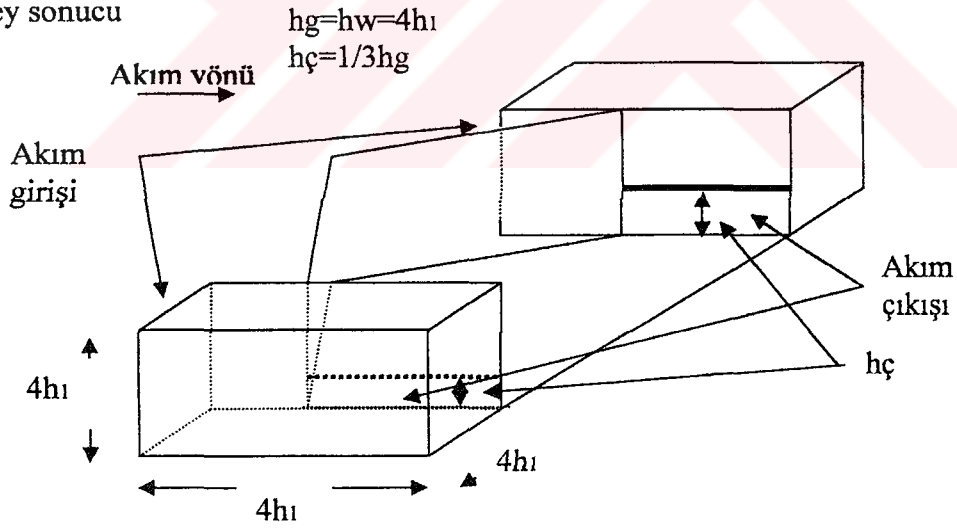


Şekil 4.37. 37.deneyde kullanılan 7.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.38. 37. deneyde kullanılan 7. tip enerji kırıcı blok deneyi sonucu

Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,15	0,46	0,811	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,22	0,63	0,791	8,79

38.Deney sonucu



Şekil 4.38. 38.deneyde kullanılan 8.tip enerji kırıcı blok

Tablo 4.39. 38.deneyde kullanılan 8.tip enerji kırıcı blok deneyi sonucu

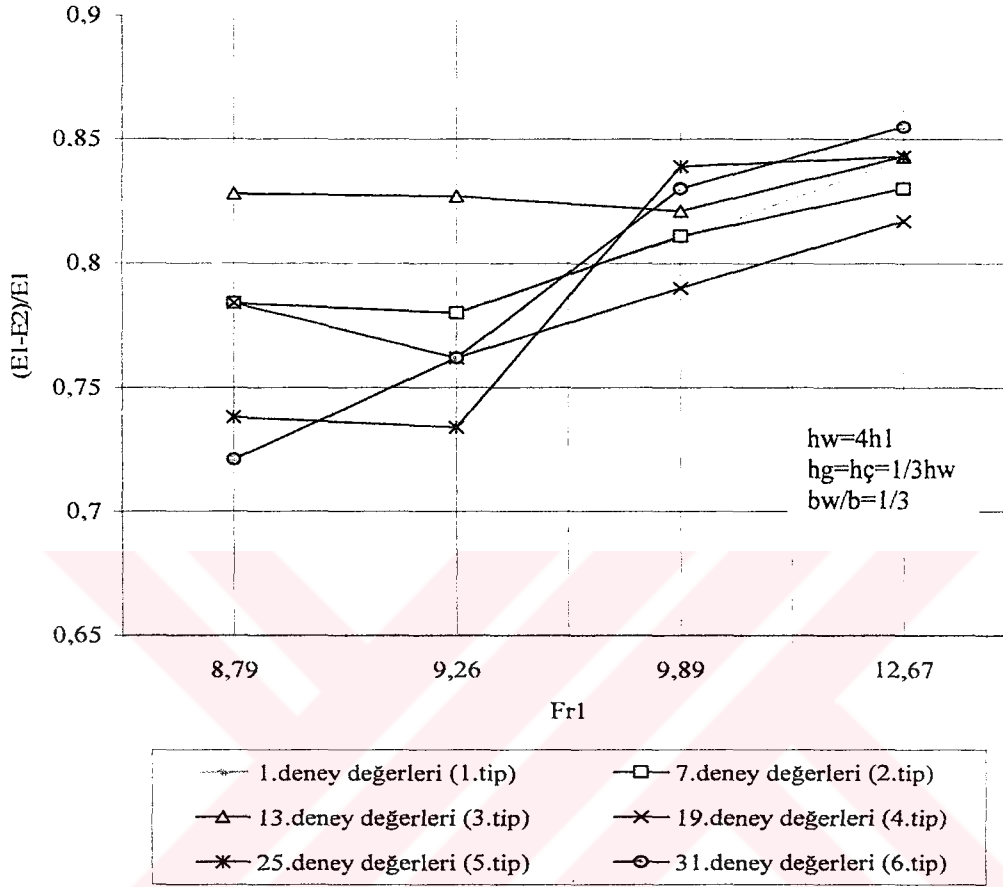
Q (m ³ /sn)	h ₁ (m)	V ₁ (m/sn)	h ₂ (m)	V ₂ (m/sn)	(E ₁ -E ₂)/E ₁	Fr ₁
0,010	0,009	3,766	0,12	0,29	0,830	12,67
0,020	0,017	4,042	0,13	0,53	0,830	9,89
0,030	0,023	4,397	0,21	0,49	0,780	9,26
0,040	0,029	4,688	0,27	0,51	0,754	8,79

Tablo 4.40. Deney sonuçlarından elde edilen eğrilerin eğimi

Deney numarası	Uydurulan eğrinin eğimi	Deney numarası	Uydurulan eğrinin eğimi
1	0,015758	20	0,016909
2	0,015589	21	0,000639
3	0,005632	22	0,007729
4	0,012854	23	0,010182
5	0,006460	24	0,011889
6	0,006816	25	0,026645
7	0,012394	26	-0,002778
8	0,005624	27	0,016095
9	0,009931	28	0,000638
10	0,010109	29	-0,004186
11	0,002299	30	-0,000595
12	0,003843	31	0,029912
13	0,004470	32	0,013261
14	0,002426	33	0,003618
15	0,003278	34	0,013680
16	0,009695	35	-0,003263
17	0,007793	36	0,004745
18	0,000704	37	0,011341
19	0,011417	38	0,016355

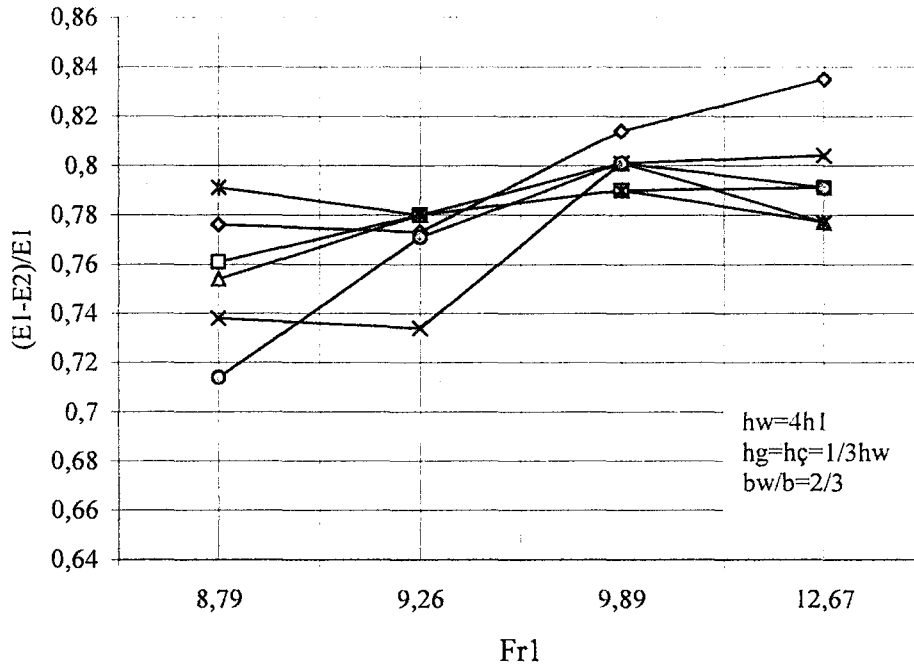
Tablo 4.40.'da deney numaraları ve bu deneylerde elde edilen verilere göre statistica programı ile elde edilen eğimler verilmiştir. Bu tabloya göre Fr sayısının artan değerlerine karşılık en iyi performans gösteren tip 31. deneyde kullanılan enerji kırıcı tiptir.

Şekil 4.39.'dan Şekil 4.50.'e kadar enerji kırıcı yapıların enerji sönümlenme oranlarının Fr_1 ile değişimleri verilmektedir.



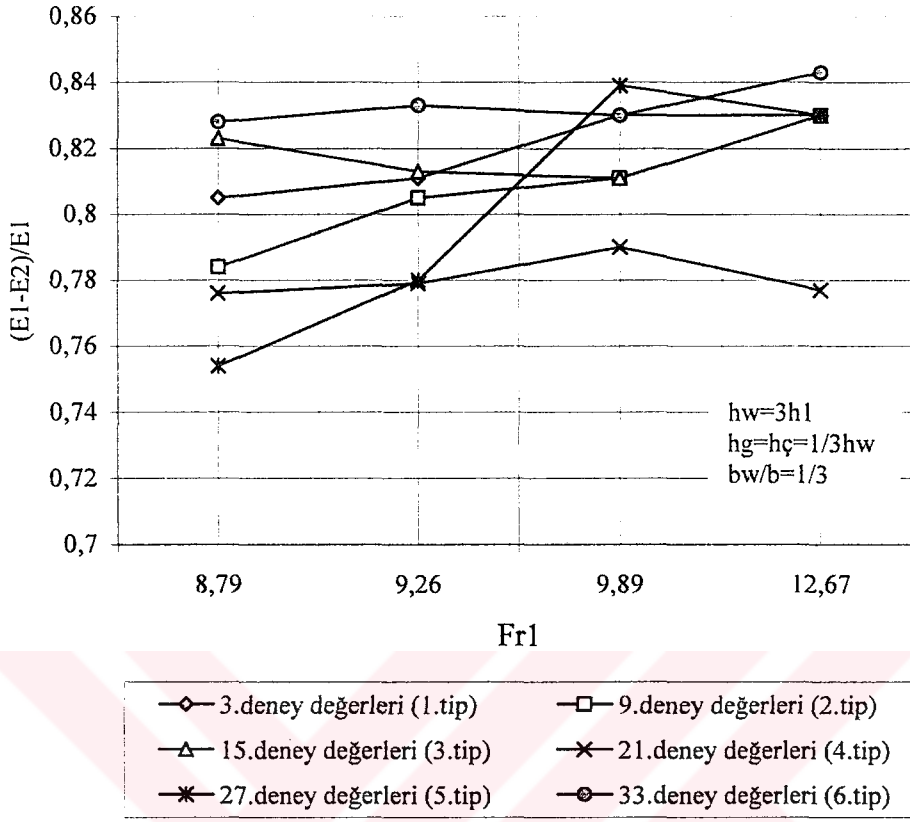
Şekil 4.39. Enerji sönümlenme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil 4.39.'de 1., 7., 13., 19., 25. ve 31. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda $hw=4h_1$, $hg=hç=1/3hw$, $bw/b=1/3$ 'dür. Bu grafiğe göre, enerji sönümlenme oranı en iyi olan yapı 13. deneyde kullanılan yapıdır. Froude sayısının ikinci aralığında enerji sönümlenme oranı ihmal edilebilir düzeyde düşmekle beraber, üçüncü aralıkta artış göstermiştir. 7., 19. ve 25. deneyde kullanılan yapıların Froude sayısının ilk aralığında enerji sönümlenme oranları düşmüş, diğer aralıklarda artmaya başlamıştır. 25. ve 31. deneylerde kullanılan yapıların son aralıktaki enerji sönümlenme oranları 13. deneyde kullanılan yapıdan daha iyidir. Genel olarak, bu grafiğe dahil olan bütün enerji kırıcı yapıların Froude sayısının son aralığında performansları artmaktadır.



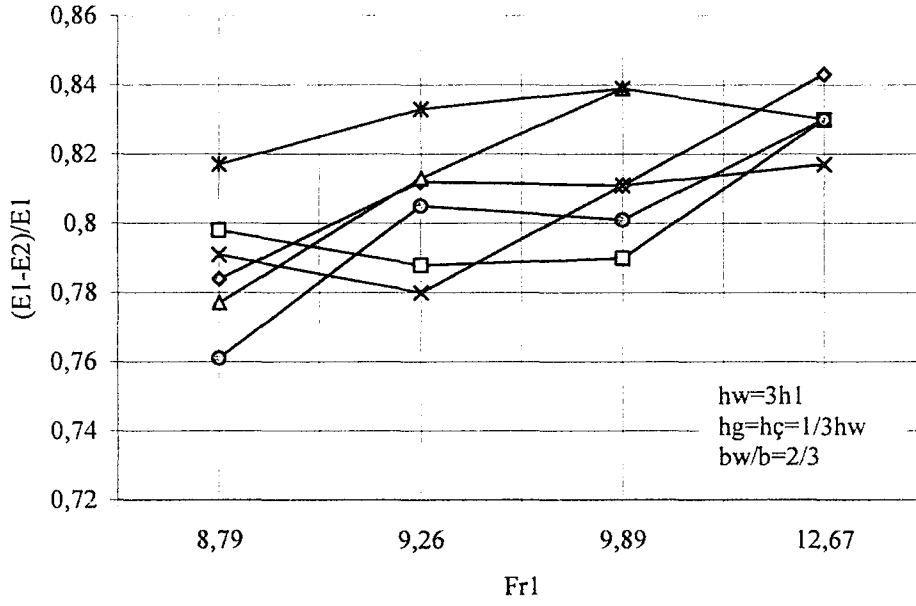
Şekil 4.40. Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil 4.40'de 2., 8., 14., 20., 26. ve 32. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda $hw=4h_l$, $hg=h_ç=1/3 hw$, $bw/b=2/3$ 'dür. Bu grafiğe göre, enerji sönümlleme oranı en iyi olan yapı 2. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapıdır. 14., 8. ve 26. deney tiplerinde Froude sayısı artımına karşılık enerji sönümlleme oranları çok büyük farklılık göstermemektedir. 2. tip hem düşük Froude sayılarında hem de büyük Fr sayılarında iyi bir enerji sönümlemesi sağlamaktadır. 14. deneyde kullanılan yapı, 8. deneyde kullanılan tiplerle benzer sonuçlar vermektedir. Enerji sönümlleme oranı düşük Fr sayılarında diğerlerine göre daha eksik olan yapı 32. deneyde kullanılan yapıdır. Fr sayısının 9,89'dan sonraki değerleri için performansı gittikçe azalmaktadır.



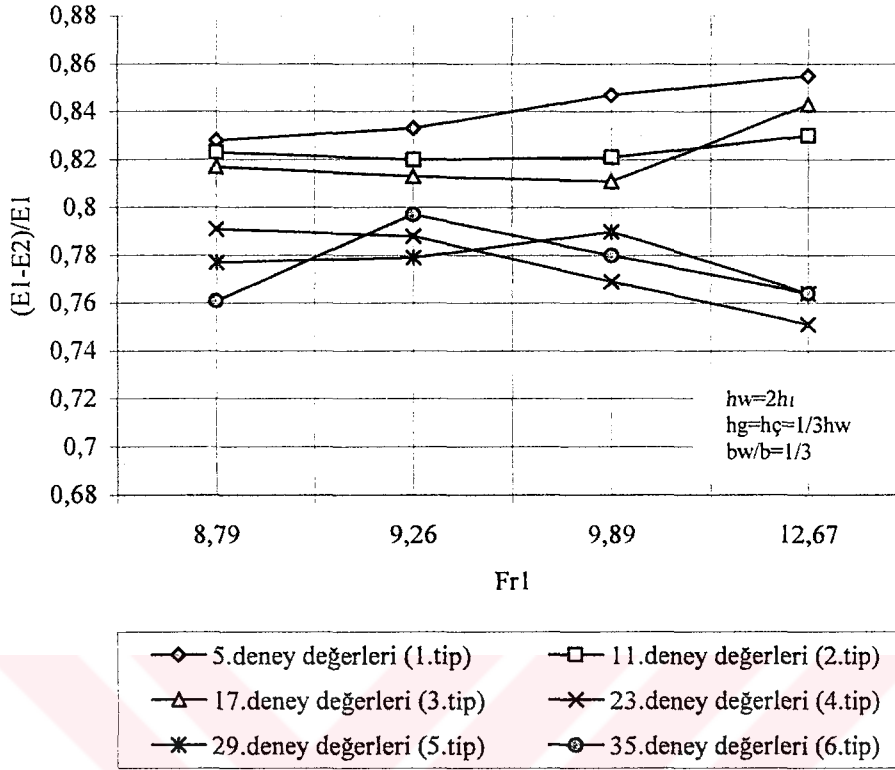
Şekil 4.41. Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil 4.41.'da 3., 9., 15., 21., 27. ve 33. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda $hw=3h_1$, $hg=hç=1/3 hw$, $bw/b=1/3$ 'dür. Bu grafiğe göre, enerji sönümlleme oranı en iyi olan yapı 33. deneyde kullanılan yapıdır. Bu grupta 21. deneydeki enerji kırıcı tip hariç diğer enerji kırıcı tiplerin aynı Fr_1 sayısının 12,67 değeri için sönümlleme oranları birbirine yakındır. Bu grupta genel olarak, bu grafiğe dahil olan bütün enerji kırıcı yapılar, Froude sayısının artışıyla beraber enerji sönümlleme oranı artan bir özellik göstermemektedirler. Fakat, büyük debilerde değişiklik göstermektedirler. 33. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapının enerji sönümlleme oranı Fr sayısının değişimi ile fazla bir değişiklik göstermemektedir.



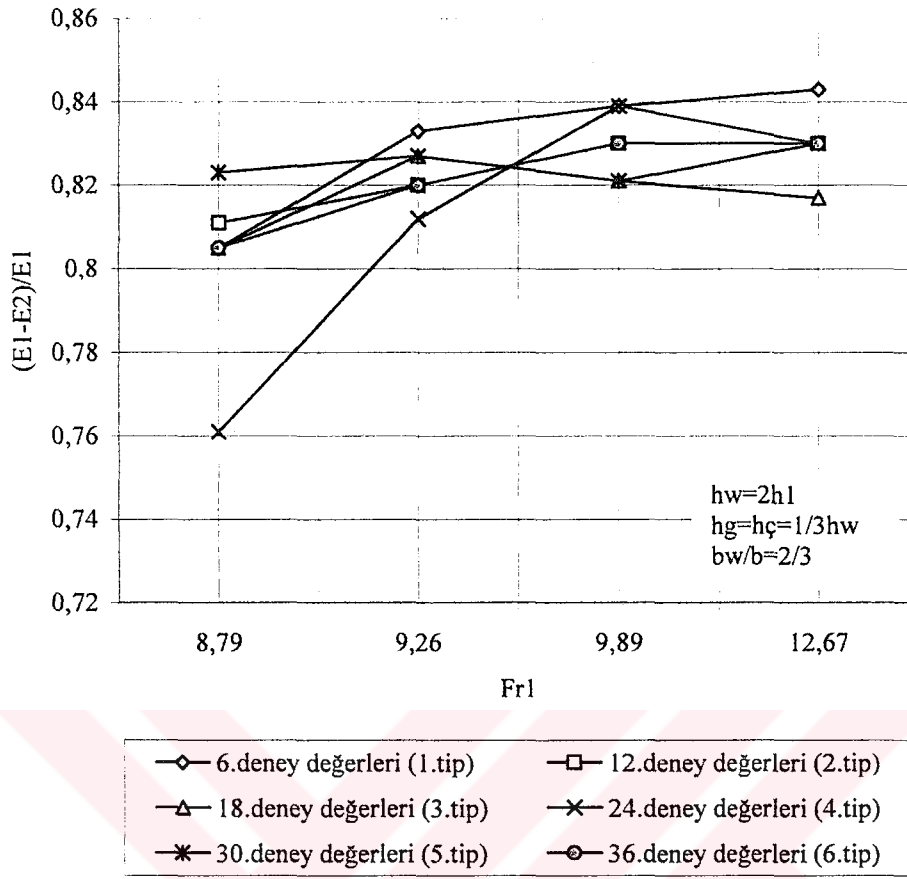
Şekil 4.42. Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil 4.42.'de 4., 10., 16., 22., 28. ve 34. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda $hw=3h_1$, $hg=hç=1/3 hw$, $ba/b=2/3$ 'dür. Bu grafiğe göre, enerji sönümlleme oranı en iyi olan yapı 28. deneyde kullanılan yapıdır ve Froude sayısının artışıyla enerji sönümlleme oranı da giderek artmakta, fakat fazla bir değişiklik göstermemektedir. Enerji sönümlleme oranı diğerlerine göre daha düşük olan yapı Fr sayısının ilk aralığında 34. deney de kullanılan yapı ve son iki aralıkta 10. deneyde kullanılan yapıdır. Bu grupta da Fr_1 sayısının 12'den büyük değerlerinde hepsi hemen hemen aynı performansı göstermektedir. Buradaki enerji kırıcıların enerji sönümlleme oranları fazla farklılık göstermemektedir.



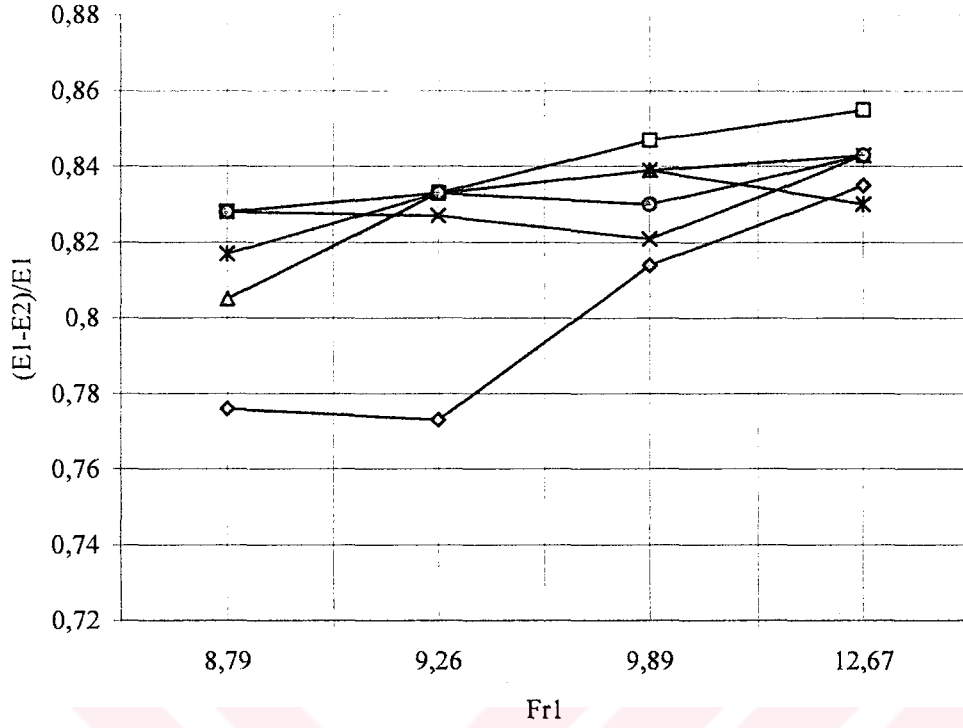
Şekil 4.43. Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil 4.43’de 5., 11., 17., 23., 29. ve 35. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda $hw=2h_1$, $hg=hç=1/3 hw$, $bw/b=1/3$ ’dür. Bu grafiğe göre, enerji sönümlleme oranı en iyi olan yapı 5. deneyde kullanılan yapıdır. Froude sayısının 8.79 , 9.26 , 9.89 , 12.67 olduğu aralıklarda performansı giderek artmakla beraber son iki aralıktaki peformansı daha iyidir. Enerji sönümlleme oranı diğerlerine göre daha düşük olan yapı 23. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapıdır. 17. ve 11. deneylerde kullanılan yapılarda elde edilen veriler genellikle birbirine yakındır.



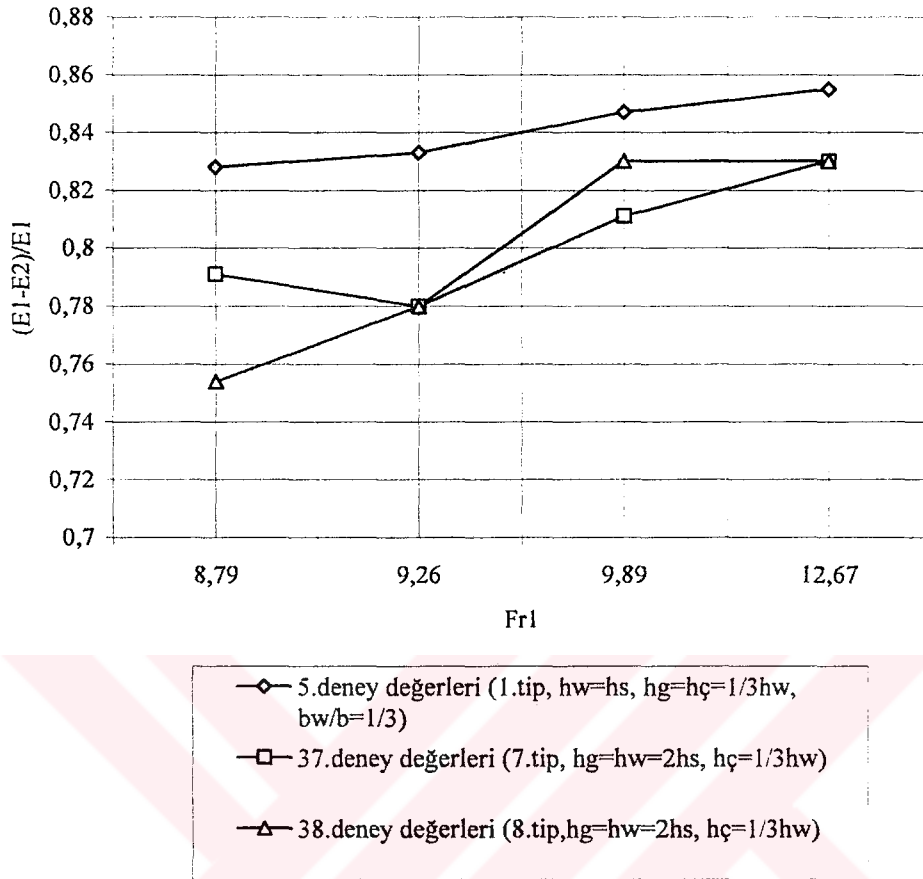
Şekil 4.44. Enerji sönmüleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil.4.44’de 6., 12., 18., 24., 30. ve 36. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda $hw=2h_1$, $h_ç=h_g=1/3 h_w$, $bw/b=2/3$ ’dür. Bu grupta kullanılan enerji kırıcı yapılarda elde edilen veriler birbirine çok yakındır. Yani; birbirlerine göre farklı bir etkinlik ve üstünlükleri yoktur. Yalnız düşük Fr sayısında 24. deney tipinin performansı diğerlerine göre oldukça düşüktür.



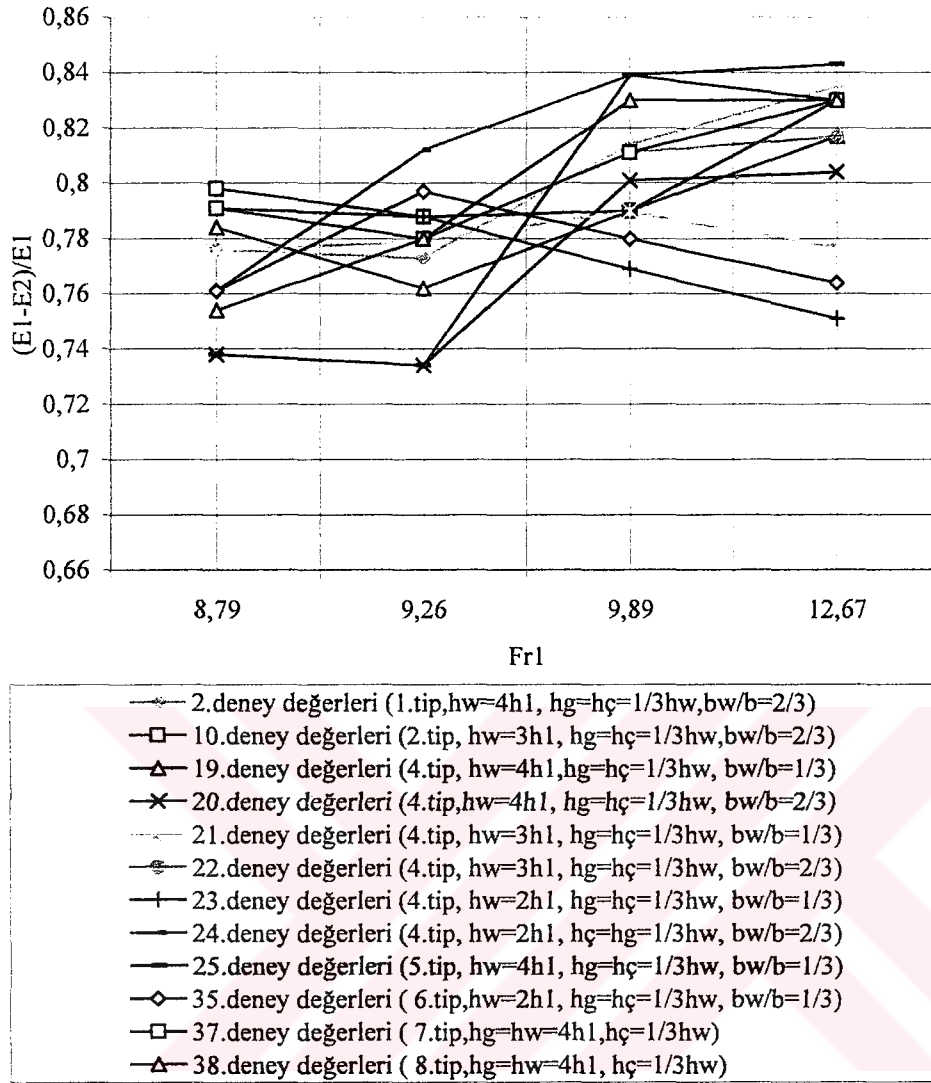
Şekil.4.45. Enerji sönümlleme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil.4.45’de daha önceki grafiklerden elde edilen en iyi enerji kırıcıların enerji sönümlleme oranları karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre, yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi enerji kırıcı yapı 5. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapıdır. 6. ve 28. deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılar benzer performans göstermekte ve iyi bir sonuç sağlamaktadır. 13. ve 33. deneylerde kullanılan enerji kırıcılarda birbirine yakın sonuçlar sağlamaktadırlar. Fr sayısının bütün değerleri için 2. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapı hariç benzer sonuçlar sağlamaktadır. 2. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapı diğerlerine göre daha düşük enerji sönümlleme oranına sahiptir.



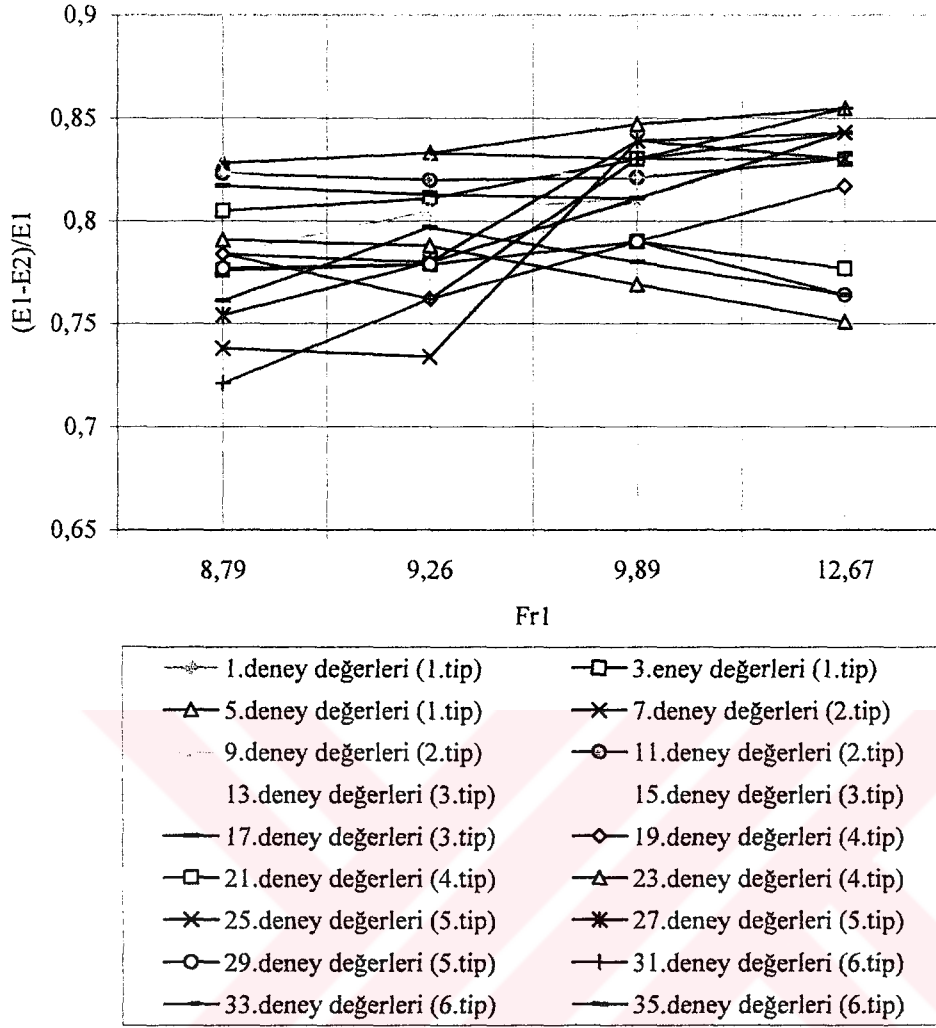
Şekil 4.46. 36 deneyin en verimli olan 5. deney ile 37. ve 38. deneye ait enerji sönmülme oranı ile Fr_1 arasındaki değişim

Şekil 4.46’de 5., 37. ve 38. deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe göre; en iyi enerji kırıcı yapı 5. deneyde kullanılan yapıdır. Genel olarak; burada değerlendirilen enerji kırıcı yapıların enerji sönmülme oranları Froude sayısı ile beraber artmaktadır. 37. ve 38. deneylerde kullanılan enerji kırıcı yapılarda benzer sonuçlar alınmaktadır.



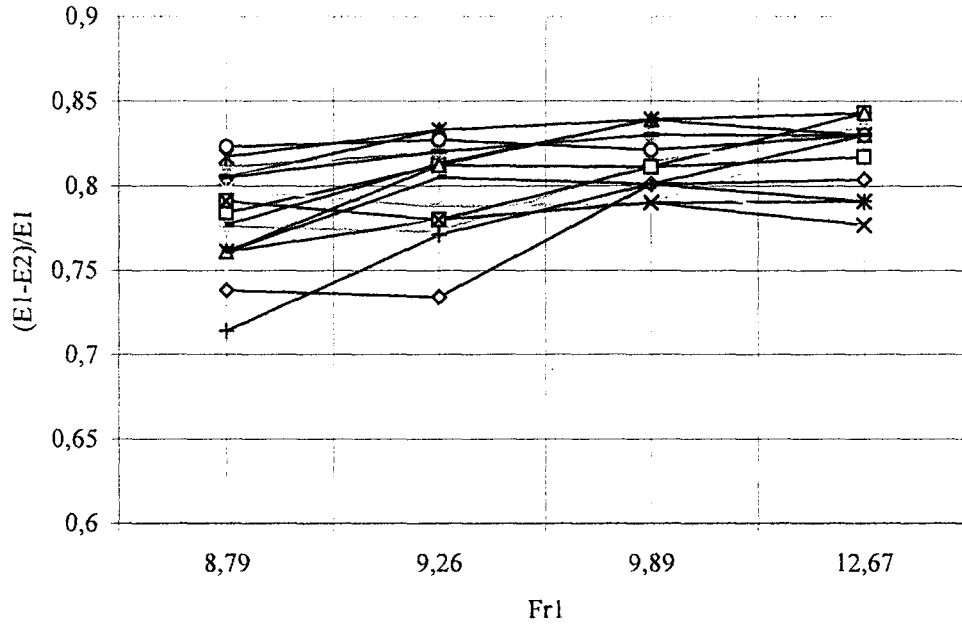
Şekil 4.47. 36 deneyin en verimsiz değerlerine sahip enerji kırıcı yapıların enerji sönmüleme oranlarının Fr_1 ile arasındaki değişim

Şekil 4.47'de daha önceki grafiklerden elde edilen sonuçlara göre enerji sönmüleme oranı en düşük olan enerji kırıcı yapılar karşılaştırılmıştır. Bu grafiğe göre; enerji sönmüleme oranı en düşük olan yapı Fr sayısının 9,89'dan küçük olduğu durumda 20. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapıdır. Froude sayısının 9,26'dan büyük olduğu durumda 23. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapı iyi sonuç vermemektedir. Genel olarak; 4.tip enerji kırıcı yapı kullanılmaya elverişli değildir.



Şekil 4.48. 36 deneyde $bw=1/3b$ olan enerji kırıcı yapıların enerji sönümleme oranlarının Fr_1 ile arasındaki değişim

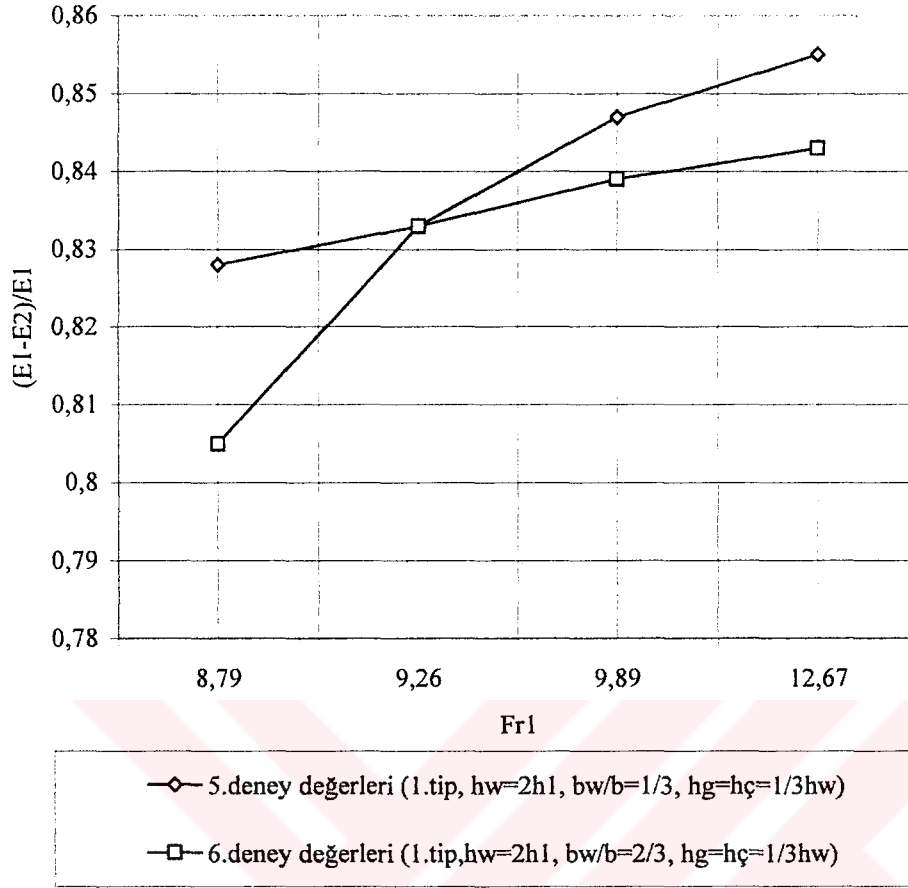
Şekil 4.48’de ortak özellikleri $bw/b=1/3$ olan farklı tipteki enerji kırıcı yapıların enerji sönümleme oranlarının Fr_1 ile değişimi gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, enerji sönümleme oranı en iyi olan yapı 5. deneyde kullanılan yapıdır. Fr_1 ’un 8,79 ile 9,26 olduğu aralıkta enerji sönümleme oranı yaklaşık olarak 0,72~0,83 arasında değişmekte ve genel olarak artış göstermektedir. Fr_1 ’in 9,26 ile 9,89 olduğu aralıkta enerji sönümleme oranı yine 0,72~0,83 arasında değişmekte fakat enerji kırıcı yapılar farklı davranışlar göstermektedirler. Fr_1 ’in 9,89 ile 12,67 olduğu aralıkta enerji sönümleme oranı yaklaşık olarak 0,75~0,85 arasında değişmekte ve genel olarak artış göstermektedir.



2.deney değerleri (1.tip)	4.deney değerleri (1.tip)
6.deney değerleri (1.tip)	8.deney değerleri (2.tip)
10.deney değerleri (2.tip)	12.deney değerleri (2.tip)
14.deney değerleri (3.tip)	16.deney değerleri (3.tip)
18.deney değerleri (3.tip)	20.deney değerleri (4.tip)
22.deney değerleri (4.tip)	24.deney değerleri (4.tip)
26.deney değerleri (5.tip)	28.deney değerleri (5.tip)
30.deney değerleri (5.tip)	32.deney değerleri (6.tip)
34.deney değerleri (6.tip)	36.deney değerleri (6.tip)

Şekil 4.49. 36 deneyde $bw/b=2/3$ olan enerji kırıcı yapıların enerji sönmüleme oranlarının Fr_1 ile arasındaki değişim.

Şekil 4.49'de ortak özellikleri $bw/b=2/3$ olan farklı tipteki enerji kırıcı yapıların enerji sönmüleme oranlarının Fr_1 ile değişimi gösterilmiştir. Bu grafiğe göre, enerji sönmüleme oranı en iyi olan yapı 6. deneyde kullanılan yapıdır. 28. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapının da enerji sönmüleme oranı hemen hemen aynı değerlerdedir. Fr_1 'un 8,79 ile 9,26 olduğu aralıkta enerji sönmüleme oranı yaklaşık olarak 0,74~0,82 arasında değişmekte ve genel olarak artış göstermekteyken Fr_1 'in 9,26 ile 9,89 olduğu aralıkta 0,76~0,83 arasında değişmekte ve enerji kırıcı yapılar hemen hemen aynı değişimi göstermektedirler. Fr_1 'in 9,89 ile 12,67 olduğu aralıkta enerji sönmüleme oranı yaklaşık olarak 0,78~0,83 arasında değişmekte ve genel olarak artış göstermektedir.



Şekil 4.50. $bw/b=1/3$ olan en iyi enerji kırıcı yapı ile $bw/b=2/3$ olan en iyi enerji kırıcı yapının enerji sönmleme oranlarının $Fr1$ ile karşılaştırılması.

Şekil 4.50’de $bw/b=1/3$ olan 5. deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı yapıyla $bw/b=2/3$ olan ve 6. deneyde kullanılan 1.tip yapının karşılaştırması yapılmıştır. Her iki enerji kırıcı yapıda kendi gruplarında en iyi enerji kırıcı yapılardır. Esasen; aralarında enerji sönmleme oranı açısından önemli bir fark olmamakla beraber 5. deneyde kullanılan 1.tip enerji kırıcı yapının özelliği olan $bw/b=1/3$ değeri tavsiye edilebilir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar

Bu deneylerde enerji kırıcı blok genişlikleri kanal genişliğine eşit ve sabit alınmıştır. Akım giriş ve akım çıkış yükseklikleri de birbirine eşit ve $1/3 h_w$ alınmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Bu çalışmada, hem suyun yani akımın akıma, hem de suyun yapıya çarpımı ve türbülans oluşumu sonucu enerjinin sönümlenmesi tasarlanmış ve enerji kırıcı yapıların enerji kırıcı blok ve eşik görevini de gördükleri tespit edilmiştir.

2. U.S.B.R. Tip düşüm havuzları örnek olarak alınmış ve enerji kırıcı yapı tipleri buna göre oluşturulmuştur. Şut blokları arasındaki mesafeler örnek alınarak enerji kırıcı yapı altlarında boşluklar bırakılmıştır. Aynı zamanda bu boşlukların yapıya etkileyen dinamik kuvvetleri azaltacağı düşünülmüştür.

3. Enerji kırıcı yapı şekilleri değiştikçe, yapının genişliği sabit tutulmak şartıyla, enerji kırma oranının da değiştiği gözlenmiştir.

4. Enerji kırıcı blok membaya doğru yaklaştırıldığında enerji sönümleme oranı artmaktadır. En iyi sönümlemenin düşüm havuzu ile dolusavak bitiminin birleştiği yerde gerçekleştiği görülmüş ve bu nedenle enerji kırıcılar hep aynı yere yerleştirilmiştir.

5. Bu deneysel çalışmada, membaya yakın olan ilk enerji kırıcının arkasına yani mansabına doğru bir eşik yerleştirilmiş ancak enerji sönümleme oranında değişiklik gözlenmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada önerilen enerji kırıcı tip için artık eşik kullanılmasına gerek olmayacaktır.

6. Enerji kırıcı ile eşik arasındaki mesafeninde enerji sönümleme oranında etkili olmadığı gözlenmiştir.

7. Bütün deneylerde kullanılan enerji kırıcı blokların hepsinin, akımın enerjisinin kırılmasında fayda sağladığı gözlenmiştir.

8. Bu çalışmada 5. deneyde kullanılan enerji kırıcı yapının en iyi enerji sönümleme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

9. Enerji kırıcı bloklar için, $b_w/b=1/3$ olduğu durumda enerji sönümleme oranı artmaktadır.

10. Bu çalışmada U.S.B.R tip III enerji kırıcı havuz örnek alınmıştır.

Öneriler

1. Bu tezde esas amaç enerji kırıcı yapı tipinin araştırılması olduğundan düşüm havuzunun boyu ayrıca incelenebilir.

2. Debi değerleri imkanlar ölçüsünde arttırılarak değişik Froude sayılarında çalışmanın yapılması deneyin güvenilirliği artıracaktır.

3. Enerji kırıcı yapıya etkiyen dinamik kuvvetlerin araştırılması ayrıca incelenebilir.



KAYNAKLAR

1. 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.
2. Holingworth, F., and Druyts, F.H.W.M., 1986, " Rollcrete: Some applications to dams in South Africa" , Water Power and Dam Constr., Vol. 38,No.1,pp.13-16
3. Rajaratnam, N., 1990, "Skimming Flow in stepped spillways", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 116, No.4,pp.587-591.
4. Nani, G. B., 1975, "Stilling basin design for low Froude number", Journal Hydraulic Div., ASCE, Vol. 101, No. 7, pp.901-914.
5. Pillai, N. N., Goel, A., and Dubey ,A.K., 1989, "Hydraulic jump type stilling basin for low Froude Numbers",Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115,No.7,July,pp.989-994.
6. Bradley, J.N., and Peterka, A.J., 1957, " The hydraulic design of stilling basins", Journal Hydraulic Div.,ASCE, Vol.82, No.5 , paper.1401
7. United States Department of Interior, 1965, Design of Small Dams. A Water Resources Technical Publication, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
8. DSI,1975, Aslantaş Barajı Derivasyon Tüneli Çıkış Yapıları Model Deneyleri Raporu.T.C. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No.Hi-588, Ankara, 180s.
9. Yang, S. L., 1994, " Dispersive-flow energy dissipator", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No.12, December, pp. 1401-1408

10. 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
11. Sorensen, R. M., 1985, "Stepped spillway hydraulic model investigation", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 12, pp.1461-1472
12. Mohamed Ali, H.S., 1991, "Effect of Roughened-bed stilling basin on length of rectangular hydraulic jump", Journal of Hydraulic Engineering , ASCE, Vol.117, No. 1, January, pp.83-93
13. 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.
14. Christodoulou, G. C., 1993, "Energy dissipation on stepped spillways", Journal of Hydraulic Engineering , ASCE, Vol. 119, No.5, May, pp.644-650.
15. Blaisdell, F. W., 1947, "Development and hydraulic design of St. Anthony Falls Stilling Basin" , Proc. ASCE, pp. 123-159, February.
16. McGhee, T. J., 1991, Water Supply and Sewerage. McGRAW-HILL International Editions , 6. Edition.
17. Chow, V. T., 1959, Open-Channel Hydraulics. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, International Student Edition, Tokyo
18. St. Anthony Falls Hyd. Lab., The SAF stilling basin. Agriculture Hand Book, No:156
19. Kaya, N., 2003, "Enerji kırıcı havuzlarda farklı tip enerji kırıcı blokların enerji sönmleme oranlarının incelenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s.

20. Şentürk, F., 1972,Dolu savakların Hidroliği ve Projelendirilmesi.T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
21. Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N., 2002, Su Kaynakları Mühendisliği.Beta Basım A.Ş., Dördüncü baskı, İstanbul, 360s.
22. Webber, N.B., 1968, Fluid Mechanics for Civil Engineering.Spon's Civil Engineering Series, London.
23. Yalçın, O., 1967, Barajlarda Enerji Kırıcı Tesislerin Projelendirilmesi. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı, Ankara, 23s.
24. Indian Standart İnstitution,1969,Criteria for Design of Hydraulic Jump type Stilling Basins with Horizontal and Sloping Apron.June.
25. Elevatorski, E. A., 1959, Hydraulic Energy Dissipators.Mc Graw – Hill Book Company, London, 214p.
26. Şentürk, F., 1988,Barajların Projelendirilmesinde Hidrolik Esaslar.T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Birinci Baskı,Ankara.
27. Peterka, A. J., 1964, Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators.A Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph No. 25, USBR, Denver, Colorado.
28. DSI, 1988, Regülatör Projesi Kriterleri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İkinci Baskı, Ankara, 93s.
29. Şentürk, F., 1988, Barajların Projelendirilmesinde Hidrolik Esaslar. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Birinci Baskı, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Almanya’da doğdum. İlk öğrenimimi Elazığ Namık Kemal ilkokulun’da,Orta öğrenimimi Elazığ Mezre Ortaokulun’da ve Lise öğrenimimi İstanbul Dr.Kemal Naci Ekşi Lisesinde yaptım. 1997 yılında girdiğim Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2001 yılında mezun oldum.İyi derecede İngilizce biliyorum.

