



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ENERJİ KIRICI HAVUZLARDA FARKLI TİP
ENERJİ KIRICI BLOKLARIN ENERJİ
SÖNÜMLEME ORANLARININ FİZİKSEL VE
SAYISAL MODELLENMESİ**

Kamil İSPİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Şubat 2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Kamil İSPİR tarafından hazırlanan “enerji kırıcı havuzlarda farklı tip enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranlarının fiziksel ve sayısal modellenmesi” adlı tez çalışması 26/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğretim Üyesi Alpaslan YARAR

.....

Danışman

Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Kağan ERYÜRÜK

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kamil İSPİR

Tarih: 26.02.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ ENERJİ KIRICI HAVUZLARDA FARKLI TİP ENERJİ KIRICI BLOKLARIN ENERJİ SÖNÜMLEME ORANLARININ FİZİKSEL VE SAYISAL MODELLENMESİ

Kamil İSPİR

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

2020, 43 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
Dr. Öğretim Üyesi Alpaslan YARAR
Dr. Öğretim Üyesi Kağan ERYÜRÜK**

Dolusavaklar, baraj ya da gölet rezervuarına gelen akımı, tesis zarar görmeden baraj mansabına emniyetle aktaran yapılardır. Bir dolusavak yapısı genel olarak, yaklaşım kanalı, havalandırma yapısı, eşik yapısı, boşaltım kanalı ve enerji kırıcı yapısından oluşur. Bu yapılardan enerji kırıcı yapılar suyun enerjisini kırarak suyu mansaba aktaran tesislerdir. Enerji kırıcı yapı tiplerinden biri olan enerji kırıcı havuzlarının temel prensibi, akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişinde meydana gelen hidrolik sıçramayı havuz içinde bırakarak, enerji kırılma olayının havuz içinde kalmasını sağlamaktır.

Bu çalışmanın amacı, farklı geometrik şekillerdeki enerji kırıcı blokların enerji sönmleme oranlarının fiziksel ve sayısal modelleme yöntemiyle araştırılmasıdır. Tüm blok tiplerinde blok yükseklikleri ve genişlikleri eşit seçilmiş, toplam enerji kırıcı blok uzunlukları ise enerji kırıcı havuz genişliğinin %50'si olacak şekilde tasarlanmıştır. 4 farklı geometrik şekildeki blokların sönmleme oranları, tek sıra, iki sıra ve iki sıra eşik yapısız olmak üzere 3 farklı yerleşim şekli ile toplamda 12 farklı tasarımda ve 7 farklı debi değerinde belirlenmiştir. Aynı zamanda bu deneysel çalışmalar FLOW-3D yazılım programında da test edilmiş, deneysel ve matematiksel çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda T şekilli enerji kırıcı bloğun en iyi sönmleme oranına sahip olduğu tespit edilmiş, deneysel çalışmalarla FLOW-3D yazılımından elde edilen sonuçların birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık kanal hidroliği, Dolusavak yapısı, Enerji kırıcı bloklar, Enerji kırıcı havuz, Enerji sönmleme, FLOW-3D, Hidrolik sıçrama.

ABSTRACT

MS THESIS

PHYSICAL AND NUMERICAL MODELLING OF ENERGY DISSIPATION RATIOS OF VARIOUS TYPE OF ENERGY DISSIPATORS

Kamil İSPİR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

2020, 43 Pages

Jury

Assoc.Prof.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

Assist. Prof. Alpaslan YARAR

Assist. Prof. Kağan ERYÜRÜK

Energy dissipating structures are constructions that transfer the water from upstream to downstream safely by reducing the energy of the flow. They are generally used in irrigation channels, discharging from a dam bottom outlet, at the foot of the spillway structures and in dissipating the energy of water in a similar situations. The main principle of stilling basin is to keep the hydraulic jump in the channel while flow regime is changing from super critical to sub critical. In this study, the channel was set to investigate the performance of energy dissipating blocks which were placed at the downstream of the ogee spillway in the stilling basin.

The aim of this study is to investigate the energy dissipating ratios of different type of energy dissipators by physical and numerical modelling method. In all energy dissipator types, energy dissipator heights and widths were selected equal and total energy dissipator block length is designed to be 50 % of the stilling basin width. The damping ratios of 4 different geometric shaped energy dissipating blocks were determined in 12 experimental setup and 7 different flow rates for 3 designs as in one line, in two lines and two lines without end sill in energy dissipating pool. At the same time, these experimental studies were also tested in the FLOW-3D software program and the results of the experimental and mathematical studies were compared with each other. As a result of the studies, it was determined that the T-shaped energy dissipating blocks had the best damping ratio and the results obtained with the use of FLOW-3D software were similar to those experimental studies.

Keywords: Open channel flows, Energy dissipating, Energy dissipating blocks, FLOW-3D, Hydraulic jump, Spillway design, Stilling basin,

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayıran tez danışmanım Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU'ya, anne ve babama, tez çalışmam sırasında yanımda olan eşim Ezgi ÖZTÜRK İSPİR'e ve oğullarım Mustafa Bekir, Emir ve Yiğit'ime,

Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında deneysel çalışmalarının yapılması için gerekli kolaylığı sağlayan değerli hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Alpaslan YARAR ve Arş. Gör. Ali YILDIZ'a, deneysel çalışmalar sırasında beni yalnız bırakmayan arkadaşım Abdul Raof WAHİDİ'ye,

Teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Kamil İSPİR
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kırıcılar	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. ENERJİ KIRICI HAVUZLAR	5
3.1. Enerji Kırıcı Havuz (Tip I)	7
3.2. Enerji Kırıcı Havuz (Tip II)	9
3.3. Enerji Kırıcı Havuz (Tip III)	10
3.3. Enerji Kırıcı Havuz (Tip IV)	12
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
4.1. Materyal	13
4.1.1. Deney düzeneği.....	13
4.1.2. Deney düzeneğinin oluşturulması.....	16
4.1.3. Deneyde kullanılan enerji kırıcı blok tipleri	17
4.1.4. Enerji kırıcı blokların yerleşim planı	19
4.2. Metod	26
4.2.1. Deneysel çalışma	26
4.2.2. FLOW 3D ve matematiksel modelleme	28
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	33
5.1. Fiziksel Modelleme Sonuçları	33
5.2. Sayısal Modelleme Sonuçları	38
5.3. Fiziksel ve Sayısal Modelleme Sonuçlarının Karşılaştırılması.	38
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
6.1 Sonuçlar	40
6.2 Öneriler	41
7. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- Fr : Froude sayısı
Fr₁ : Sıçramadan önceki akımın Froude sayısı
E₁ : Sıçramadan önceki akımın enerji yüksekliği (m)
E₃ : Sıçramadan sonra akımın enerji yüksekliği (m)
H₀ : Kretten itibaren enerji yüksekliği
H₀ : Su yükü (m)
h₁ : Sıçramadan önceki mansap su yüksekliği (m)
h₂ : Sıçramadan sonraki mansap su yüksekliği (m)
h₃ : Mansap su yüksekliği (m)
h₃ : Enerji kırıcı blok yüksekliği (m)
h₄ : Çıkış eşiği yüksekliği (m)
W₁ : Şut blok genişliği (m)
W₃ : Enerji kırıcı blok genişliği (m)
S₁ : Şut blokları arası mesafe (m)
S₃ : Enerji kırıcı bloklar arası mesafe (m)
g : Yer çekimi ivmesi (m/s²)
y : Sıçramadan önceki mansap su yüksekliği (m)
L : Hidrolik sıçrama uzunluğu (cm)
L : Enerji kırıcı havuz uzunluğu (cm)
p : Kıyas düzleminden krete kadar su yüksekliği
V₁ : Sıçramadan önceki akımın hızı (m/s)
Q : Debi (m³/s)
Δh : Enerji kaybı

Kısaltmalar

- USBR : United States Breau of Reclamation

1. GİRİŞ

1.1. Enerji Kırıcılar

Dolusavak yapılarının inşaatında enerji kırıcılar yapının güvenliği ve maliyeti açısından önemli bir rol oynamaktadırlar. Baraj yaklaşım kanalından mansaba suyun aktarılması sırasında akım sel rejiminden nehir rejimine geçtiği için, mansapta oluşan hidrolik sıçramadan dolayı suyun enerjisi yüksektir. Bu enerji akımda çok yüksek hızlar oluşturabilmekte; oyulma, aşınma ve kaviteasyona sebep olarak, mansapta yer alan yapıların ve dere yatağının hasar görmesine neden olmaktadır. Enerji kırıcı yapılar, su alma, kabartma veya biriktirme yapılarında suyun alınması ya da mansaba aktarılması sırasında suyun enerjisini kırarak güvenli bir şekilde mansaba aktaran tesislerdir.

Enerji kırıcı yapılar, bir sulama kanalında şütten düşen, bir hareketli bağlamanın kapak altından geçen, bir baraj dip savağından boşalan, bir bağlama ya da baraj dolu savağından dökülen ve benzeri durumlarda suyun enerjisini kırmak için de kullanılırlar.

Enerji kırıcı yapılar, esas olarak proje yerine bağlı oldukları için bu konuda birçok araştırma yapılmıştır. Bir enerji kırıcının projelendirilmesi topoğrafyanın yanında ana yapı, akım durumu, jeoloji ve ekonomi gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu bakımdan böyle bir yapının kesin projesi hazırlanmadan önce model araştırmaları ile hidrolik çalışmasının incelenmesi gerekir. Enerji kırma amaçlı yapılarda, suyun çarptırılması, türbülans oluşturulması, suyun saçılarak akması veya su ve hava ile sürtünme sağlanması şeklinde ana ilkeler kullanılarak pek çok değişik tipte enerji kırma tasarımları yapılabilir (Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N,1993).

Enerji kırıcı yapı tiplerinden olan enerji kırıcı havuzların temel prensibi akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişinde meydana gelen hidrolik sıçrama yardımıyla enerjinin kırılarak azalmasını belirli bir mesafe içinde sağlamaktır.

USBR tarafından şüt blokları, enerji kırıcı bloklar ve çıkış eşikleri üzerine bir dizi deney yapılmış ve standart enerji kırıcı havuzlar geliştirilmiştir. Froude sayısına göre sıçrama özellikleri ve sıçrama havuzları sınıflandırılmaktadır (Chow, V.T,1959). Enerji kırıcı bloklar, hidrolik sıçramanın gerçekleşmesini sağlamak, türbülansı artırmak ve enerjinin kırılması amacıyla enerji kırıcı havuza yerleştirilirler. Enerji kırıcı bloklar, enerji kırmak için ihtiyaç duyulan havuz uzunluğunu kısaltmaktadır. Enerji kırıcı bloklar tek sıra veya birden fazla sıra halinde kullanılabilirler. USBR tarafından ikinci ve daha sonraki sırada yer alan blokların şaşırtmalı olarak yerleştirilmesi, ilk bloğun duvardan

blok genişliğinin yarısı kadar mesafeye yerleştirilmesi ve aynı sıradaki blokların genişliği ile bloklar arasındaki mesafenin eşit olması önerilmiştir (Peterka, 1984).

Bu çalışmada memba yüzü dik ogee savak mansabına yapılan enerji kırıcı havuz içerisine yerleştirilen enerji kırıcı bloklarının, enerji kırmaya katkısı ile enerji sönümleme oranları fiziksel ve sayısal modelleme yöntemleriyle araştırılmıştır. Çalışmada dört farklı geometrik şekilde enerji kırıcı blok kullanılmıştır. Deney düzeneği kanalın anahtar eğrisi çıkartılarak Froude sayısı ve akım hızına göre havuz USBR III. Tip olarak boyutlandırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda blokların enerji sönümleme oranları ve sayısal modelleme yöntemleriyle elde edilen sonuçlar verilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Birçok araştırmacı enerji kırıcı havuzlar üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Bestawy (2013), enerji kırıcı olarak farklı şekilli enerji kırıcı blokların kullanılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada 14 farklı model enerji kırıcı blok tasarlanmış ve enerji kırıcı havuz içerisine tek sıra halinde yerleştirilmiştir. Düşey yerleştirilmiş, yarım dairesel kesitin en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir.

Bradley ve diğ. 1957, yılında yaptıkları çalışmalarında enerji kırıcı havuzların hidrolik tasarımı üzerine deneysel araştırma yaparak düşük Froude sayılarında USBR IV. Tip düşüm havuzunun kullanılmasını önermişlerdir.

Kaya 2003 yılındaki çalışmasında enerji kırıcı havuzlarda farklı tip enerji kırıcı blokların enerji sönümlenme oranlarını incelemiş ve bu çalışmada dip savaklardan geçen akım enerjisinin kırılması üzerine çalışılmış T şekilli ve beşgen tipli blokların en iyi sonucu verdiğini belirtmiştir.

Kuttiammu ve diğ. (1951), enerji kırıcı havuzlarda, enerji kırıcı blokların enerji kırmadaki performanslarını inceleyerek T şekilli bloklarla performansın arttığını göstererek farklı bir düşü havuzu tasarlamışlardır.

Mohamed 1991 yılında pürüzlü enerji kırıcı havuzlarının hidrolik sıçrama uzunluğuna etkisi hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, kapaktan sonra yüzeyi pürüzlü yapmak için tabana dişler yerleştirilmiştir. Çalışmada farklı kapak açılma miktarları ve Froude sayısı dikkate alınarak en uygun hidrolik sıçrama uzunluğu elde eden ve yapım ekonomikliği de dikkate alınarak en uygun yüzey pürüzlülüğü bulunmuştur.

Nakato (2000), Kuzey Kaliforniya’da bulunan Pit nehri üzerine kurulan Pit 6 Barajı’nın enerji kırıcı havuzu için model çalışması yaparak hidrolik açıdan daha fazla enerji kırabilecek yeni bir tasarım üzerinde çalışmıştır. Dolusavaktan membaya geçen debilere göre en uygun enerji kırıcı blok tespit edilmeye çalışılmıştır.

Morris (1968), enerji kırıcı bloklar arasındaki mesafenin optimizasyonu yapmaya çalışmıştır. Bu çalışmada enerji kırıcı blokların aralık ve yükseklik oranlarına bağlı olarak boyutsuz parametreler bulmuştur.

Özbay (2008), şüt kanallarına yerleştirilen farklı tip enerji kırıcı bloklarını incelemiştir. Bu çalışmada 4 farklı enerji kırıcı blok ile çalışılmış farklı şekilli blokların sönümlenme oranlarının yakın olduğu fakat basamaklı tip enerji kırıcı bloğun diğer bloklardan biraz daha fazla sönümlenme oranına sahip olduğu belirtilmiştir.

Pillai ve diğ. (1989), enerji kırıcı havuzlardaki hidrolik sıçrama olayını düşük Froude sayılarına sahip akım şartlarında incelemiştir. Bu çalışmada, mevcut düşüm havuzlarına karşı yeni bir tip düşüm havuzu önerilmiştir. Bu düşüm havuzunun orta kısmına beşgen şeklindeki enerji kırıcı bloklar yerleştirilerek elde ettikleri tipin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

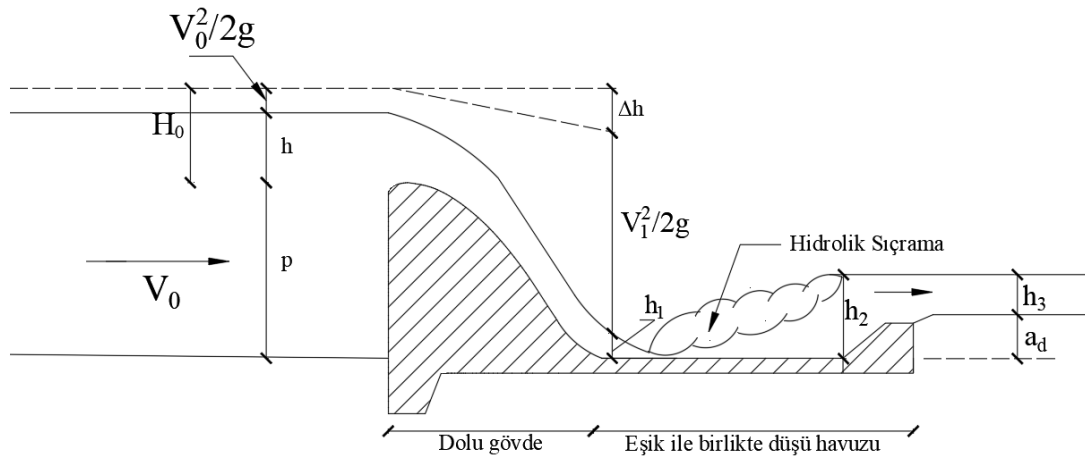
Rajaratnam ve diğ., 2000 yılında yaptıkları model çalışmasında gözenekli yapıda bir enerji kırıcı havuz tipi deneyerek, farklı gözenek tiplerinin enerji kırma kapasitesini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada Froude sayısı dikkate alınmış, elekler tek sıra ve iki sıra halinde kullanılarak en uygun biçim bulunmuştur.

Varol 2007 yılındaki çalışmasında düşüm havuzlarına yerleştirilen farklı tip enerji kırıcı blokların enerji sönmeme oranları, hız değişimleri ve bloklara etki eden dinamik kuvvetler sayısal analiz yapılarak incelemiş ve bu çalışmada üçgen geometriye sahip blokların en iyi sonucu verdiğini belirtmiştir.

Verma ve diğ. (2000) ise enerji kırıcı havuzlardaki enerji kırmak için kullanılan blokların farklı şekillerde göstereceği performansları boru akımının çıkışında çalışmışlardır. Bu çalışmada, farklı tipteki kama şeklindeki bloklar üzerine çalışılmıştır. Bunların şekil, boyut ve yerleri için Froude sayısı dikkate alınarak en uygun tasarımı tespit etmişlerdir.

3. ENERJİ KIRICI HAVUZLAR

Hidrolik sıçrama, akımın sel rejiminden nehir rejimine geçtiği yerde meydana gelen ve su yüzünde ani bir yükselme oluşturan bir olaydır. Olay sırasında kısa bir mesafede önemli miktarda enerji kaybı ortaya çıktığı için, hidrolik sıçramanın oluşması sağlanarak enerjinin kırılması sağlanır. İyi bir hidrolik sıçrama için yan duvarların düşey veya düşeye yakın olması önerildiği için genellikle dikdörtgen en kesitli havuzlar tercih edilir (DSİ, 2012). Şekil 3.1’ de enerji kırıcı havuzların şematik görünümü verilmektedir.



Şekil 3.1 Enerji kırıcı havuz içindeki hidrolik sıçramanın şekli

Şekil 3.1’de verilen parametrelerin tanımları aşağıda verilmektedir.

h_1 = Hidrolik sıçramadan önceki su derinliği

h_2 = Hidrolik sıçramadan sonraki su derinliği

h_3 = Mansaptaki su derinliği

h = Kabarma yüksekliği

p = Kıyas düzleminde krete kadar su yüksekliği

a_d = Düşüm havuzu derinliği

$V^2/2g$ = Hız yüksekliği

V_0 = Suyun dolu gövdeye yaklaşım hızı

V_1 = Sıçramadan önceki akımın hızı

Δh = Enerji kaybı

H_0 = Kretten itibaren enerji yüksekliği

Hidrolik sıçrama oluşurken, h_1 ve h_2 arasında impuls momentum teoreminden faydalanılarak bulunabilen aşağıdaki bağıntı vardır.

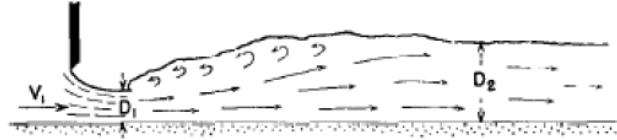
$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1}{2}$$

$h_2 = h_3$ olması durumunda (h_2 sıçramadan sonraki derinlik, h_3 mansap suyu derinliği) hidrolik sıçrama savağın hemen önünde oluşur. Bu durum en ideal haldir.

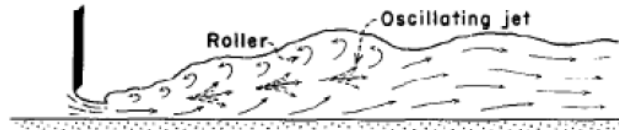
$h_2 < h_3$ olması durumunda batmış sıçrama oluşur. Hidrolik sıçrama 1. duruma göre daha öne kayar. Fark çok fazla ise hidrolik sıçrama oluşmayabilir. Gelen akım mansap suyunda çevrıntiler doğurur.

$h_2 > h_3$ olması durumunda akım hidrolik sıçrama için gerekli su yüksekliğini ve h_3 değerini bulamadığı için yeterli bir h derinliğinin oluşacağı yere kadar devam eder.

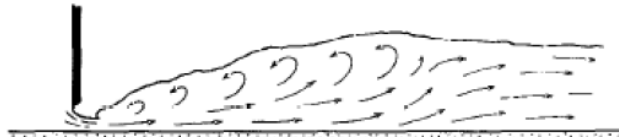
Düşüm havuzu içinde oluşan hidrolik sıçramalar Froude (Fr) sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.2’de Froude sayısına bağlı olarak sıçrama çeşitleri verilmiştir.



1.7 < Fr < 2.5 Zayıf hidrolik sıçrama



2.5 < Fr < 4.5 Geçiş hali – Dalgalı su yüzeyi



2.5 < Fr < 44.5 < Fr < 9; Sıçrama hali, akım kuyruk suyu değişikliklerinden çok az etkilenir.



Fr > 9; Çok kuvvetli sıçramadır.

Şekil 3.2. Froude Sayısına Bağlı Olarak Sıçrama Çeşitleri (Peterka, 1984).

$Fr = 1$ Akım kritik rejimdedir. Sıçrama olmaz.

$1 < Fr < 1.7$; salınımlar: Su yüzeyinde hafif sallantılar vardır. Pratik olarak sıçramanın olmadığı kabul edilir. Basit havuzlar kullanılarak kontrol altına alınabilir,

$1.7 < Fr < 2.5$; hidrolik sıçrama öncesi çok düşük seviyede enerji kaybı: Zayıf hidrolik sıçrama halidir. Enerji kaybı az olur.

$2.5 < Fr < 4.5$; geçiş hali – dalgalı su yüzeyi: Kontrol altına alınması için muntazam mühendislik yapılarına ihtiyaç gösterir. Genellikle kanal yapılarında (şütler, eğik şütler vb.) görülür.

$4.5 < Fr < 9$; sıçrama hali, akım kuyruk suyu değişikliklerinden çok az etkilenir: Genellikle baraj düşüm havuzlarında bu tip sıçramalar görülür. Mühendislik yapıları yardımıyla kolaylıkla kontrol altına alınabilir.

$Fr > 9$; kuvvetli, etkili ama dalgalı: Çok kuvvetli sıçramadır. Düşüm havuzu boyu, hidrolik sıçramanın boyuna bağlıdır.

Enerji kırıcı havuz tiplerinin tasarımında Fr sayısı, $Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h_1}}$ kullanılır. Bu tasarımda;

$Fr < 1.7$ ise enerji kırıcı havuz ya da düşü havuzuna gerek yoktur,

$1.7 < Fr < 2.5$ ise sadece düşü havuzu kullanılması yeterlidir,

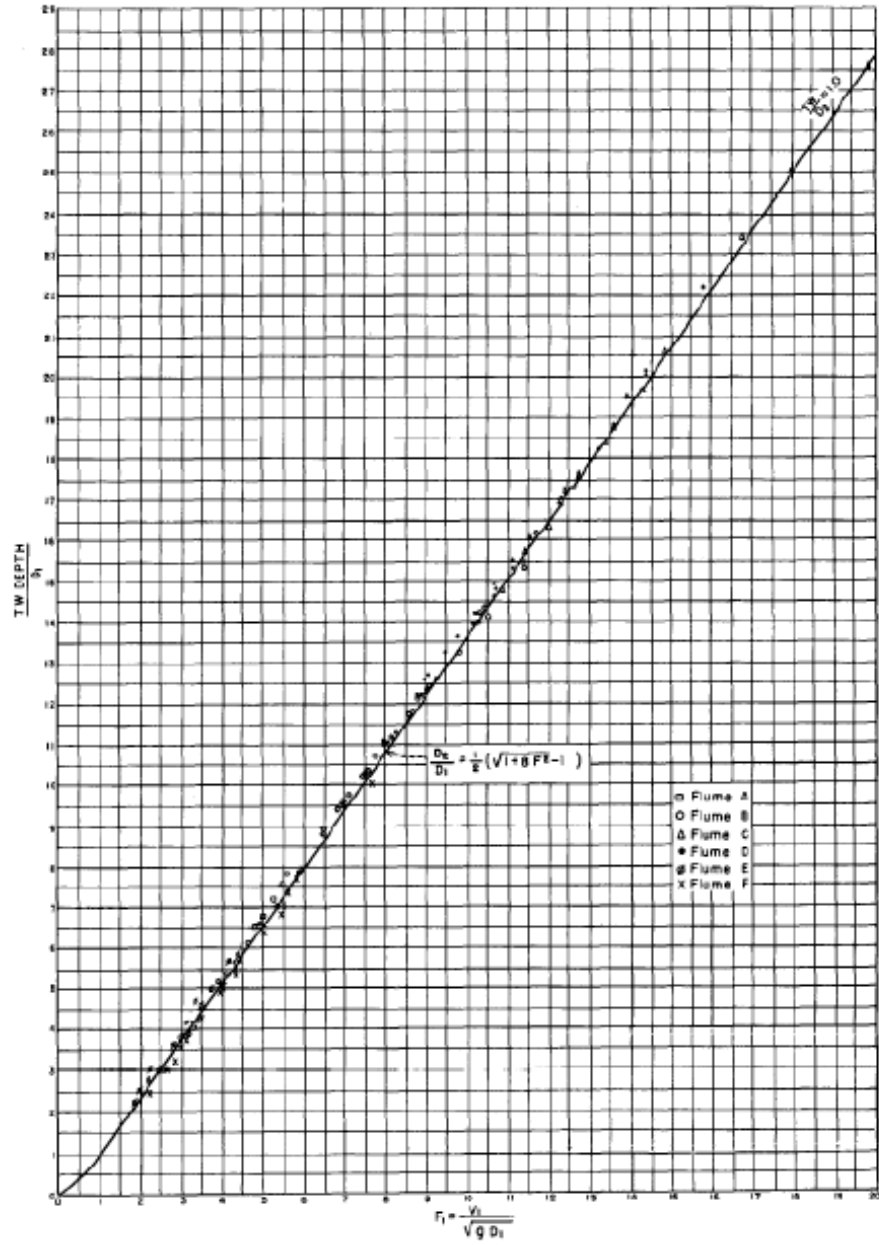
$2.5 < Fr < 4.5$ için Tip IV enerji havuzu uygundur,

$Fr > 4.5$ ise ve $V_1 < 18$ m/s ise Tip III enerji havuzu uygundur,

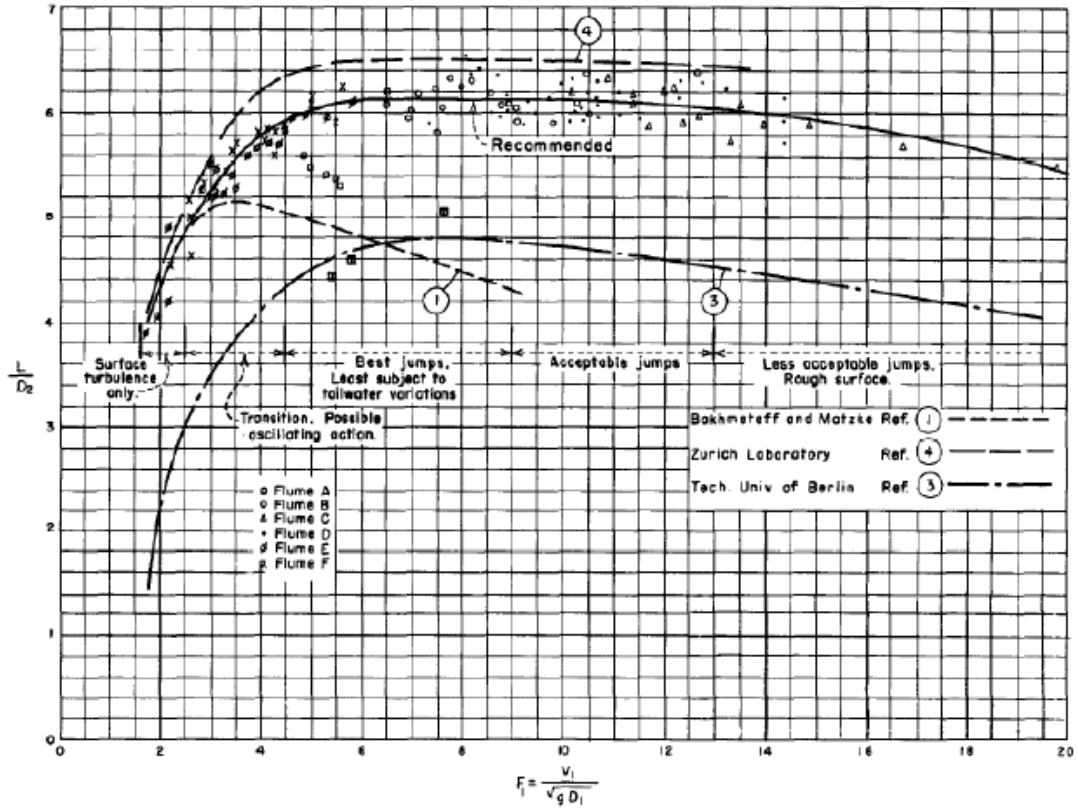
$Fr > 4.5$ ise ve $V_1 > 18$ m/s ise Tip II enerji havuzu uygundur.

3.1. Enerji Kırıcı Havuz (Tip I)

Froude sayısının $1.7 - 2.5$ arasında olduğu durumlarda kullanılır. Bu tip akımlarda türbülanslı akımın etkisi çok fazla hissedilmediği için eşik ve enerji kırıcı yapılara lüzum yoktur. Hidrolik sıçramadan kaynaklı akım derinlikleri ve havuz boyu Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir. Havuz boyu sıçramayı içine alacak kadar büyük olmalıdır (Peterka, 1984).



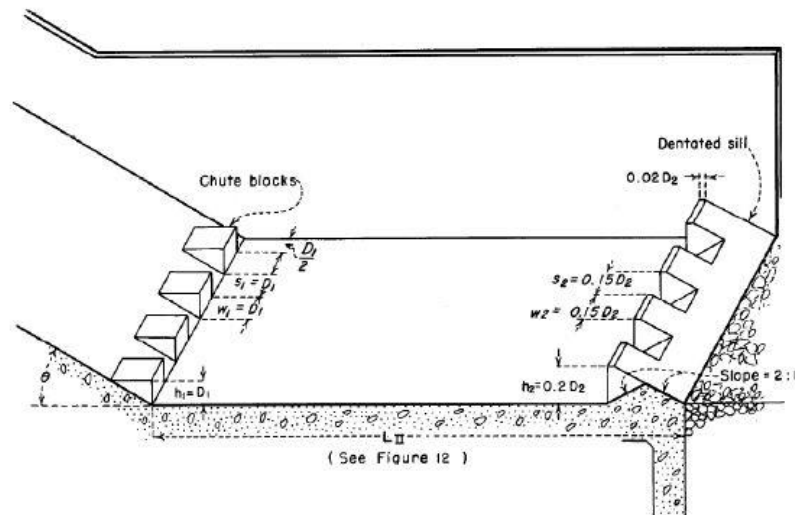
Şekil 3.3. -Froude Sayısına Göre Hidrolik Sıçrama Özellikleri (Şüt Blokları, Enerji Kırıcı Bloklar Ve Eşik Ucu Olmayan Havuzlar İçin) (Peterka, 1984).



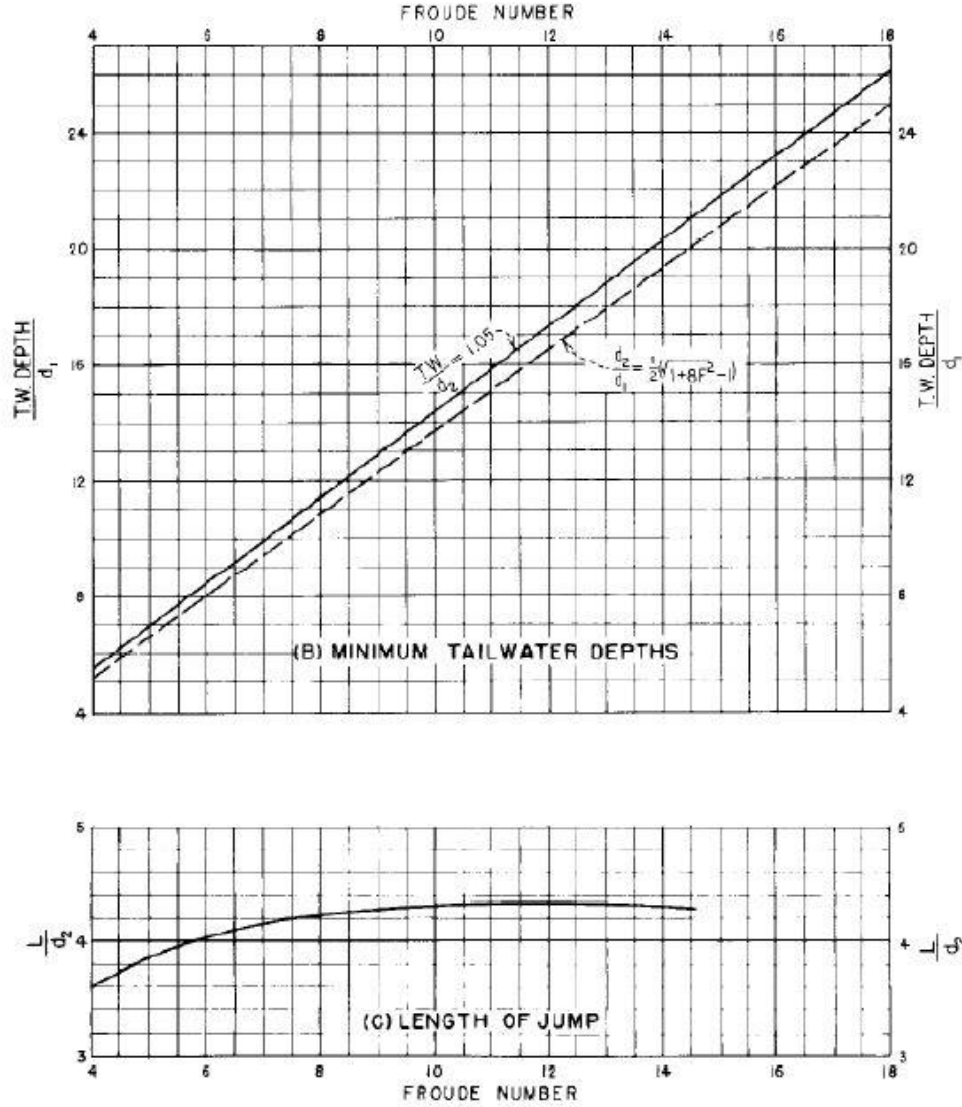
Şekil 3.4. Froude Sayısına Göre Hidrolik Sıçrama Özellikleri (Şüt Blokları, Enerji Kırıcı Bloklar Ve Eşik Ucu Olmayan Havuzlar İçin) (Peterka, 1984).

3.2. Enerji Kırıcı Havuz (Tip II)

Froude sayısının 4.5'dan büyük ve akım hızının ise 18.3 m/s (60 ft/s)'den büyük olduğu durumlarda kullanılır. Şekil 3.5'de havuz ve şüt bloklarının boyutlandırması; Şekil 3.6'da ise boyutlandırmaya ait tablo ve abak verilmiştir.



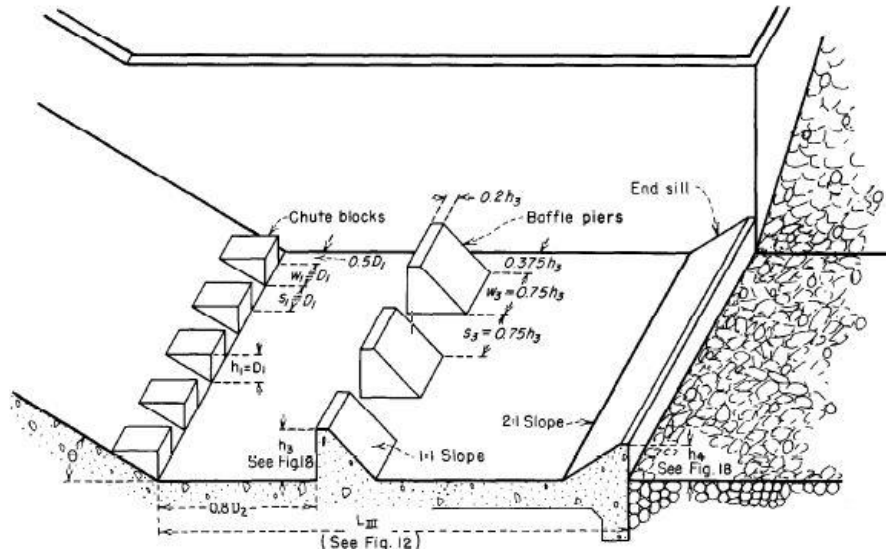
Şekil 3.5. Tip II Havuz (Peterka, 1984)



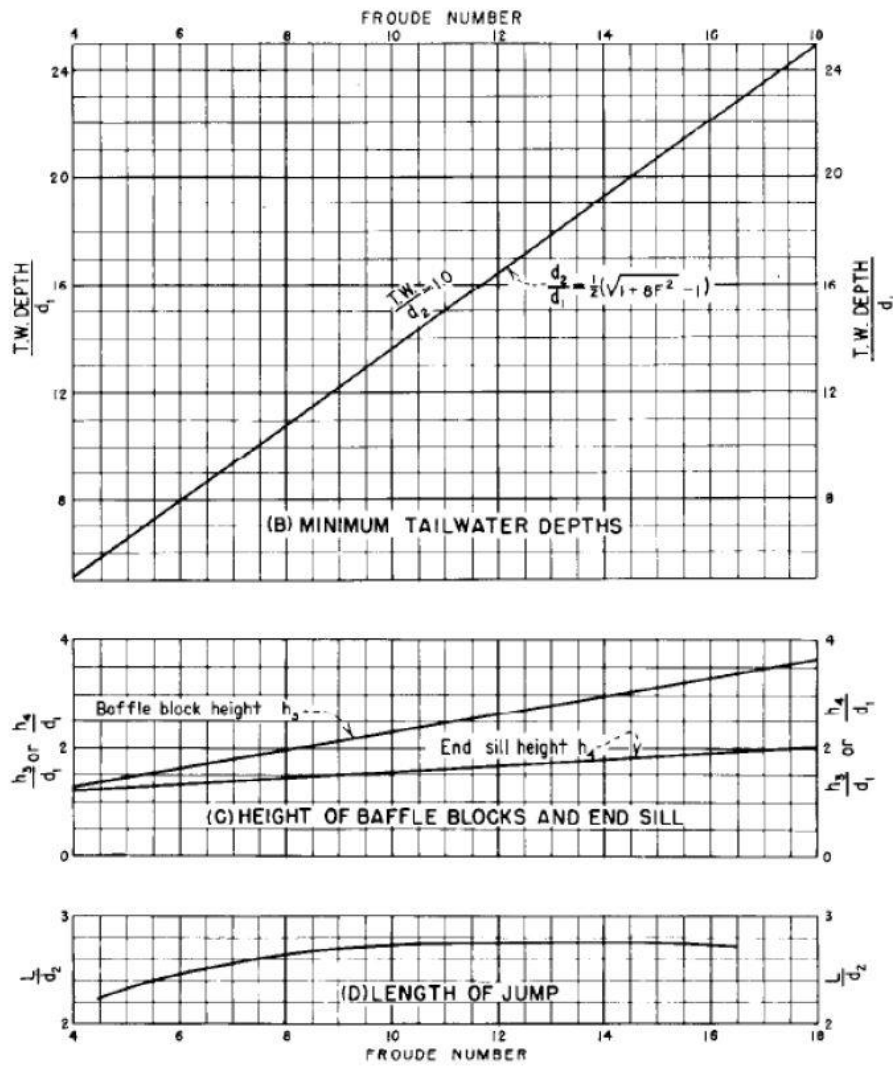
Şekil 3.6. Tip II Havuza ait boyutlandırmaya esas tablo ve abak (Peterka, 1984).

3.3. Enerji Kırıcı Havuz (Tip III)

Froude sayısının 4.5 dan büyük ve akım hızının ise 18.3 m/s (60 ft/s)'den küçük olduğu durumlarda kullanılır. Şekil 3.7'de havuz ve şüt bloklarının boyutlandırması; Şekil 3.8'de ise boyutlandırmaya ait tablo ve abak verilmiştir.



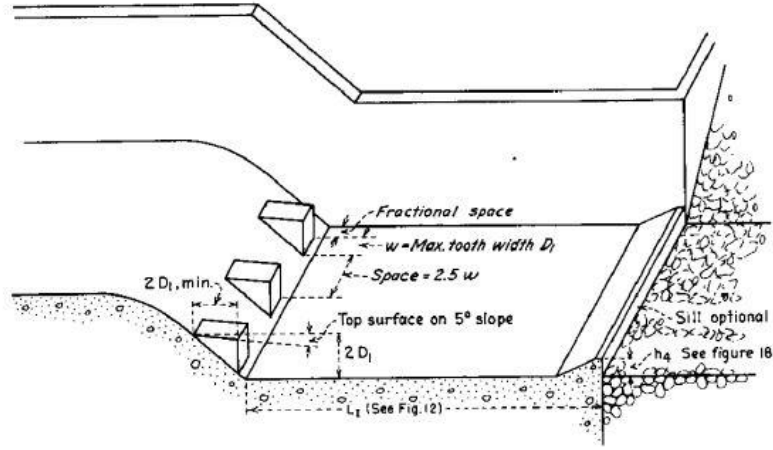
Şekil 3.7. Tip III Havuz (Peterka, 1984).



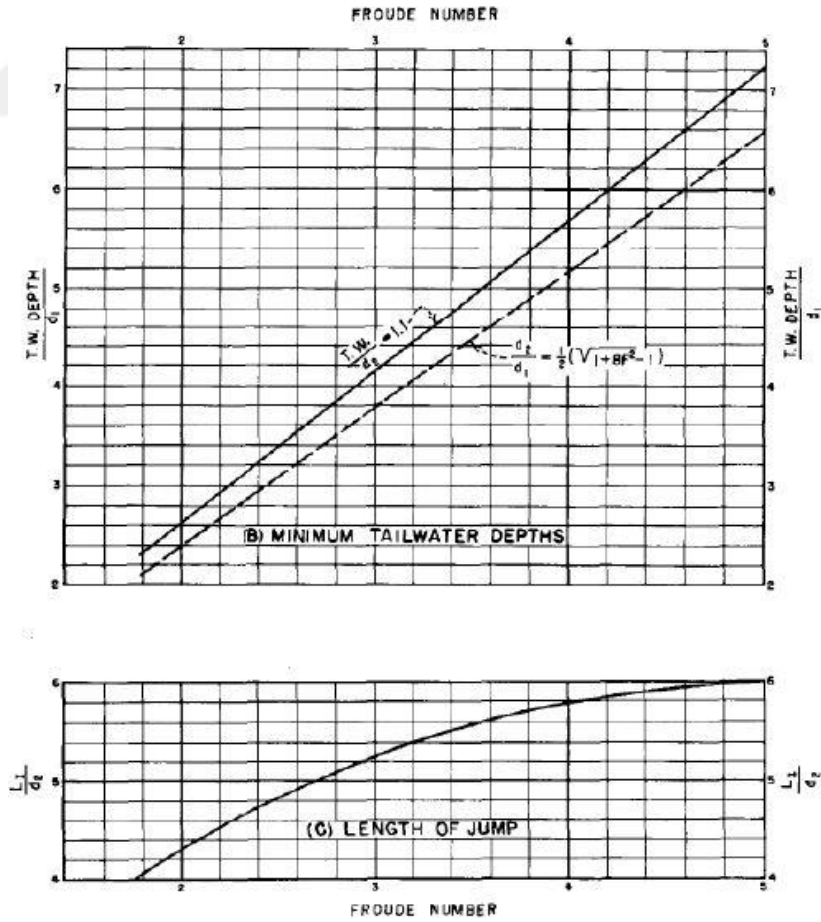
Şekil 3.8. Tip III Havuza ait boyutlandırmaya esas tablo ve abak (Peterka, 1984).

3.3. Enerji Kırıcı Havuz (Tip IV)

Froude sayısının 2.5 ile 4.5 arasında olduğu havuz tipidir. Şekil 3.9'da havuz ve şüt bloklarının boyutlandırması; Şekil 3.10'da ise boyutlandırmaya ait tablo ve abak verilmiştir.



Şekil 3.9. Tip IV Havuz (Peterka, 1984).



Şekil 3.10. Tip IV Havuza ait boyutlandırmaya esas tablo ve abak (Peterka, 1984).

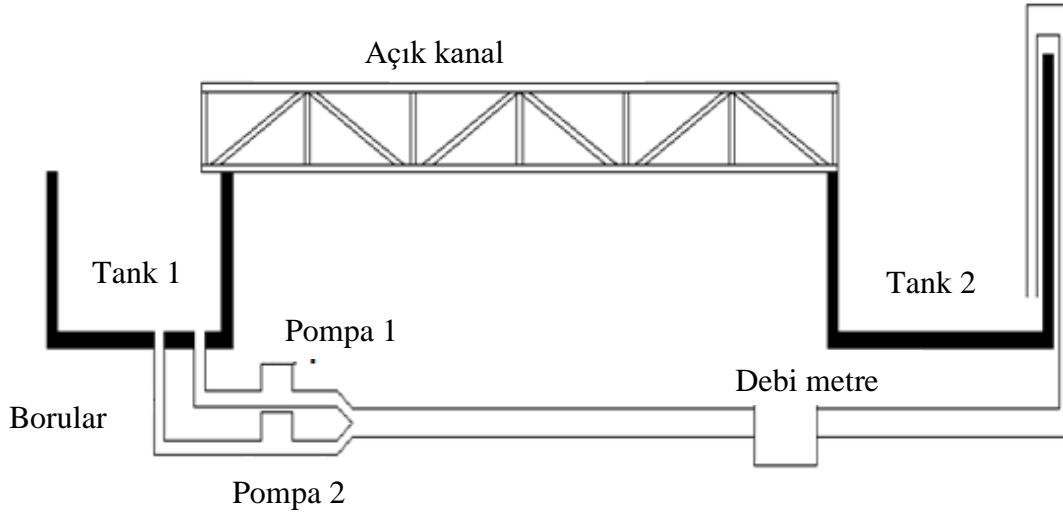
4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

USBR Tip III Enerji kırıcı havuz içerisine yerleştirilen enerji kırıcı blokların sönümlenme oranlarının deneysel yöntemlerle araştırılması üzerine Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada 4 farklı geometrik şekilde enerji kırıcı bloklar ile tek sıra, iki sıra ve iki sıra eşiksiz olmak üzere toplamda 12 deney düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneğinde şüt blokları ile enerji kırıcı blokların yüksekliği ve genişliği sabit tutulmuş farklı debilerde çalışılmıştır. Deneylerde 7 farklı debide sıçramadan sonraki yükseklik ile mansap su seviyesi ölçümleri yapılarak elde edilen veriler karşılaştırılmış, enerji kırılma miktarları hesaplanmıştır.

4.1.1. Deney düzeneği

Deneyler, boyu 670 cm, genişliği 30 cm ve derinliği 50 cm olan dikdörtgen kesitli açık kanalda yapılmıştır. Deney düzeneğinde iki tank arasına yerleştirilen açık kanala su pompalar ile devri daim yapılmaktadır. Devridaim borusuna yerleştirilen akım ölçerle akımın debisi ölçülmektedir. Açık kanala yerleştirilen yüksekliği 7 cm ve genişliği 8.48 cm olan dolusavak yapısına gelen akım şartlarını düzenlemek için akım düzenleyiciden geçerek elde edilen akım derinliği ± 1 mm hassasiyetli limnometre ile ölçülmüştür. Açık kanal, 0.6 cm kalınlığındaki iki temperli cam tabakanın aralarına yerleştirilen plastik katmanla birleştirilmesiyle elde edilmiş, 1.2 cm kalınlığındaki lamine camdan yapılmıştır. Lamine camın kalın kullanılmasındaki amaç, ufak darbelerde camın kırılmasını önlemek ve fazla yükleri taşıyabilmesine olanak sağlamaktır. Deneylerde fiberglasdan imal edilmiş olan şüt ayakları kullanılmıştır. Açık kanal sisteminde akan su iki haznedan sağlanmaktadır. Pompalar suyu 1. haznedan alıp 2. hazneye basmaktadır. 2. hazneye gelip taşan su açık kanaldan geçmekte ve buradan 1. hazneye tekrar dökülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. a) Açık kanal düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 4.1.b) Açık kanal düzeneğinin laboratuvar görünüşü

Deney düzeneğinin açık kanal akımı, her biri 7.5 kW gücünde sisteme paralel olarak bağlanmış iki adet pompa ile sağlanmaktadır. Kanaldaki toplam debi her iki pompadan gelen debinin toplamına eşit olmaktadır (Şekil 4.2). Pompaların sağlayacağı debi miktarı, pompaların bağlı olduğu panodaki frekans değiştiricileri vasıtasıyla ayarlanmaktadır (Şekil 4.3) Elektriğin frekansı 0-50 Hz arasında değiştirilerek, pompalara giden elektrik akımının amper değeri değiştirilmekte, böylece pompaların

devir sayısı değişmekte ve debi ayarlanmaktadır. Sistemden geçen debi, pompalardan sonra boruların arasına yerleştirilen bir debimetre vasıtasıyla okunmaktadır (şekil 4.4).



şekil 4.2. Sistemde su dolaşımını sağlayan pompalar



şekil 4.3. Pompaların devrini kontrol eden frekans konvertörlü pano



Şekil 4.4. Debi ölçümünde kullanılan debimetre

4.1.2. Deney düzeneğinin oluşturulması

Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında açık kanal üzerinde mevcut bulunan memba yüzü dik ogee savak üzerindeki maksimum akım yüksekliği 14.40 cm olup buna karşılık gelen debi 39.62 l/s'dir (Şekil 4.5). Kanalın anahtar eğrisi için her bir debiye karşılık gelen savak yükü ve hidrolik sıçramadan önceki mansap su yüksekliği limnometre yardımıyla ölçülerek çıkartılmıştır.



Şekil 4.5. Savak anahtar eğrisi

Okuma yapılan her mansap su yüksekliği için hız ve Froude sayısı hesaplanmış olup en yüksek hız 2,75 m/s en yüksek Froude sayısı ise 8,83 olarak hesaplanmıştır.

Bölüm 3'te de belirtildiği gibi hesaplanan Froude sayısı 4.5'dan büyük ve hesaplanan en büyük akım hızının ise 18.3 m/s (60 ft/s)'den küçük olduğu akım şartlarında tasarım için uygun olan USBR tip III seçilmiş, Şekil 3.7 ve 3.8'de verilen boyutlandırmaya esas grafiğe göre boyutlandırılmıştır.

Tasarım debisinde hidrolik sıçramadan önceki mansap su yüksekliği h_1 , 4.80 cm olarak ölçülmüştür. Kanal genişliği 30 cm olup 39,62 l/s debi için yapılan hesaplamalar Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Tasarım hesapları

Q	H	h_1	Kanal genişliği, B	$V=Q/A$	$Fr = V/\sqrt{gh_1}$	$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1}{2}$
(l/s)	(cm)	(cm)	(cm)	(m/s)		
1.10	1.52	0.26	30.00	1.41	8.83	3.12
39.62	14.40	4.80	30.00	2.75	4.01	24.92

Hesaplamalara örnek vermek amacı ile $Q=39.62$ l/s için yapılan örnek hesaplama aşağıda verilmiştir.

$$Q = V \times A \rightarrow \text{bağıntısından } V = 2,75 \text{ m/s olarak hesaplanmıştır.}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h_1}} \rightarrow \text{bağıntısından } Fr = 4,01 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1}{2} \rightarrow \text{bağıntısından } h_2 = 24,92 \text{ cm olarak hesaplanmıştır,}$$

boyutlandırmada h_2 : 25,00 cm h_1 : 5,00 cm olarak kabul edilmiştir.

Froude sayısına bağlı olarak Şekil 3.7 ve 3.8'de boyutlandırmaya esas grafiğe göre;

Havuz uzunluğu $\rightarrow L = 57,00$ cm,

Şut Blokları yüksekliği, genişliği, ara mesafesi $\rightarrow D_1 = W_1 = S_1 = 5,00$ cm

Enerji kırıcı blok yüksekliği $\rightarrow h_3 = 7,00$ cm,

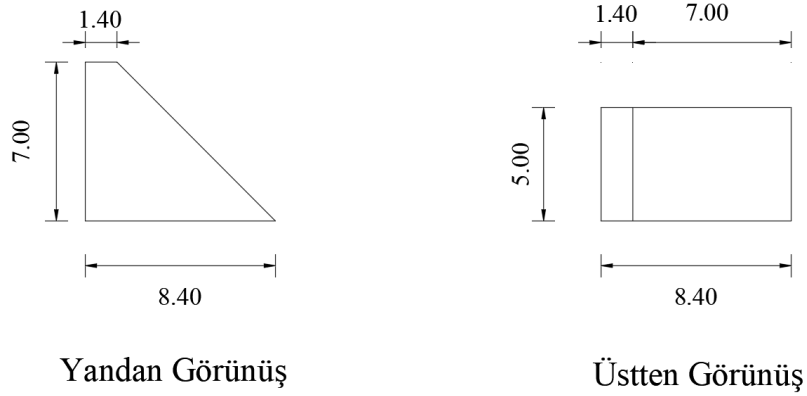
Enerji kırıcı blok genişliği ve ara mesafesi $\rightarrow W_3 = S_3 = 5,00$ cm,

Çıkış eşiği yüksekliği $\rightarrow h_4 = 6,25$ cm olarak hesaplanmıştır.

4.1.3. Deneyde kullanılan enerji kırıcı blok tipleri

Deneylerde trapez, dairesel, basamak ve T kesit tipi olmak üzere 4 farklı enerji kırıcı blok tipi kullanılmıştır. Kullanılan enerji blok tipleri enerji kırıcı havuza önce tek

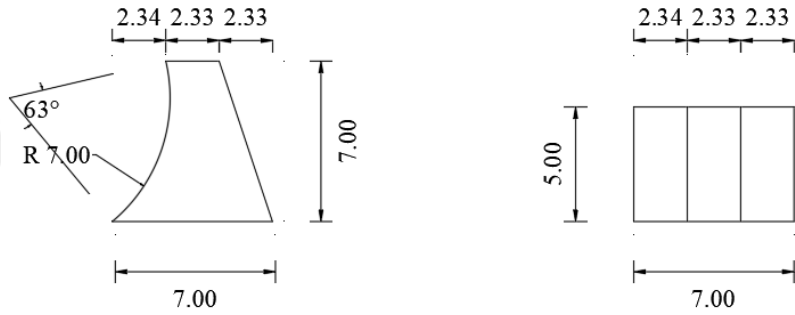
sıra, sonra 2 sıra daha sonra da 2 sıra eşiksiz olarak yerleştirilerek akım şartları incelenmiştir. Enerji kırıcı blok tiplerine ait plan ve profil görünüşleri Şekil 4.5-4.8 arasında verilmektedir.



Yandan Görünüş

Üstten Görünüş

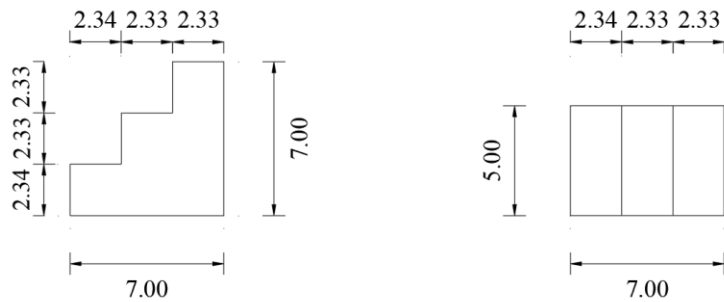
Şekil 4.6. Trapez kesitli blok



Yandan Görünüş

Üstten Görünüş

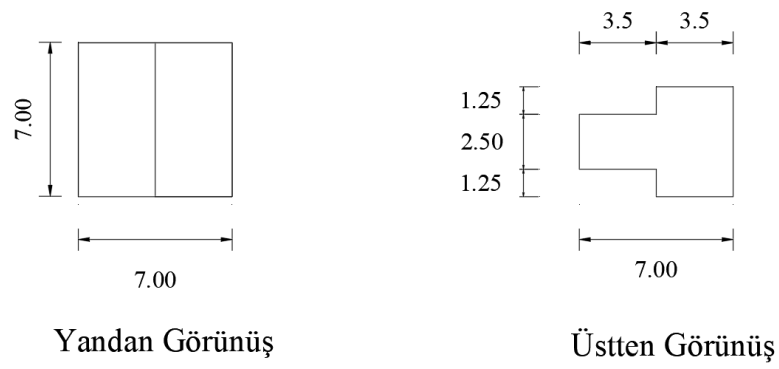
Şekil 4.7. Dairesel kesitli blok



Yandan Görünüş

Üstten Görünüş

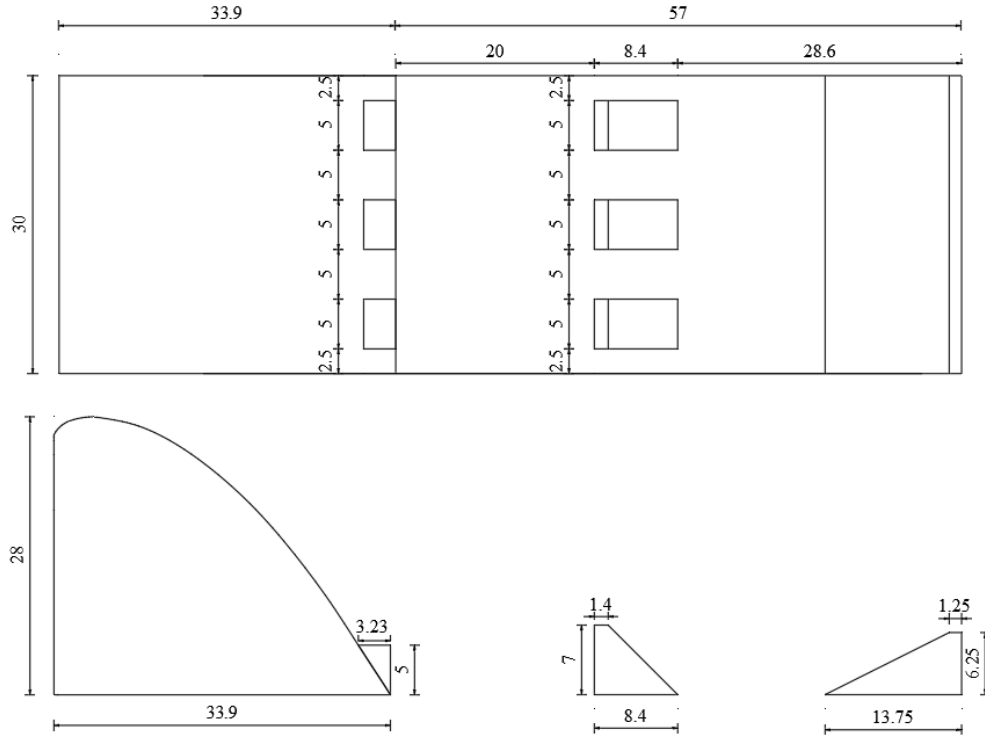
Şekil 4.8. Basamak kesitli blok



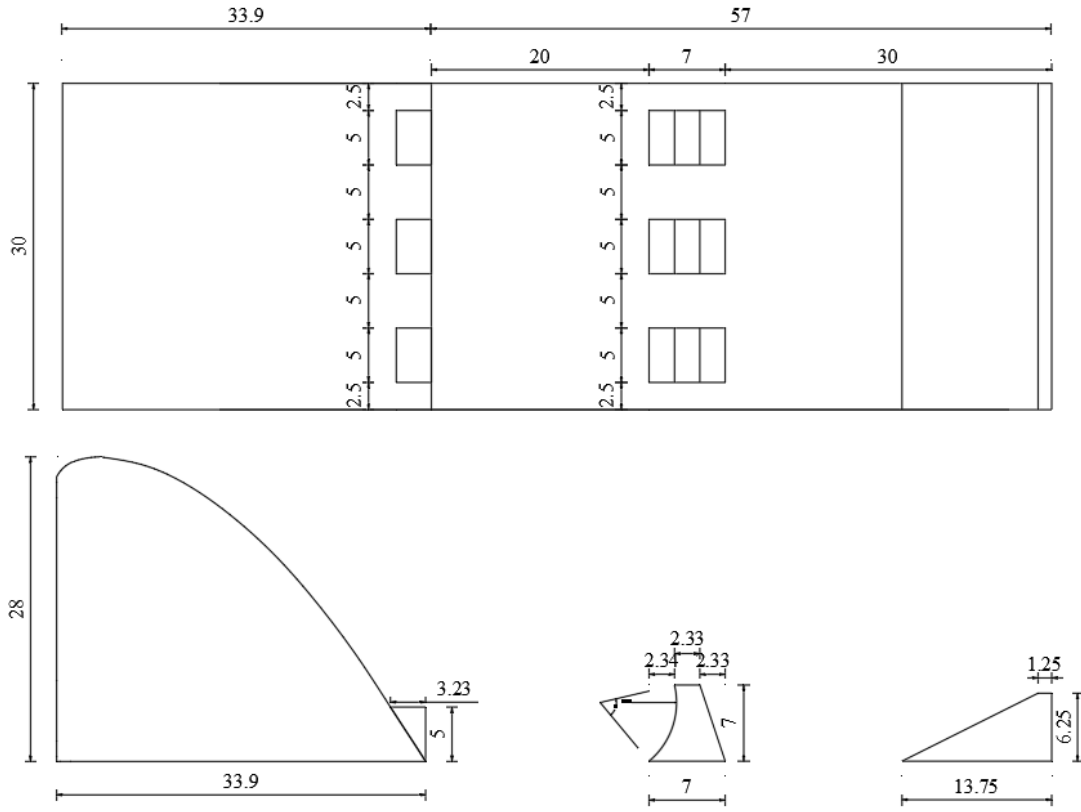
Şekil 4.9. T kesitli blok

4.1.4. Enerji kırıcı blokların yerleşim planı

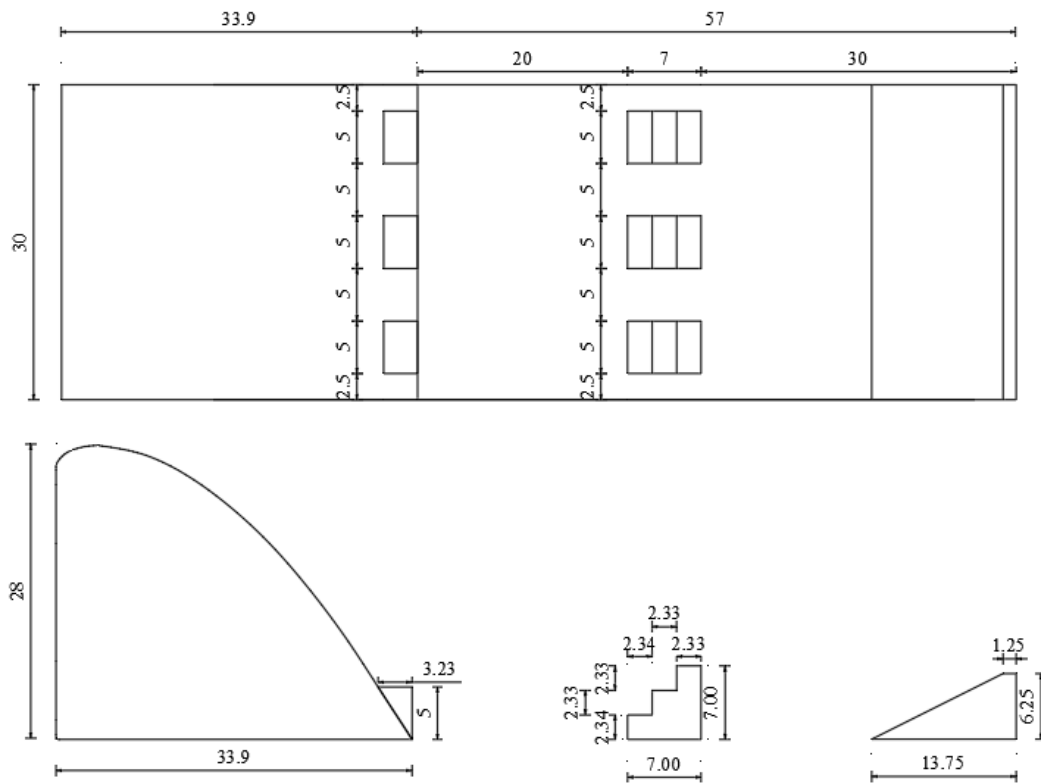
Enerji kırıcı blok tiplerinin tek ve 2 sıra yerleşimleri ile 2 sıra eşiksiz yerleşim plan ve kesitleri ile blok detayları Şekil 4.10.1- Şekil 4.12.4 arasında verilmektedir.



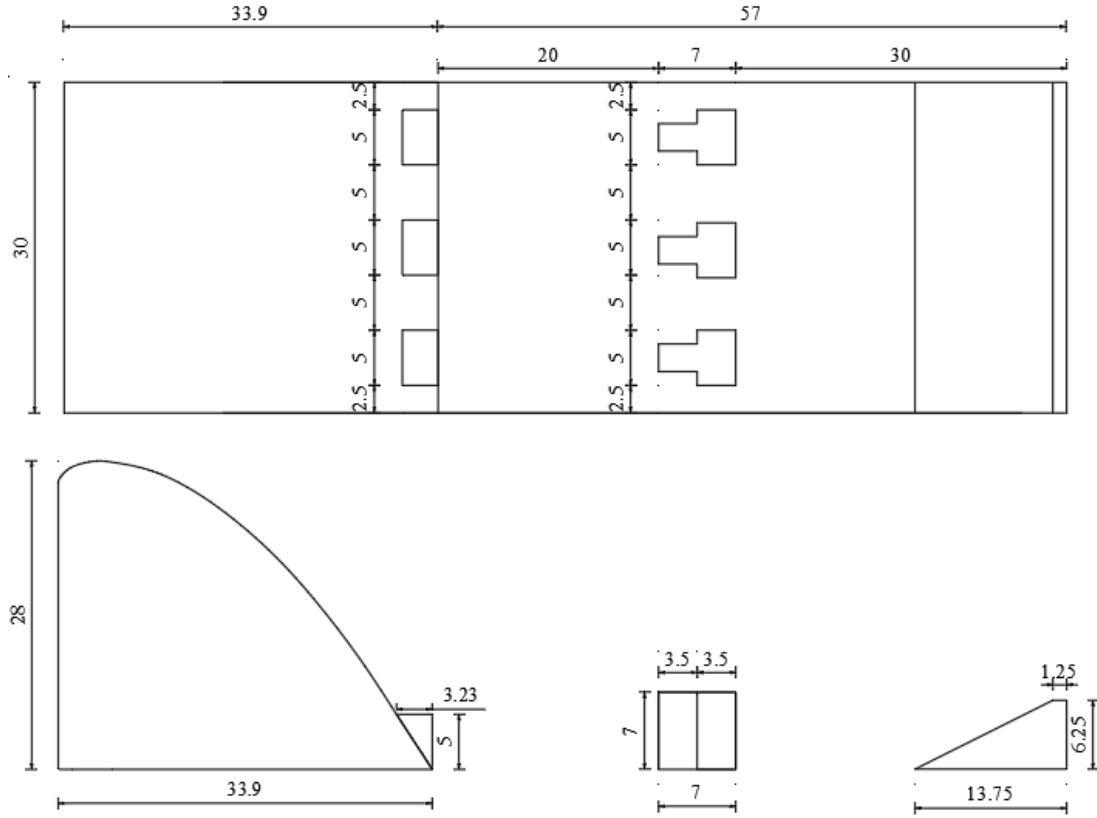
Şekil 4.10.1. Trapez kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



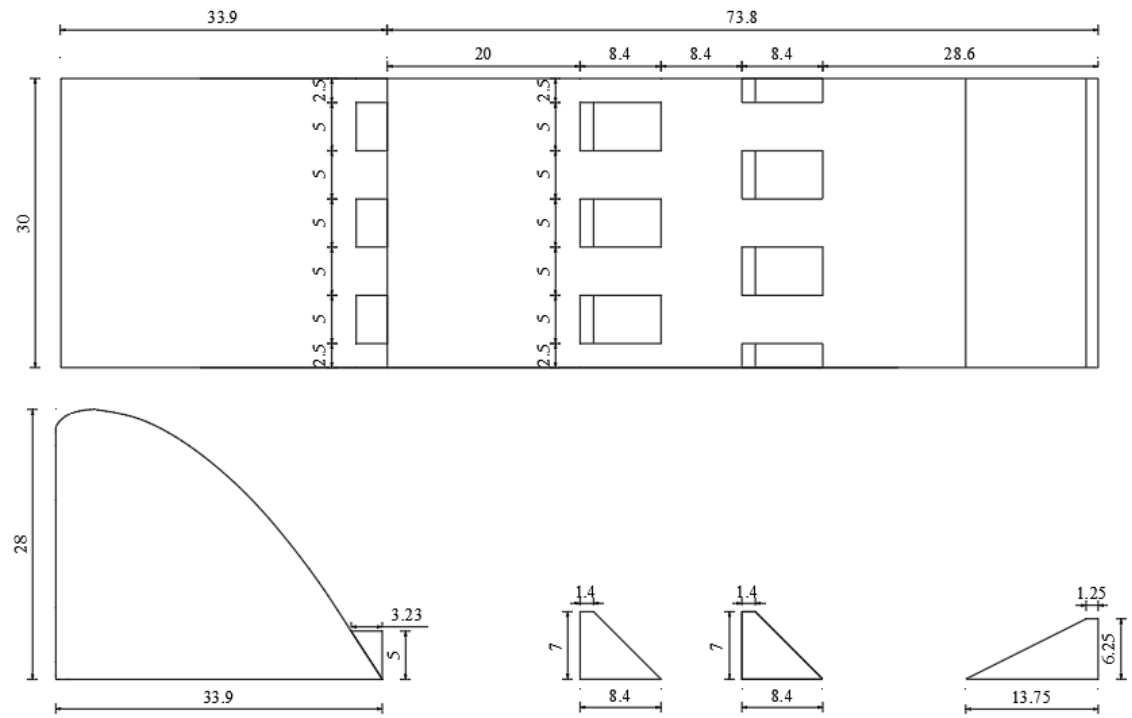
Şekil 4.10.2. Dairesel kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



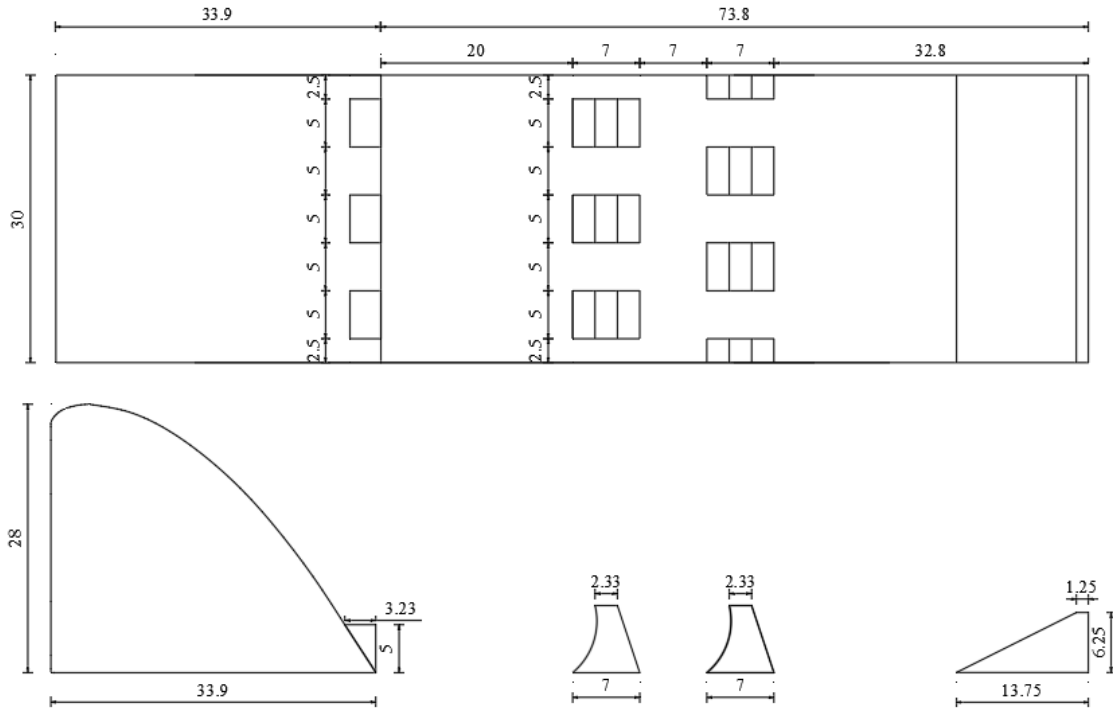
Şekil 4.10.3. Basamak kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



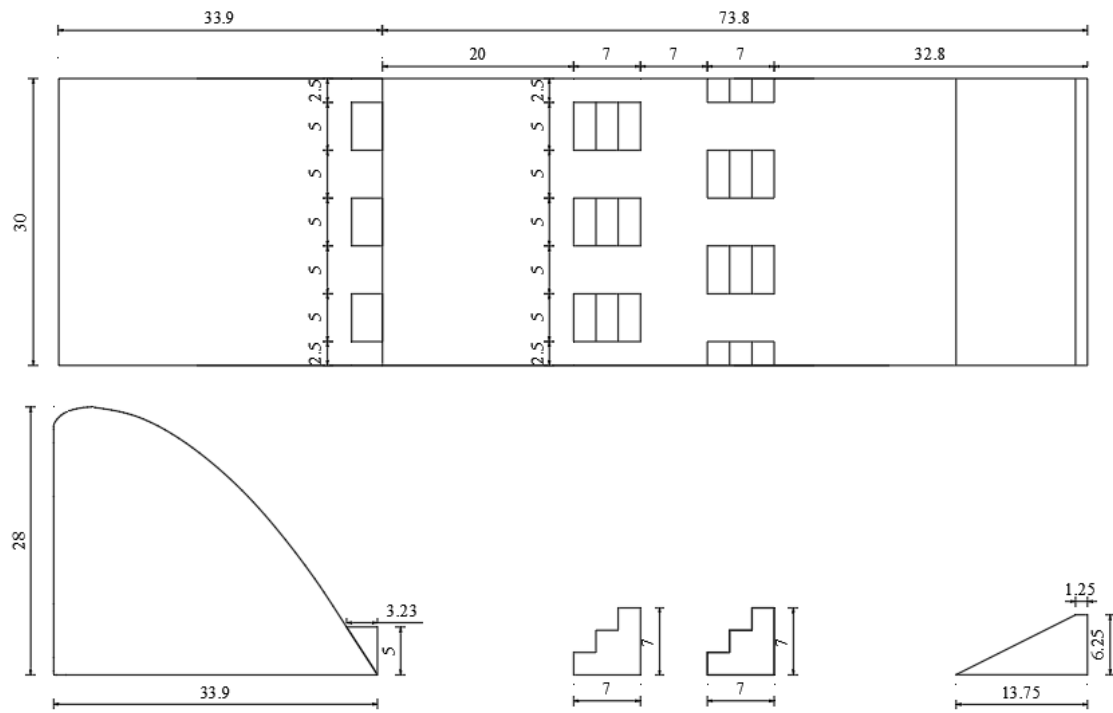
Şekil 4.10.4. T kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



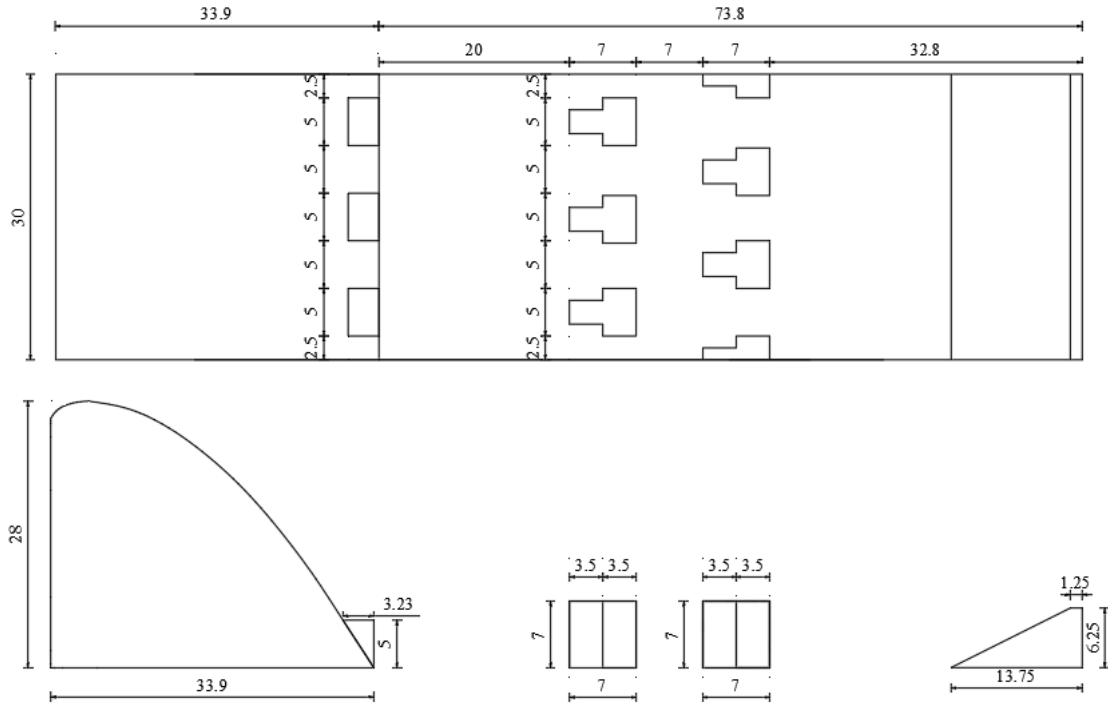
Şekil 4.11.1. Trapez kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



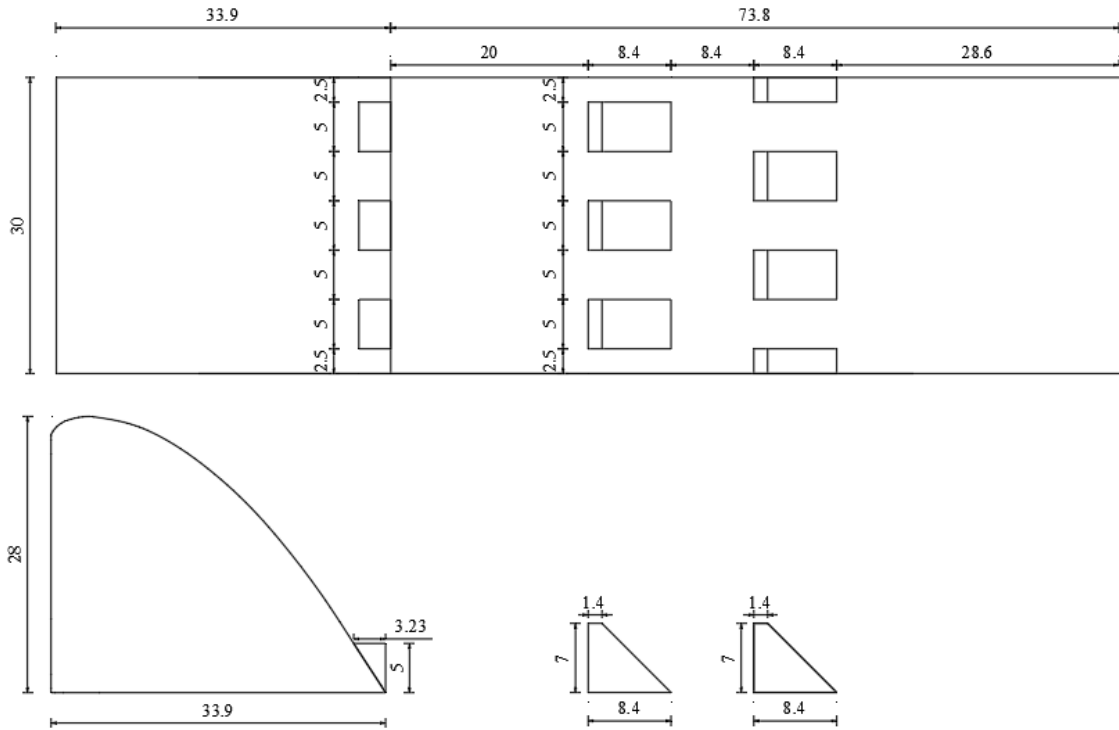
Şekil 4.11.2. Dairesel kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



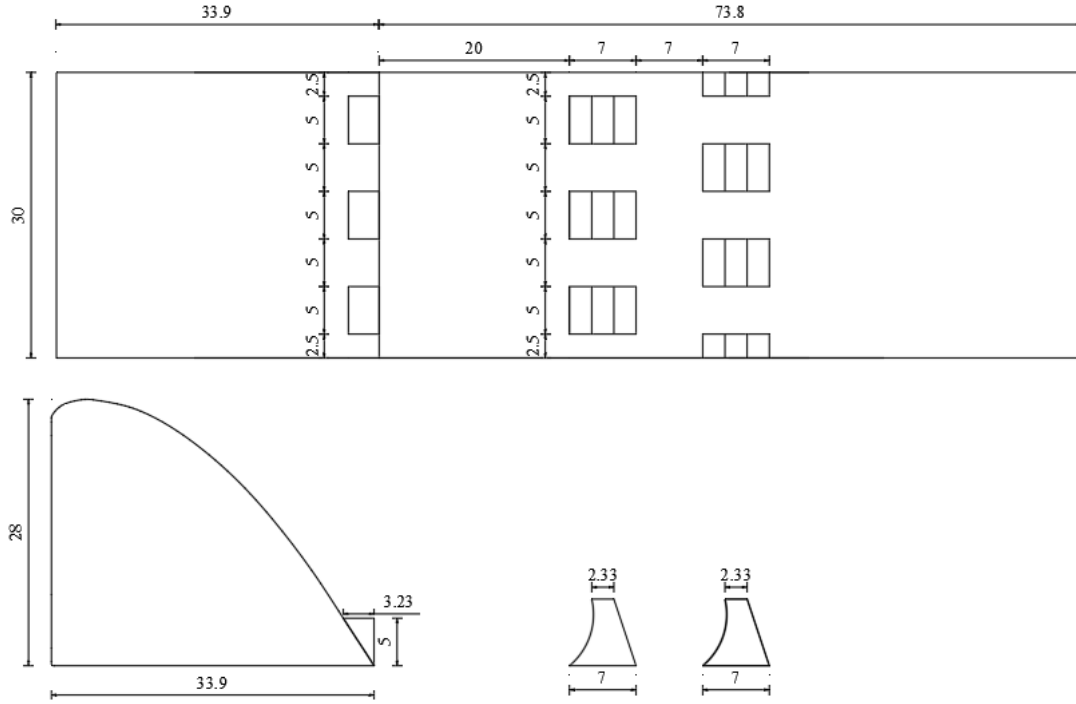
Şekil 4.11.3. Basamak kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



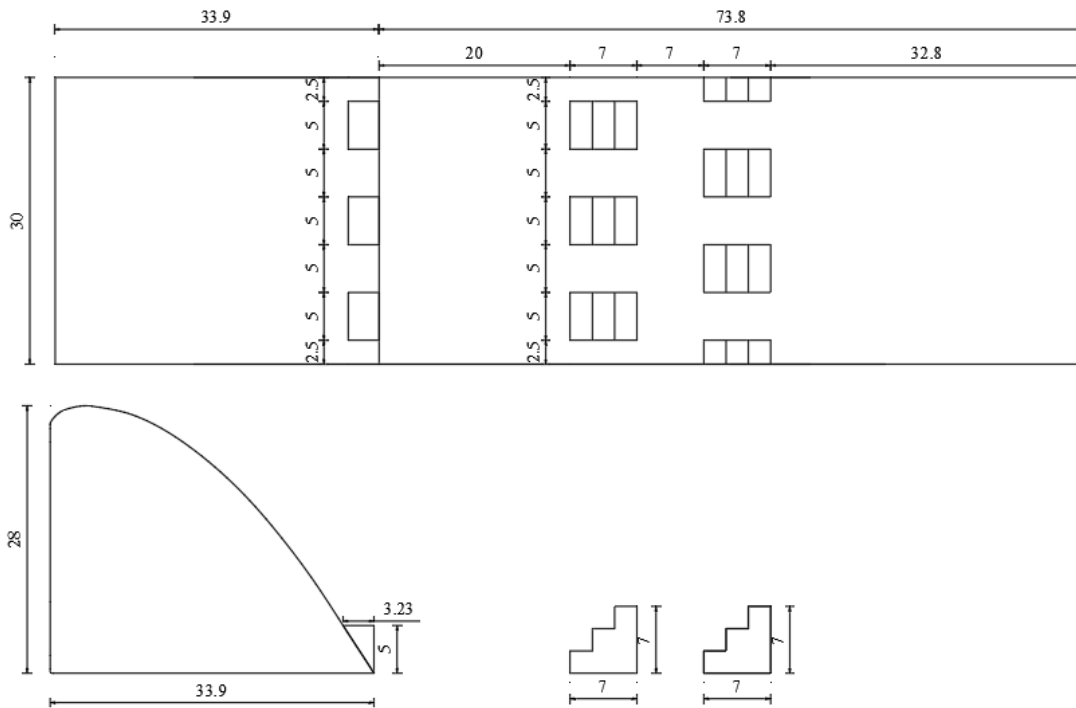
Şekil 4.11.4. T şekilli çift sıra enerji kırıcı blokların yerleşim planı



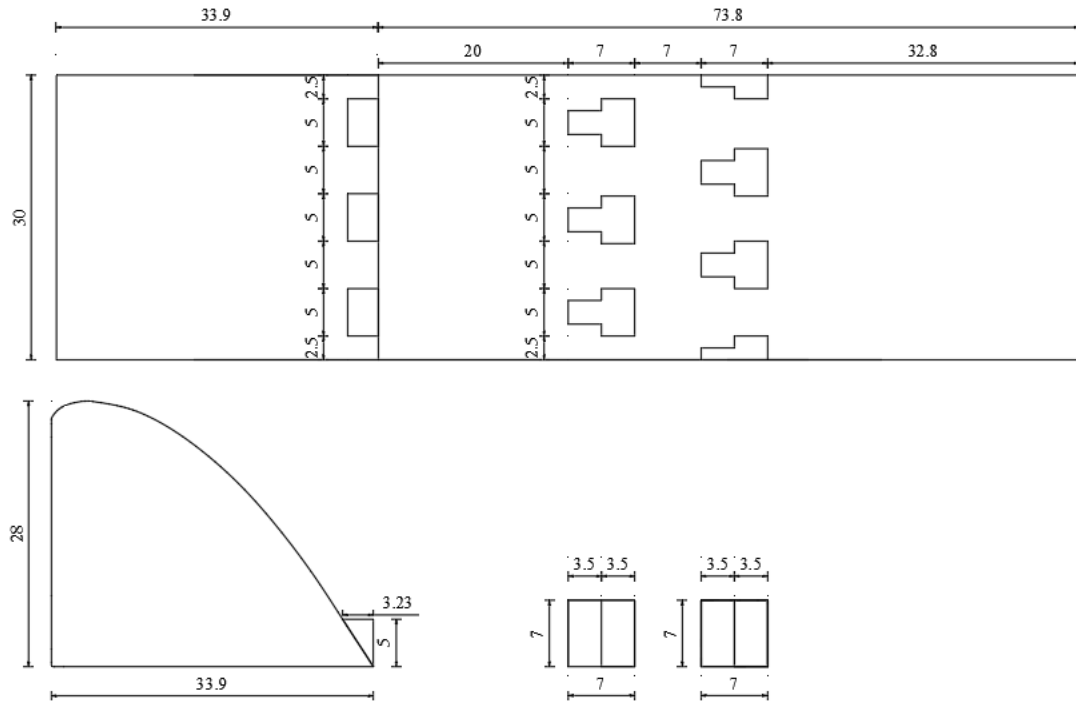
Şekil 4.12.1. Trapez kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların yerleşim planı



Şekil 4.12.2. Dairesel kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların yerleşim planı



Şekil 4.12.3. Basamak kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların yerleşim planı



Şekil 4.12.4. T şekilli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların yerleşim planı

4.2. Metod

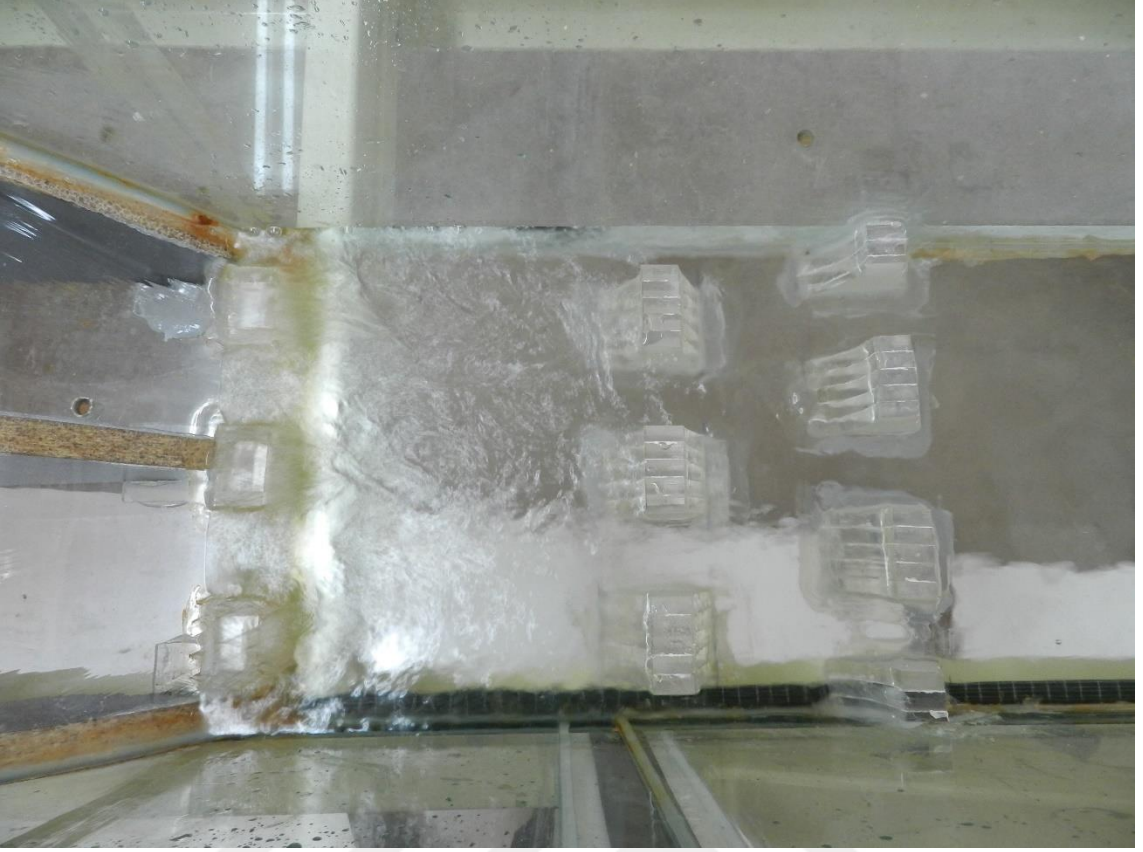
4.2.1. Deneysel çalışma

Enerji kırıcı havuz içerisine yerleştirilen enerji kırıcı bloklar ile ilgili yapılan deneyler Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneyler 0,30 m genişlik ve 0,50 m yüksekliğe sahip dikdörtgen açık kanalda yürütüldü. Açık kanal sisteminde akım iki hazne ile sağlanmaktadır. Akım 1. hazneden 2. hazneye pompalar yardımı ile devir yapılmaktadır. 2. hazneye gelen akım açık kanaldan geçerek 1. hazneye tekrar dökülmektedir. Pompaların basacağı debi miktarı, pompaların bağlı olduğu panodaki frekans değiştiricileri vasıtasıyla ayarlanmış ve deneylerde 10 l/s, 15 l/s, 20 l/s, 25 l/s, 30 l/s, 35 l/s ve 39,62 l/s olmak üzere 7 farklı debi değerleri kullanılmıştır. Sistemden geçen debi, pompalardan sonra boruların arasına yerleştirilen bir debimetre vasıtasıyla ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan enerji kırıcı havuz elemanları pleksiglas malzemeden üretilmiştir. Bu enerji kırıcı havuz elemanları USBR tarafından önerilen yöntemler doğrultusunda hazırlanmış ve açık kanal içerisine silikon yardımıyla yapıştırılmıştır. Sıçramadan sonraki mansap su yükseklikleri limnometre yardımıyla ölçülmüştür. Deneysel çalışmalara ait örnek görüntüler Şekil 4.13-4.16 arasında verilmiştir.



Şekil 4.13. Trapez kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların yerleşim şekli



Şekil 4.14 Dairesel kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların yerleşim şekli



Şekil 4.15 Basamak kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların yerleşim şekli



Şekil 4.16. T şekilli çift sıra enerji kırıcı blokların yerleşim şekli

4.2.2. FLOW 3D ve matematiksel modelleme

Literatürde yapılan araştırmalarda, pek çok bilim alanında kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde (HAD), FLOW-3D matematiksel modellemelere sık sık rastlanmaktadır. Analizlerde tek akışkanlı-serbest yüzeyli akım çözümü metod olarak seçilerek hava hareketi ihmal edilebilmektedir. Bu sayede de eleman hacminin küçük olması ihtiyacına gerek kalmamaktadır ve analiz süresi kısalmaktadır. VOF (Volume of fluid-akım hacmi) metodu için her bir grid hücresinin doluluk veya boşluk oranını tanımlamak ve ön işlem (pre-process) kullanımı ile ön hata ayıklama işlemlerinin yapılması sağlanmaktadır. Bu metod grid kullanan diğer programlara göre avantaj sağlamaktadır. FLOW-3D, hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücüsü olan, sonlu farklar metodu kullanarak birden fazla akışkan karışımını çözebilen matematiksel hesaplama yapan ticari bir programdır. İç içe kesişebilen veya birbirine eklenebilen ağ blokları oluşturarak, katı modelin tarifini yapıp, akışkan davranışları izlenebilmekte, kaydedilebilmekte, görsel ve yazılı dokümanlara ulaşılabilir. Hidrolik

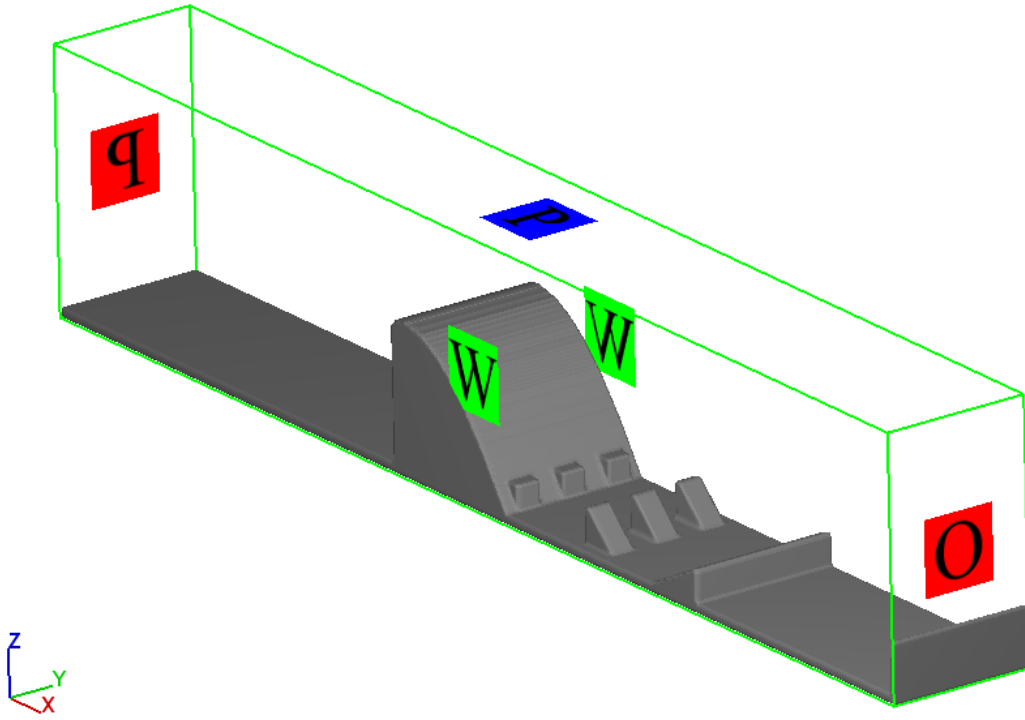
modellemelerde özellikle sediment taşınımı modellerinde, açık kanal modellerinde, lineer, doğal ve düzensiz dalga modellerinde, farklı türbülans modellerinde, serbest yüzey, rüzgar etkileşimi modellerinde ve sığ su modellemelerinde iyi sonuçlar vermektedir. Pek çok çizim programında çizilen katı modeller, FLOW-3D içine aktarılarak, uygun sayıda kartezyen ağ ile tarifiyenerek, akım şartları da seçilerek çalıştırılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında deneysel çalışmada kullanılan tek sıra enerji kırıcı blokların deney düzenekleri ogee savak üzerindeki maksimum akım yüksekliği olan 14.40 cm'ye karşılık gelen 39.62 l/s debi değerinde FLOW-3D matematiksel metod yöntemi ile test edilmiş ve sonuçlar deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın FLOW-3D matematiksel modelleme bölümünde, modelin ağ hücre yapısı tek parçadan oluşmuştur. Model ise üç ana unsurdan oluşmaktadır.

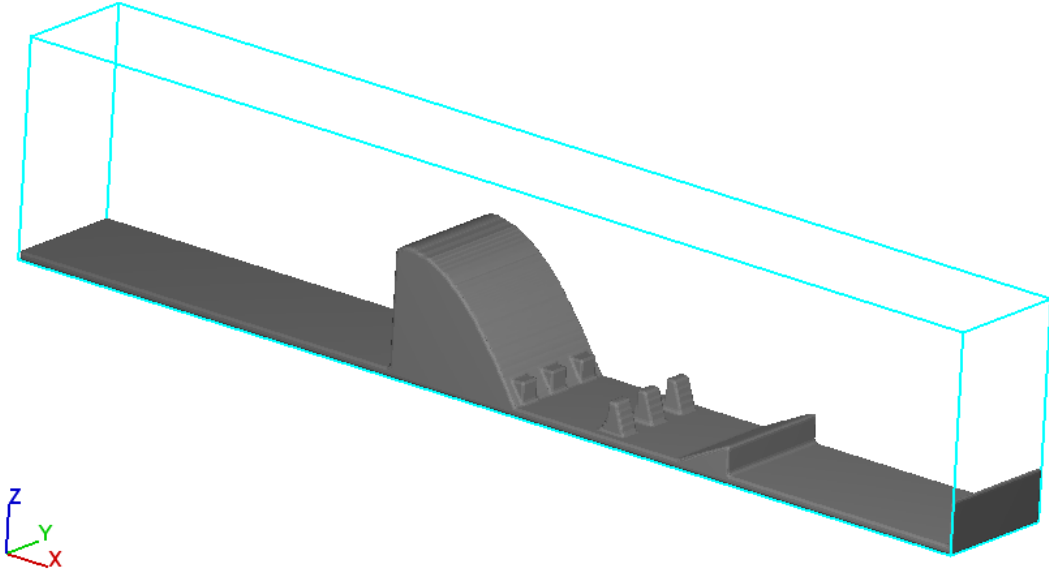
- Akımın kanala verildiği rezervuar kısmı: Akım şartlarının uniform olmasını sağlamak amacı ile rezervuar kısmında ogee savak üzerinde 14.40 cm yüksekliğinde ve 39.62 l/s debi değerinde akım oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Sisteme suyun girdiği kısım (-X tarafi) pressure (statik su seviyesi) olarak tanımlanmıştır. Savak üzerinde istenilen savuk yüküne bağlı olarak bu statik su seviyesinin yüksekliği ayarlanmış ve istenilen yükseklikte suyun girmesi sağlanmıştır.
- Enerji kırıcı havuz: Hidrolik sıçrama yardımıyla akımın sel rejiminden nehir rejimine geçmesini sağlayan bölüm.
- Açık kanal: Hidrolik sıçrama sonrası akımın geçtiği bölüm.

5 mm hassasiyetle bir modelleme yapılarak analiz yaptırılan program, toplamda 3.000.000 ağ hücre yapısı çözüm süresini etkilediği için her bir çözüm iki gün sürmüştür. Sisteme suyun girdiği kısım pressure (statik su seviyesi), yan yüzeyler ve havuz tabanı duvar olarak, mansap kısmı outflow, üst kısım ise açık hava basıncını temsil edecek şekilde pressure olarak seçilmiştir.

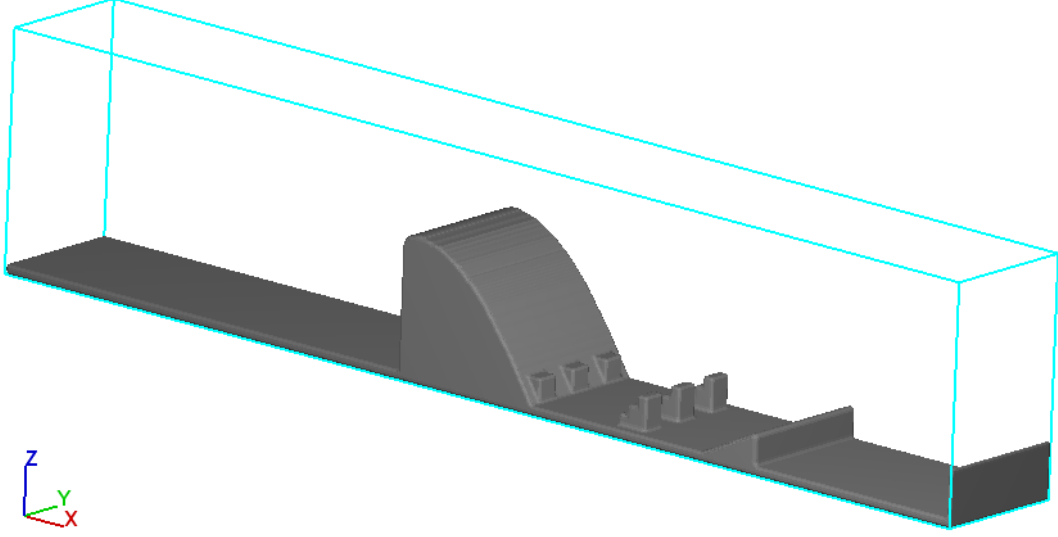
İstenilen analiz sonuçlarını elde edebilmek için “output” kısmından Fluid Fraction (doluluk oranı) ve hydraulic data seçenekleri işaretlenmiştir. Program bu seçimler doğrultusunda çözüm yapmakta ve sonuçları istenilen parametreleri çözmektedir. Ayrıca “nümerik” kısmından one fluid free surface seçilerek de akımın serbest yüzeyli açık kanal akımı olduğu belirtilmiştir. Her 0,2 saniye aralığında bir sonuç çıktıları toplanmıştır. FLOW-3D matematiksel model çalışmasında kullanılan katı modellere ait görüntüler Şekil 4.17 - 4.21 de verilmiştir.



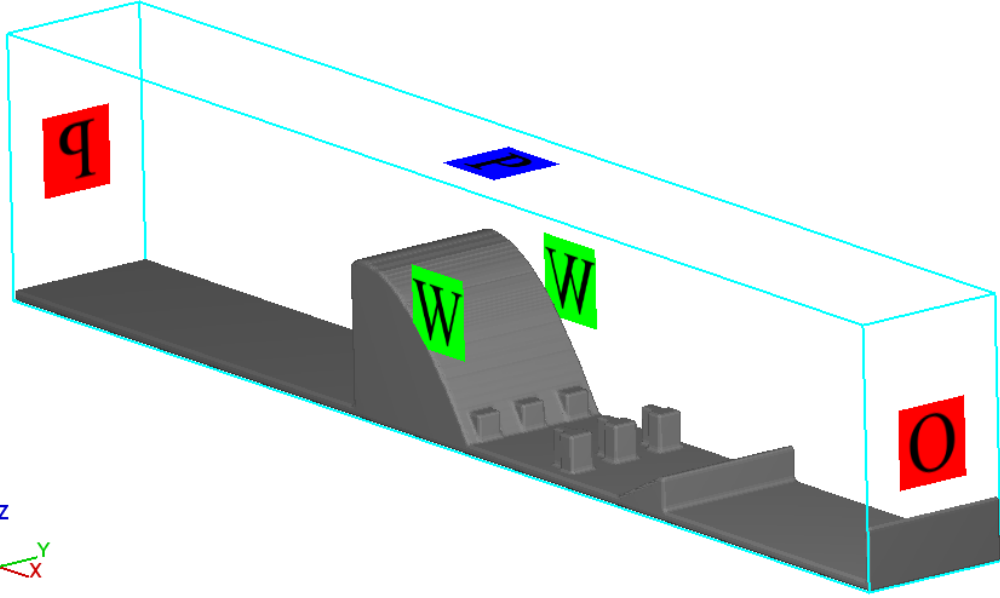
Şekil 4.17. Trapez kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların modellemesi



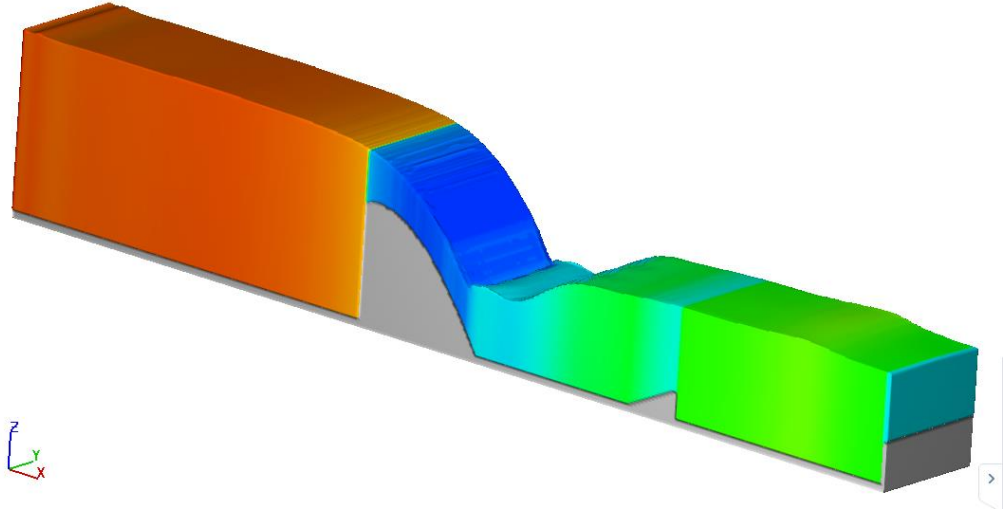
Şekil 4.18. Dairesel kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların modellemesi



Şekil 4.19. Basamak kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların modellemesi



Şekil 4.20. T Şekilli tek sıra enerji kırıcı blokların modellemesi



Şekil 4.21. T Şekilli tek sıra enerji kırıcı blokların modellemesi



5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Fiziksel Modelleme Sonuçları

Açık kanal üzerinde yapılan bu deneysel çalışma sırasında akım içinde oluşturulan hidrolik sıçrama yardımıyla akımdaki enerji sönümlenme oranları incelenmiştir.

Hidrolik sıçramadan önce ve sonra akımın ölçülen yükseklikleri ve akım hız yükseklikleri bulunarak, enerji yüksekliği formüllerinden, akımdaki enerji yükseklikleri hesaplanarak enerji sönümlenme oranları bulunmuştur.

Tablo 5.1. Trapez kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1325	0,25	0,14	0,44	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1525	0,33	0,16	0,43	4,76	0,27
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1755	0,39	0,18	0,49	5,02	0,29
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1905	0,44	0,20	0,48	4,76	0,32
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2095	0,48	0,22	0,45	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2375	0,49	0,25	0,39	4,12	0,32
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2485	0,53	0,26	0,39	4,01	0,34

Tablo 5.2. Dairesel kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1315	0,25	0,13	0,44	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1485	0,34	0,15	0,44	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1705	0,40	0,18	0,50	5,02	0,31
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1875	0,44	0,20	0,49	4,76	0,33
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2135	0,47	0,22	0,44	4,41	0,32
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2385	0,49	0,25	0,39	4,12	0,32
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2515	0,53	0,27	0,39	4,01	0,33

Tablo 5.3. Basamak kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1325	0,25	0,14	0,44	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1505	0,33	0,16	0,44	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1725	0,39	0,18	0,50	5,02	0,30
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1885	0,44	0,20	0,49	4,76	0,33
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2105	0,48	0,22	0,45	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2385	0,49	0,25	0,39	4,12	0,32
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2495	0,53	0,26	0,39	4,01	0,34

Tablo 5.4. T kesitli tek sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1305	0,26	0,13	0,44	5,32	0,23
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1495	0,34	0,16	0,44	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1725	0,39	0,18	0,50	5,02	0,30
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1895	0,44	0,20	0,49	4,76	0,32
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2145	0,47	0,23	0,44	4,41	0,32
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2325	0,50	0,25	0,40	4,12	0,33
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2425	0,54	0,26	0,41	4,01	0,35

Tablo 5.5. Trapez kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1285	0,26	0,13	0,45	5,32	0,23
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1445	0,35	0,15	0,46	4,76	0,29
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1675	0,40	0,18	0,51	5,02	0,32
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1835	0,45	0,19	0,50	4,76	0,34
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2115	0,47	0,22	0,44	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2335	0,50	0,25	0,40	4,12	0,33
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2525	0,52	0,27	0,39	4,01	0,33

Tablo 5.6. Dairesel kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1330	0,25	0,14	0,43	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1485	0,34	0,15	0,44	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1715	0,40	0,18	0,50	5,02	0,30
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1905	0,44	0,20	0,48	4,76	0,32
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2125	0,47	0,22	0,44	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2155	0,54	0,23	0,44	4,12	0,37
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2505	0,53	0,26	0,39	4,01	0,34

Tablo 5.7. Basamak kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1335	0,25	0,14	0,43	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1515	0,33	0,16	0,43	4,76	0,27
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1755	0,39	0,18	0,49	5,02	0,29
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1905	0,44	0,20	0,48	4,76	0,32
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2125	0,47	0,22	0,44	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2425	0,48	0,25	0,38	4,12	0,31
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2545	0,52	0,27	0,38	4,01	0,33

Tablo 5.8. T kesitli çift sıra enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1315	0,25	0,13	0,44	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1505	0,33	0,16	0,44	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1765	0,38	0,18	0,49	5,02	0,29
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1935	0,43	0,20	0,48	4,76	0,31
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2185	0,46	0,23	0,43	4,41	0,31
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2365	0,49	0,25	0,40	4,12	0,32
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,249	0,53	0,26	0,39	4,01	0,34

Tablo 5.9. Trapez kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1295	0,26	0,13	0,45	5,32	0,23
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1455	0,35	0,15	0,45	4,76	0,29
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1705	0,40	0,18	0,50	5,02	0,31
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1885	0,44	0,20	0,49	4,76	0,33
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2085	0,48	0,22	0,45	4,41	0,34
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2325	0,50	0,25	0,40	4,12	0,33
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2425	0,54	0,26	0,41	4,01	0,35

Tablo 5.10. Dairesel kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1290	0,26	0,13	0,45	5,32	0,23
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1455	0,35	0,15	0,45	4,76	0,29
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1725	0,39	0,18	0,50	5,02	0,30
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1855	0,45	0,20	0,50	4,76	0,33
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2115	0,47	0,22	0,44	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,2345	0,50	0,25	0,40	4,12	0,33
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2515	0,53	0,27	0,39	4,01	0,33

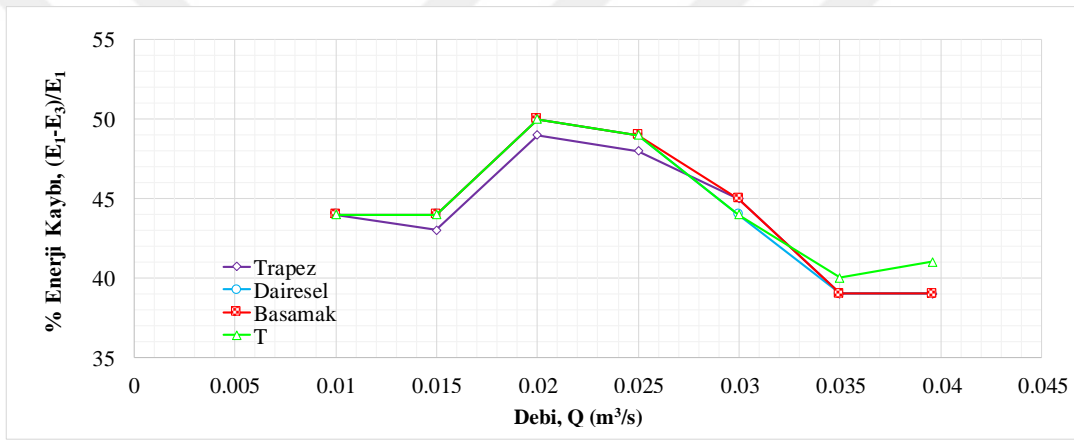
Tablo 5.11. Basamak kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1295	0,26	0,13	0,45	5,32	0,23
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1475	0,34	0,15	0,45	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1685	0,40	0,18	0,51	5,02	0,31
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1865	0,45	0,20	0,49	4,76	0,33
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,209	0,48	0,22	0,45	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,234	0,50	0,25	0,40	4,12	0,33
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2465	0,54	0,26	0,40	4,01	0,34

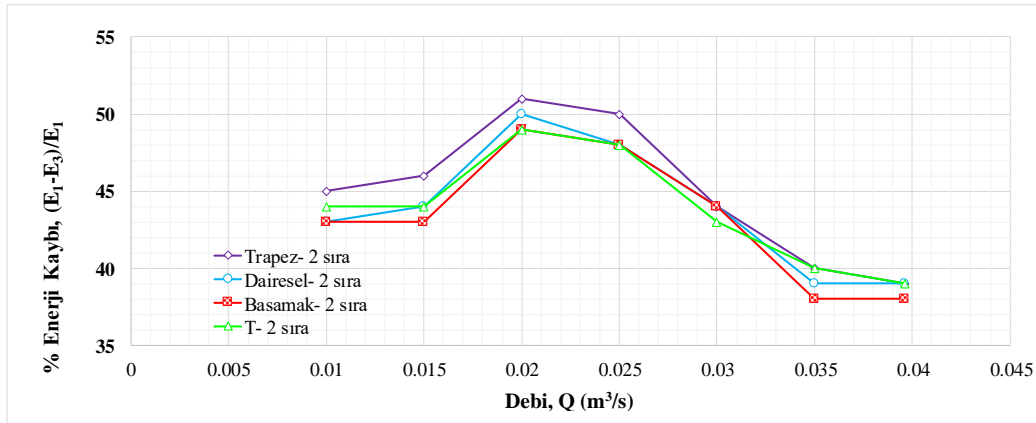
Tablo 5.12. T kesitli çift sıra eşiksiz enerji kırıcı blokların deney sonuçları

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	E ₁ (m)	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₂ (m)	(E ₁ .E ₂)/E ₁	Fr ₁	Fr ₂
0,010	0,0159	2,10	0,24	0,1325	0,25	0,14	0,44	5,32	0,22
0,015	0,0225	2,24	0,28	0,1485	0,34	0,15	0,44	4,76	0,28
0,020	0,0265	2,56	0,36	0,1755	0,39	0,18	0,49	5,02	0,29
0,025	0,0315	2,65	0,39	0,1895	0,44	0,20	0,49	4,76	0,32
0,030	0,0375	2,67	0,40	0,2095	0,48	0,22	0,45	4,41	0,33
0,035	0,0435	2,69	0,41	0,229	0,51	0,24	0,41	4,12	0,34
0,0396	0,0480	2,75	0,43	0,2445	0,54	0,26	0,40	4,01	0,35

Enerji sönümlenme miktarlarını tespit etmek ve en etkili plan şeklini bulmak amacı ile enerji kırıcı bloklar; tek sıra, çift sıra ve çift sıra eşiksiz dizilişlerine göre kıyaslanılmışlardır. Yapılan kıyaslamalara ait grafikler Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de verilmiştir.

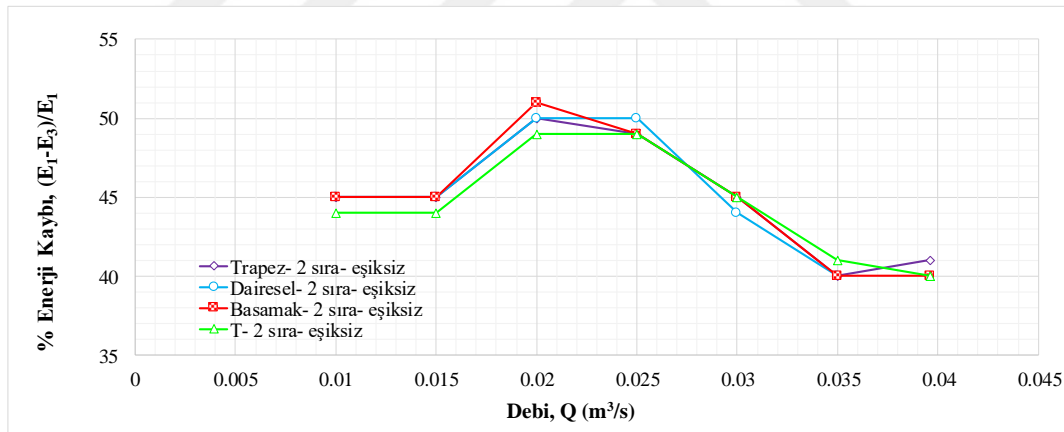
**Şekil 5.1.** Tek sıra dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümlenme oranları

Şekil 5.1’de tek sıra dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümlenme oranlarına bakıldığında, en yüksek sönümlenme oranınının 20 l/s ile tasarım debisinin hemen hemen %50’sine denk gelen debide %50 azaldığı görülmüştür. Tasarım debisinde ise en yüksek enerji kırma oranı T kesitli enerji kırıcı blok planına ait olduğu ve %41 değerine ulaştığı görülmüştür.



Şekil 5.2. Çift sıra dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranları

Şekil 5.2’de iki sıra dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranlarına bakıldığında, en yüksek sönümlenme oranınının 20 l/s ile tasarım debisinin hemen hemen %50’sine denk gelen debide %51 azaldığı görülmüştür. Tasarım debisinde ise en yüksek enerji kırma oranı T kesitli enerji kırıcı blok planına ait olduğu ve %39 değerine ulaştığı görülmüştür.



Şekil 5.3. Çift sıra eşiksiz dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranları

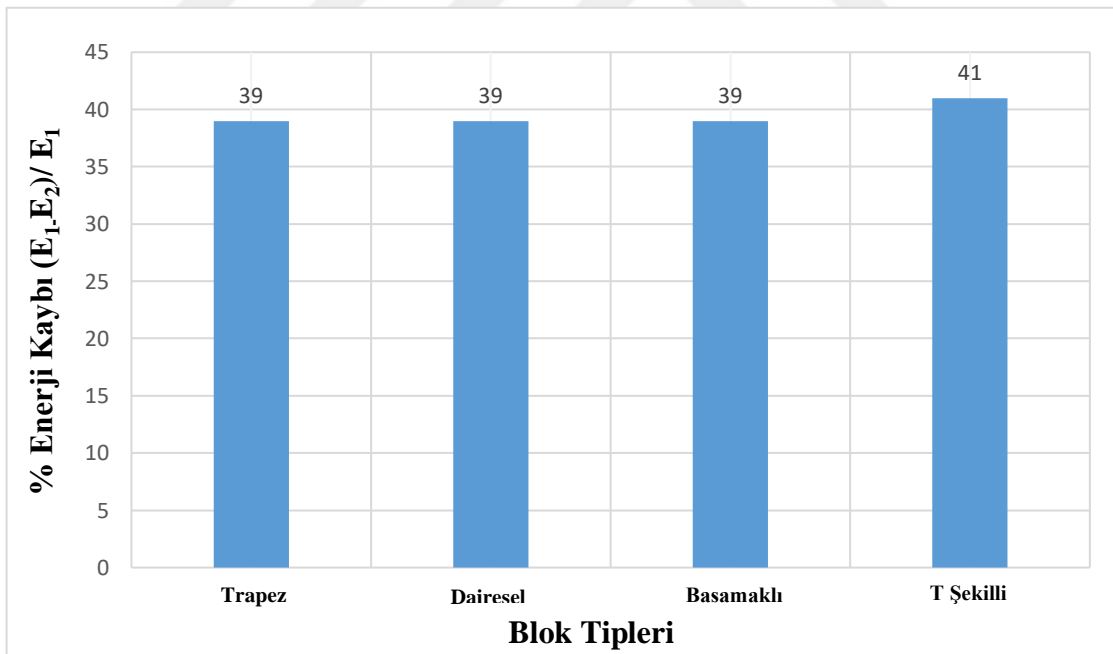
Şekil 5.3’de iki sıra eşiksiz dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranlarına bakıldığında, en yüksek sönümlenme oranınının 20 l/s ile tasarım debisinin hemen hemen %50’ine denk gelen debide %51 azaldığı görülmüştür. Tasarım debisinde ise en yüksek enerji kırma oranı trapez kesitli enerji kırıcı blok planına ait olduğu ve %41 değerine ulaştığı görülmüştür.

5.2. Sayısal Modelleme Sonuçları

Deneysel çalışmada kullanılan tek sıra enerji kırıcı blokların deney düzenekleri tasarım debi değerinde FLOW-3D matematiksel metod yöntemi ile test edilmiş ve elde edilen hidrolik özelliklere ait veriler Tablo 5.13’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, tasarım debisinde en yüksek enerji kırma oranının T kesitli enerji kırıcı bloğa ait olduğu ve enerji kırma miktarının %41 değerine ulaştığı görülmüştür. Yapılan kıyaslamaya ait grafik Şekil 5.4’de verilmiştir. Bu grafikten de görülebileceği gibi, Trapez, Basamaklı ve Dairesel kesitlere sahip enerji kırıcı bloklar %39’luk enerji kırma yüzdeleri ile aynı sönümlenme oranına sahiptirler.

Tablo 5.13. Tek sıra enerji kırıcı blokların sayısal modelleme sonuçları

Blok tipi	h_1 (m)	V_1 (m/s)	E_1 (m)	h_2 (m)	V_2 (m/s)	E_2 (m)	$(E_1-E_2)/E_1$	Fr_1	Fr_2
Trapez	0,0480	2,75	0,4338	0,2495	0,53	0,2638	0,39	4,01	0,34
Dairesel	0,0480	2,75	0,4338	0,2500	0,53	0,2642	0,39	4,01	0,34
Basamaklı	0,0480	2,75	0,4338	0,2485	0,53	0,2629	0,39	4,01	0,34
T Şekli	0,0480	2,75	0,4338	0,2410	0,54	0,2563	0,41	4,01	0,36



Şekil 5.4. Tasarım debisinde tek sıra dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümlenme oranları

5.3. Fiziksel ve Sayısal Modelleme Sonuçlarının Karşılaştırılması.

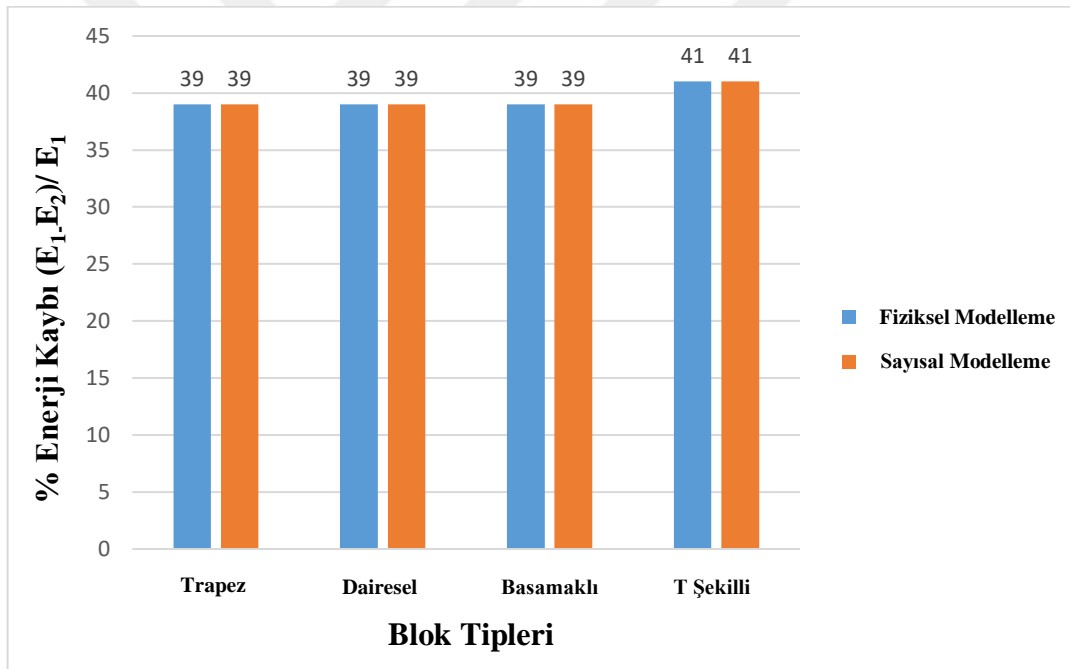
Tek sıra enerji kırıcı blokların deney düzenekleri yedi farklı debide fiziksel olarak, tasarım debi değerinde de FLOW-3D matematiksel metod yöntemi ile test edilmiştir. Tablo 5.14’de tek sıra dizilişli enerji kırıcı blokların enerji sönümlenme oranlarına

bakıldığında, deneysel çalışma sonuçları ile FLOW-3D sonuçları hemen hemen aynı değerlere sahip olmuştur.

Tablo 5.14 incelendiğinde, aynı akım şartlarında, hem fiziksel modellemede hem de sayısal model çalışmasında h_3 değerleri birbirine çok yakın, enerji kırma yüzdelerinin de aynı olduğu görülmektedir. Yapılan kıyaslamaya ait grafik 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.14. Tek sıra enerji kırıcı blokların fiziksel ve sayısal modelleme sonuçları

Blok tipi	Fiziksel Modelleme Sonuçları			Sayısal Modelleme Sonuçları		
	h_2 (m)	V_2 (m/s)	$(E_1-E_2)/E_1$	h_2 (m)	V_2 (m/s)	$(E_1-E_2)/E_1$
Trapez	0,2485	0,53	0,39	0,2495	0,53	0,39
Dairesel	0,2515	0,53	0,39	0,2500	0,53	0,39
Basamaklı	0,2495	0,53	0,39	0,2485	0,53	0,39
T Şekli	0,2425	0,54	0,41	0,2410	0,54	0,41



Şekil 5.5. Tek sıra dizilişli enerji kırıcı blokların fiziksel ve sayısal modelleme sonuçlarının karşılaştırılması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

USBR Tip III Enerji kırıcı havuz içerisine yerleştirilen farklı geometrik şekilli enerji kırıcı blokların sönümlenme oranları deneysel çalışma ve FLOW-3D matematiksel hesaplamaların sonuçlarının benzerlikleri ve farklılıklarını araştırmak üzere bir dizi deney yapılmış, aynı deney şartları matematiksel model ile de çalışılmıştır. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalara göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

6.1 Sonuçlar

Enerji kırıcı blokların blok yükseklikleri ve genişlikleri eşit seçilmiş toplam enerji kırıcı blok uzunluğu ise enerji kırıcı havuz genişliğinin %50'si olacak şekilde tasarlanmış ve enerji kırma oranlarının farklı olduğu görülmüştür.

Tüm deney düzeneklerinde hidrolik sıçrama meydana gelmiştir.

Denyede kullanılan tüm düzenek ve enerji kırıcı blok tiplerinde enerji sönümlenme oranları birbirine yakın çıkmıştır.

Tek sıra enerji kırıcı blok tasarımında, tasarım debisinde en yüksek sönümlenme oranı T kesitli enerji kırıcı blokta elde edilmiştir.

İki sıra enerji kırıcı blok tasarımında, tasarım debisinde en yüksek sönümlenme oranı yine T kesitli enerji kırıcı blokta elde edilmiştir.

İki sıra eşiksiz enerji kırıcı blok tasarımında, tasarım debisinde en yüksek sönümlenme oranı trapez kesitli enerji kırıcı blokta elde edilmiştir.

Tüm deney düzeneklerinde 20 l/s debide en yüksek sönümlenme oranı, tasarım debisinde ise en düşük sönümlenme oranı elde edilmiştir.

Tüm deney düzeneklerinde 20 l/s debiden büyük debilerde yarı batık akım şartları oluşması sebebiyle sönümlenme oranları azalmıştır.

Enerji kırıcı bloklar hidrolik sıçramanın oluşma mesafesini kısaltarak havuz uzunluğunun kısalmasını sağlamaktadır.

Deneysel çalışma sonuçları ile FLOW-3D sonuçları hemen hemen aynı değerlere sahip olmuştur.

Deneysel çalışmaların daha güvenilir sonuçlar verdiği düşünülse de laboratuvar imkanları, zaman, işçilik ve inşaat maliyeti açısından düşünülürse her zaman deneysel çalışma yapılamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Matematiksel çalışmaların hesaplamaları sırasında yapılan varsayımlar, ilk yatırım maliyeti ve eğitim zorlukları düşünülse de, kullanım kolaylığı ve program

sonuçlarının alınma süresi ve sonuçların deneysel çalışmalara ve gerçek sonuçlara benzerliği göz önünde bulundurulmalıdır.

6.2 neriler

Bu çalışmanın devamında, farklı akım şartlarında, farklı tip enerji bloklarının yükseklik ve mesafeleri değiştirilerek deneysel ve matematiksel çalışmaların devamının yapılması planlanmaktadır.

Farklı dolusavak şekli ve farklı akım şartlarında çalışmaların yapılması, tasarımın genellenmesi açısından önemlidir.



7. KAYNAKLAR

- Anonim, 2012, Baraj Hidrolik Yapılar Tasarım Rehberi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), 1. Barajlar Kongresi, Ankara.
- Bestawy, A., 2013, New shapes of baffle piers used in stilling basins as energy dissipator, ATE, ISSN: 2221-4267, Vol. 03 (1), 1-7.
- Bradley, J. N., and Peterka, A. J., 1957, The hydraulic design of sitiling basins, Journal Hydraulic Div., ASCE, Vol. 82, No.5, paper. 1401
- Chow, V.T., 1959, Open Channel Hydraulics, Mc Graw-Hill Book, New York
- Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N., 1993, Su Kaynakları Mühendisliği, Beta Basım A.S., Altıncı Baskı, İstanbul, 395s.
- Kaya, N., 2003, Enerji Kırıcı Havuzlarda Farklı Tip Enerji Kırıcı Blokların Enerji Sönümleme Oranlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 101s.
- Kuttiammu, T. P., Rao, J. V., 1951, Bhavani Type Stilling Basin For Spillways of Large Dams, Q 12, R 44; 4th ICOLD, New Delhi,
- Mohamed Ali, H. S., 1991, Effect of roughened-bed stilling basin on lenght of rectangular hydraulic jump, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 1, January, pp. 83- 93
- Morris, H. M., Hydraulics of energy dissipation in steep, rough channels, Bulletin 19, Research division; Virginia Polytechnic Institute, USA, Nov 1968.
- 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.
- Özbay, Ö., 2008, Şüt Kanallarına Yerleştirilen Farklı Tip Enerji Kırıcı Blokların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 50s,
- Peterka, A. J., 1984, Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, A Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph No. 25.
- Pillai, N. N., Goel, A., and Dubey, A.K., 1989, Hydraulic jump type stiling basin for low Froude numbers, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 7, July, pp. 989-994.
- Rajaratnam, N., and Hurting, K. I., 2000, Screen-type energy dissipator for hydraulic structures, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 4, April, pp. 310-312.
- Varol, Ş., 2007, Düşüm Havuzlarına Yerleştirilen Farklı Tip Enerji Kırıcı Blokların Enerji Sönümleme Oranlarının Sayısal Analizi Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 103s,
- Verma, D. V.S., and Arun, G., 2000, Sitiling basins for pipe outlets using Wedge-Shaped Splitter Block, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol.126, No. 3, May/June, pp. 179-184.