

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Enerji kırıcı blokların kullanılmasının, akımın enerjisinin yaklaşık % 80'ini sönmlediğini göstermektedir.
- Özellikle kanal mansabındaki oyulma miktarını azaltma ve yapının stabilitesini koruma düşüncesiyle enerji kırıcı blokların kullanılmasının fayda sağlayacağı ön görülmektedir.

### Yazışma yazarı:

Erdoğan İKİNCİOĞULLARI,  
erdincinciogullari@gmail.com

### Referans:

Aydın, M.C., İkinciogullari E., Emiroğlu, M. E., (2018), Şütlerdeki Enerji Kırıcı Blokların Akımın Hidrolik Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Sayısal Analizi, Su Kaynakları, 3, (1) 9-15,

Makale Gönderimi : 20 TEMMUZ 2018  
Online Kabul : 2 AĞUSTOS 2018  
Online Basım : 15 AĞUSTOS 2018

# Şütlerdeki Enerji Kırıcı Blokların Akımın Hidrolik Karakteristikleri Üzerine Etkisinin Sayısal Analizi

M. Cihan AYDIN<sup>1</sup>, Erdoğan İKİNCİOĞULLARI<sup>2</sup> ve Muhammet Emin EMİROĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

<sup>3</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

**Özet** Hidrolik mühendisliğinde belirli bir yükseklikten düşürülen veya bir boşaltım kanalı ile düşürülen suların enerjilerinin sönmelenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Enerjinin sönmelenmesi hidrolik yapının emniyeti açısından hayati önem taşımaktadır. Şütlerdeki enerjinin sönmelenmesi için; basamaklı dolusavaklar, enerji kırıcı bloklara sahip boşaltım kanalları, şüt kanalı uç kısmına yerleştirilen sıçratma uçlu yapılar veya enerji kırıcı havuza sahip boşaltım kanalları gibi farklı hidrolik yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji kırıcı bloklara sahip boşaltım kanalları, kırsal ve meskûn bölgede yağmur sularının deşarjında, sulama projelerinde, yükleme havuzunda fazla suların kuru derelere verilmesinde sık kullanılan bir yapıdır. Bu yapıların kullanım amacı, mansapta oluşacak oyulmayı engellemek ve yapının emniyetini sağlamaktır. Bu çalışmada, aynı hidrolik koşullarda, hem klasik boşaltım kanalları ve hem de enerji kırıcı bloklara sahip boşaltım kanalları için sayısal analizler yürütülmüştür. Literatürde enerji kırıcı bloklara sahip boşaltım kanalları ile ilgili deneysel çalışmaların USBR tarafından yapıldığı görülmektedir. Bu konu ile ilgili, bu çalışma kapsamında, sayısal analiz yapılarak literatüre katkı konulması beklenmektedir. Bu amaçla, mamba ve mansap noktalarındaki akım hızları, su derinlikleri ve enerji yükseklikleri, sayısal simülasyonlardan elde edilmiştir. Sayısal simülasyonlar RNG (Renormalized Group) türbülans model ile üç boyutlu olarak Flow3D yazılımı kullanılarak yürütülmüştür. Çözümler, yaklaşık olarak 5 saniye sonunda yakınsamasına rağmen tam kararlı akım hali elde etmek için 20 saniye boyunca devam ettirilmiştir. Sayısal sonuçların meş hassasiyetini azaltmak için yaklaşık 1,250,000 yapısal hücre kullanılarak meşleme yapılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlara göre, dolusavak şüt kanalları üzerine yerleştirilen enerji kırıcıların, akımın enerjisini yaklaşık olarak %70 oranında sönmlediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Boşaltım kanalı, Dolusavak, Enerji kırıcı bloklar, Flow 3D, HAD, Şüt kanalı.

## CFD Analysis Of Labyrinth Side Weir For Dam Reservoirs

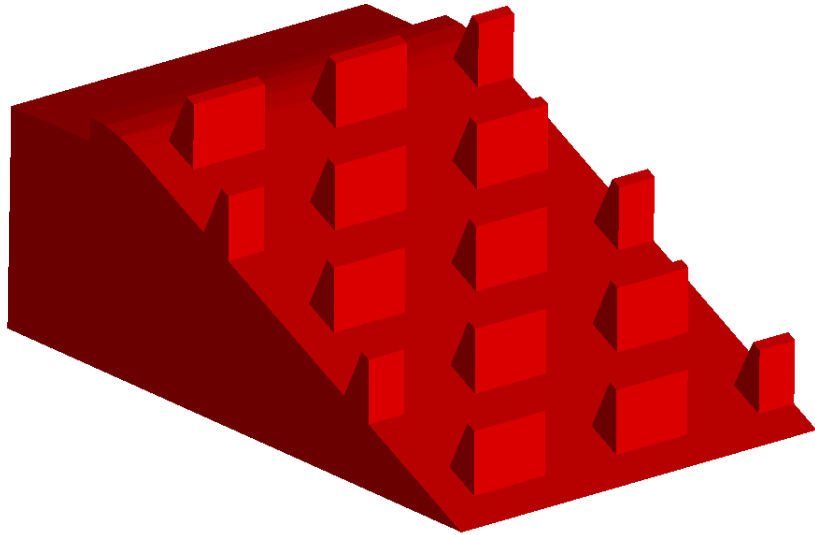
**Abstract** The energy dissipation of waters dropping by a certain height in any way has an important place in hydraulic engineering. The energy dissipation is vital to safety of hydraulic structures. Stepped spillway, baffled block discharge channels, flip bucked and slotted bucked structures placed end of the chute channel or energy dissipation pools are widely used to dissipate energy on the chute flow. Baffled block chute channels are generally used in runoff drainage in rural and urban regions, irrigation projects, and overflow on the load pools passing a wadi. The aim of these structures is to prevent the scour in downstream and ensure safety of the structure. In this study, numerical analyses of the classical and baffled blocks chute channel were performed at the same hydraulic conditions. In the literature, the experimental studies on the energy dissipation blocks were conducted by USBR. In this scope, a contribution to the literature is expected by performing numerical analyses. Fort this purpose, flow velocities, flow depths and heads on the upstream and downstream of the spillways were obtained from the numerical simulations. The 3D numerical simulations were performed by Flow-3D software with RNG (Renormalized Group) turbulence model. Although the solutions were converged in approximately 5 seconds, the simulations were continued for 20 seconds to achieve steady-state flow condition. Structural mesh including 1,250,000 cells was used to decrease mesh sensitivity on the numerical results. According to the numerical results, it was seen that the baffled blocks placed on the chute dissipated approximately 70% of the flow energy on the chute.

**Keywords:** Baffle blocks, CFD, Chute channel, Discharge channel, Energy dissipation, Flow3D.

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasına bağlı olarak, insanoğlunun temel ihtiyacı olan su kullanımına, dolayısıyla su yapılarının tasarımına olan ihtiyaç artış göstermektedir. Bir yapıların uzun yıllar sağlam kalıp emniyetle görevini yerine getirebilmesi için tasarım aşamasında bazı noktalara dikkat etmek gerekmektedir. Belli bir yükseklikten şüt kanalına giriş yapan su, sahip olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi sebebiyle sürekli ivme kazanacaktır. Böylece kanal mansabında oyulmalara neden olacak, hidrolik yapının stabilitesini bozacaktır.

Enerji kırıcı bloklar, sulama sistemlerindeki şüt kanallarında yıllardır kullanılan önemli hidrolik yapılardır. Bu yapıların birçoğunun inşa edildiği ve tatmin edici biçimde uygulandığı gerçeği, pratik olduklarını ve birçok durumda enerjiyi dağıtma sorununa ekonomik bir cevap olduklarını gösterir (Kaya ve Emiroğlu, 2010). Enerji kırıcı bloklar, şüt kanalına şaşırtmalı olarak yerleştirilerek akımın aşırı ivmelenmesinin önüne geçmektedir (Peterka, 1984). Arazide önemli bir düşü yüksekliği varsa, topraktaki bir kanalın eğiminin artması, istenmeyen erozyonlara neden olabilmektedir. Şüt kanalına birden fazla sıra halinde yerleştirilen bu yapılar, akım hızını önemli ölçüde azaltarak bu çeşit arazi bozulmalarının önlenmesine yardımcı olmaktadır. Libby Baraj için modellenmiş çalışma (USAEDNP, 1983), şüt kanallarında kullanılan blokların sadece enerji dağılımında değil aynı zamanda havanın havalandırılmasında ve azot doyumunun azaltılmasında etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 1. Şüt kanalı üzerine yerleştirilen enerji kırıcı bloklar.

Bu çalışmada, aynı hidrolik koşullardaki klasik boşaltım kanalları ile enerji kırıcı bloklara sahip boşaltım kanalları için oluşturulan modeller, Flow3D programı kullanılarak analiz edilmiştir. Literatürde enerji kırıcı bloklara sahip boşaltım kanalları ile ilgili deneysel çalışmaların USBR tarafından yapıldığı görülmektedir. Bu konu ile ilgili sayısal analizler yapılarak literatüre katkı konulması beklenmektedir. Bu amaçla, memba ve mansap noktalarındaki akım hızları, su derinlikleri ve enerji yükseklikleri, sayısal simülasyonlardan elde edilmiştir. Klasik boşaltım kanalları ile enerji kırıcı bloklara ait sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak enerji kırıcı blokların ne kadar etkili olabileceği tartışılmıştır.

## 2. Enerji Kırıcı Blokların Tasarım Kriterleri

USBR (Peterka, 1984) böyle bir yapının ön tasarımında kullanılabilecek bir dizi tasarım kılavuz notu geliştirmiştir. Peterka (1984), enerji kırıcı blokların tasarımı için basitleştirdiği kriterleri şöyle sıralayabiliriz;

- 1) Enerji kırıcı bloklar, maksimum debi değerine göre tasarlanmalıdır.
- 2) Birim tasarım debisi en fazla 60 c.f.s. ( $1.70 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ye kadar olmalıdır. Şüt kanalında daha az şiddetteki akım koşulları 35 c.f.s. ( $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ) için mevcuttur. Daha yumuşak akım koşulları için 20 c.f.s. ( $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ve daha düşük birim debiler kullanılabilir.
- 3) Akımın kanala giriş hızı ( $V_1$ ) pratik olarak düşük olmalıdır. İdeal şartlarda bu değer;

$$V_1 = \sqrt[3]{gq} - 5 \quad (1)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

- 4) Yaklaşım kanalı tabanı ile şüt kanalı arasındaki kret yüksekliği, sakinleştirici havuz ya da seçilebilir  $V_1$  değeri oluşturabilmek için kullanılır. Şüt kanalına kret oluşturmak için kısa yarıçaplı eğri kullanılmalıdır. Şüt kanalına yerleştirilen ilk sıra blokların kanal üst noktasına olan mesafesi

12 inçten (0.3048 m) az olmamalıdır.

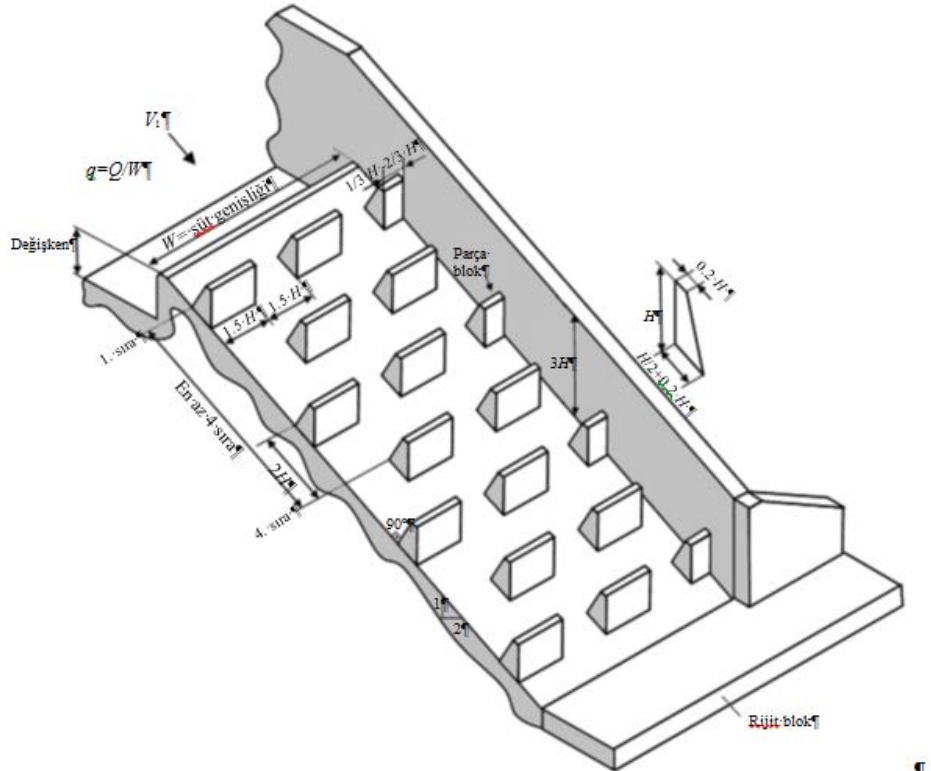
5) Enerji kırıcı blokların yüksekliği,  $H$ , dikdörtgen kanaldaki kritik derinliğin %80'i kadar olmalıdır ( $0.80D_c$ ). Kritik derinlik;

$$D_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2)$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Enerji kırıcı blokların yüksekliği, tavsiye edilenden daha kısa tasarlanmamalıdır. Ancak biraz daha yüksek tasarlanabilir.

6) Enerji kırıcı blokların genişliği ile her iki blok arasındaki genişliğin birbirine eşit olmakla birlikte blok boyunun 1.50 katı kadar tasarlanabilirken blok boyundan küçük olmamalıdır. Kenarlardaki parça blokların genişliği  $1/3 H$  ile  $2/3 H$  aralığında olabilir. Bu parça bloklar 1.-3.-5. sıralara ya da 2.-4.-6. sıralara yerleştirilebilir.

7) Her bir blok sırası arasında  $2H$  kadar mesafe olmalıdır. Blok boyları 3 feet'ten (0.9144 m) küçük olması durumunda blok sıraları arasındaki mesafe  $2H$ 'dan büyük olabilir fakat bu değer 6 feet (1.8288 m) değerini aşmamalıdır. Eğimi (2:1)'den daha fazla olan kanallar için enerji kırıcı blokların fayda sağlaması için blok sıraları arasındaki mesafe artırılabilir.



Şekil 2. Enerji kırıcı blokların temel özellikleri (Peterka, 1984).

8) Enerji kırıcı bloklar genellikle memba yüzü şüt kanalının yüzeyinin normaline yerleştirilir, dik yüzeyli bloklar kullanılabilir. Dik yüzeyli bloklar daha fazla serpişme sağlayarak kanal yatağında daha az oyulma sağlamaktadır.

9) Enerji kırıcı blokların akım üzerinde tam etki sağlayabilmesi için en az dört sıra olarak yerleştirilmelidir. Ancak daha az sraya yerleştirilen bloklar da başarılı bir şekilde işlem görmüştür. Şüt kanalı mansap kanalına kadar uzatılabilir ve en az bir sıra enerji kırıcı bloklar dolgunun içine gömülmelidir.

10) Şüt kanalının yan duvarları enerji kırıcı blokların üç katı kadar yükseklikte olmalıdır.

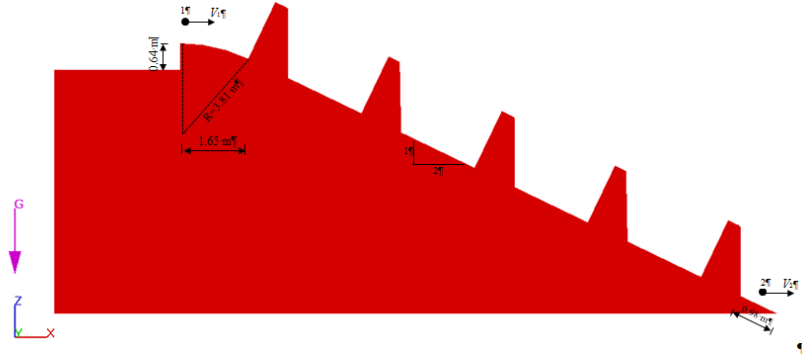
11) Akımın şüt kanalının arkasındaki etkisini önlemek için şüt duvarlarının memba ucuna 6-12 inç boyutlarında kayalıklar kullanılarak rijit bir blok bölgesi oluşturulmalıdır. Rijit blok bölgesi akım alanına çok fazla uzatılmamalıdır.

### 3. Sayısal Model

Bu çalışma kapsamındaki sayısal analizler Flow3D programı kullanılarak yürütülmüştür. Flow3D, birçok amaca cevap verebilen, genel amaçlı bir HAD (Hesaplamalı akışkan dinamiği) yazılımıdır. Bu program, özel sayısal teknikler kullanarak akışkan hareketlerini çok fazla durumlar için inceleyebilmektedir. Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri kullanılarak akışkan hareketi, lineer olmayan ikinci dereceden diferansiyel eşitlik olarak tanımlanmaktadır. Denklemler, cebirsel yaklaşımlar yardımıyla gerçekteki sonuçlara yakın olacak şekilde iterasyonlar oluşturmaktadır. Bu sürece simülasyon denmektedir (/flow3d/v11.2/help/theory.html#overview).

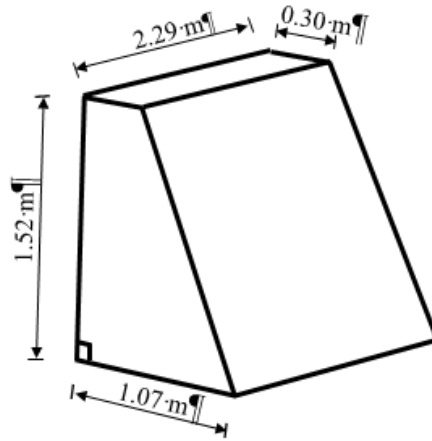
Bu çalışma kapsamında oluşturulan sayısal model, Peterka (1984) tarafında yapılan deneysel çalışmalara göre uyarlanmıştır. Yüzeyi düz olarak tasarlanan şüt kanalı üzerine enerji kırıcı

bloklar 5 sıra halinde yerleştirilmiştir. Tasarlanan kanalların kret yüksekliği 0.64 m, kanal uzunluğu 12.26 m, kanal genişliği 11.44 m ve kanal eğimi (2:1)'dir. İlk sıra bloklar kretten 1.65 m uzağa yerleştirilmiştir. Son sıra bloklar ile rijit blok arasında 0.98 m boşluk bırakılmıştır (Şekil 3-4).



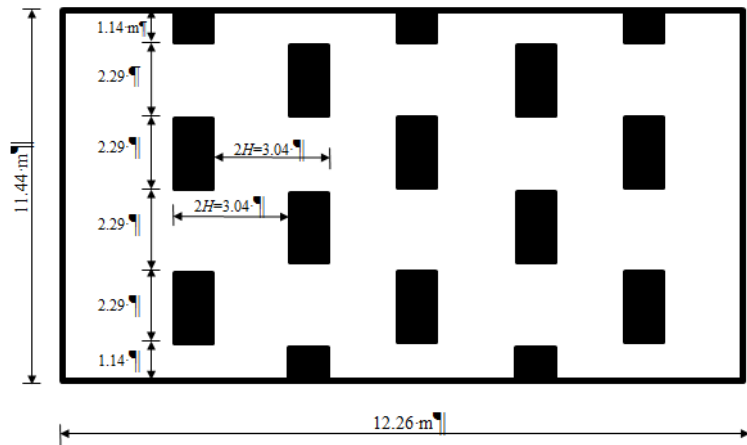
Şekil 3. Enerji kırıcı blokların yerleştirildiği şüt kanal kesiti.

Klasik boşaltım kanalı ile enerji kırıcı blokların yerleştirildiği kanalın üzerlerinde belirtilen noktalardan (1 ve 2 noktası) geçen akımın hızı ve derinliği sayısal analizler sonucunda belirlenmiş ve her iki kanal için de enerji yükseklikleri hesaplanmıştır. 2 noktasındaki enerji yükseklikleri kıyaslanarak blokların enerji sönmeme noktasında ne kadar faydalı olabileceği tespit edilmiştir. Her bir enerji kırıcı blok, yüksekliği 1.52 m ( $H$ ), taban genişliği 1.07 m ve üst kenarı 0.30 m boyutlarında, trapez geometride, modellenmiştir. Blokların sayfa düzlemine dik derinliği ve her bir sıradaki bloklar arasındaki mesafe 2.29 m olarak tasarlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Enerji kırıcı blokların geometrisi.

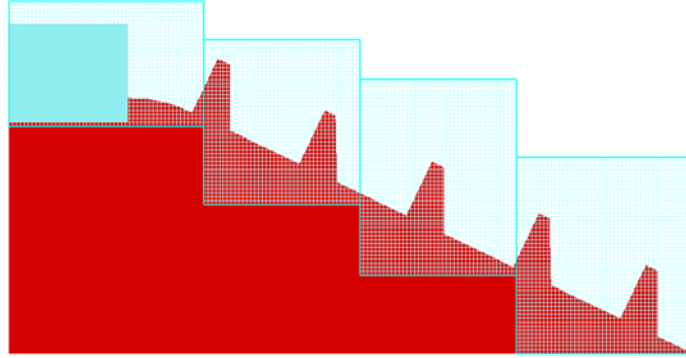
Her bir sıra üzerinde, sayfa düzlemine dik derinliği 1.14 m olan, 1 adet parça blok ve 2 adet tam blok yerleştirilmiştir. Enerji kırıcı blokların yerleştirildiği kanala ait plan, Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Enerji kırıcı blokların plan üzerinde gösterimi.

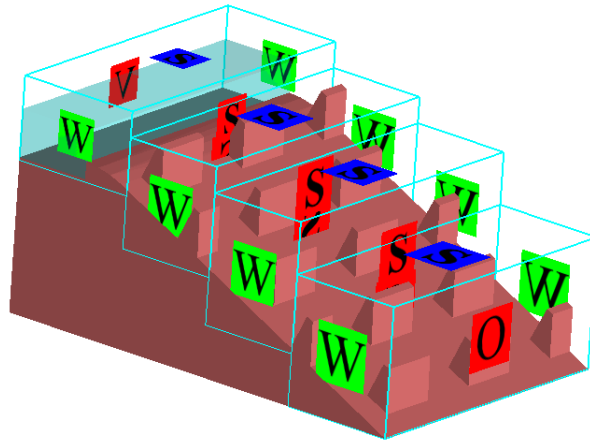
Sayısal simülasyonlar RNG (Renormalized Group) türbülans model ile üç boyutlu olarak yürütülmüştür. Çözümler, yaklaşık olarak 5 saniye sonunda yakınsamasına rağmen tam kararlı

akım hali elde etmek için 20 saniye boyunca devam ettirilmiştir. Toplamdaki meş sayısını azaltmak için, dolayısıyla simülasyon süresini kısaltmak için tek parça halinde meş bloğu yerine 4 adet kademeli meş bloğu kullanılmıştır. Her bir meş bloğu içerisindeki hücreler 0.10 m boyutunda gridler halinde tasarlanmıştır. Sayısal sonuçların meş hassasiyetini azaltmak için toplamda yaklaşık 1,250,000 yapısal hücre ile meşleme yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çözüm ızgaraları (meş).

Şekil 7'de enerji kırıcı blokların yerleştirildiği kanala ait sınır koşulları gösterilmiştir. Kanalin memba sınır koşuluna başlangıç hızı verilmiş, mansap kısmına da akımın kanalı terk etmesi için çıkış verilmiştir. Şüt kanalından savaklanan akımın meş bloğunun tavanına çarpmaması için bloklar yeterince yüksek olarak tasarlanmıştır.



Şekil 7. Sınır koşulları.

## 4. Sonuç ve Tartışma

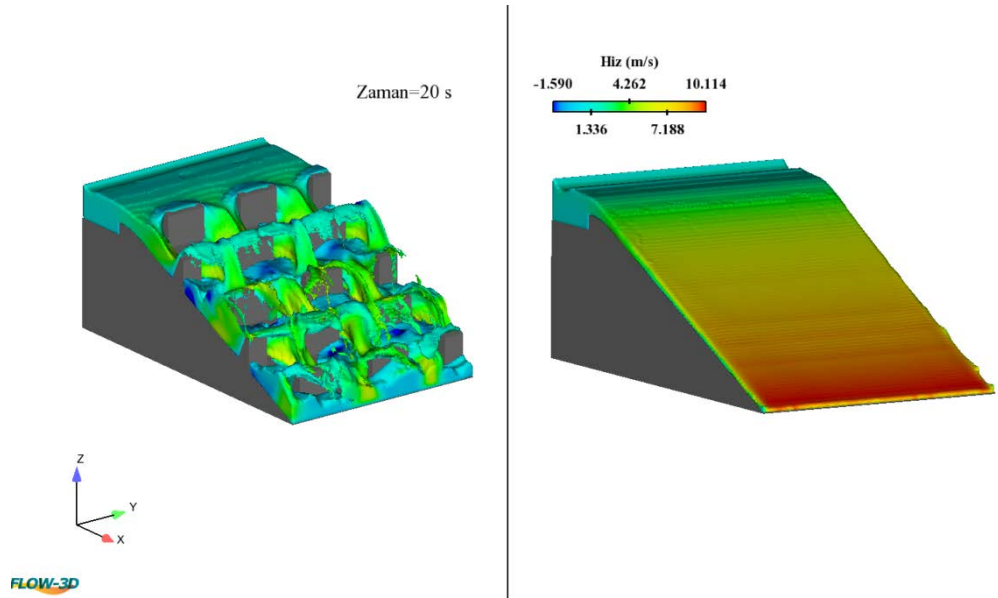
Bu çalışmada, boşaltım kanalı olarak kullanılan klasik şüt kanalları ile bu kanallar üzerine yerleştirilen enerji kırıcı blokların kanal mansabında oluşturduğu enerji yükseklikleri kıyaslanmıştır. Klasik ve enerji kırıcı blokların yerleştirildiği kanalların her biri için üç farklı birim debi kullanılarak toplamda 6 adet analiz yürütülmüştür. Oluşturulan modeller için kuyruksuyu kullanılmamıştır. Modeller için kullanılan parametreler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sayısal analizde kullanılan parametreler.

	$q$ (cfs)	$q$ ( $m^3/s/m$ )	$h_{giris}$ (m)	$V_{giris}$ (m/s)
<b>Klasik kanal</b>	60	5.57	2.92	1.91
	50	4.64	2.54	1.83
	35	3.25	2.35	1.38
<b>Enerji kırıcı blokların kullanıldığı kanal</b>	60	5.57	2.92	1.91
	50	4.64	2.54	1.83
	35	3.25	2.35	1.38

Enerji kırıcı yapılarının ne kadar enerjisi sönmüleyebildiğini görebilmek için klasik kanalda ve enerji kırıcı blokların yerleştirildiği kanalda, aynı koordinatlardaki, iki nokta seçilmiştir. Bu

noktalardan geçen akımın hızı ve derinliği sayısal analizler sonucu tespit edilmiştir (Şekil 3). Sayısal analizler neticesinde elde edilen hız ve derinlik değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Şekil 8'de ise analiz sonuçlarının karşılaştırılmasına ait bir görsel yer verilmiştir.



Şekil 8. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Tablo 2. Sayısal analiz sonuçları.

	$q$ (m <sup>3</sup> /s/m)	$h_{giris}$ (m)	$V_{giris}$ (m/s)	$V_1$ (m/s)	$h_1$ (m)	$V_2$ (m/s)	$h_2$ (m)
<b>Klasik kanal</b>	5.57	2.92	1.91	4.27	1.86	9.66	0.57
	4.64	2.54	1.83	3.82	1.80	10.05	0.47
	3.25	2.35	1.38	3.11	1.63	10.03	0.33
<b>Enerji kırıcı blokların kullanıldığı kanal</b>	5.57	2.92	1.91	2.82	2.37	1.25	1.32
	4.64	2.54	1.83	2.55	2.36	1.82	1.04
	3.25	2.35	1.38	2.12	2.00	0.94	1.41

Her iki boşaltım kanalının çıkış noktalarındaki hız ve akım derinliği değerlerini kullanarak enerji yükseklikleri hesaplanmıştır. Özgül enerji hesabı için;

$$E = \frac{v^2}{2g} + h + z \quad (3)$$

denklemleri kullanılmıştır. Burada  $E$  özgül enerjiyi ve  $z$  referans noktasından olan yükseklik değerini temsil etmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, enerji kırıcı blokların akımın hızını yaklaşık %80 civarında azalttığı gözlenmektedir.

Tablo 3. Sonuçların karşılaştırılması.

<b>Enerji kırıcı blokların kullanıldığı kanal</b>		<b>Klasik kanal</b>		<b>Özgül Enerji Değerleri</b>		<b>Fark (%)</b>
$V_2$ (m/s)	$h_2$ (m)	$V_2$ (m/s)	$h_2$ (m)	Enerji kırıcı blokların kullanıldığı kanal	Klasik kanal	
1.25	1.32	9.66	0.57	1.400	5.326	73.721
1.82	1.04	10.05	0.47	1.209	5.618	78.483
0.94	1.41	10.03	0.33	1.455	5.457	73.339

### 4. Sonuçlar

Mevcut çalışmada, Flow3D yazılımı kullanılarak, klasik boşaltım kanalları yüzeyine, 5 sıra halinde ve şaşırtmalı olarak, yerleştirilen enerji kırıcı blokların sayısal modellemesi yapılmıştır. Aynı fiziki şartlar altında tasarlanan klasik ve enerji kırıcı kanallara üç farklı birim debi yüklenerek kanalların çıkış noktasındaki akım derinlikleri ile hız değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen bu değerler karşılaştırılmış ve özgül enerji değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji kırıcı blokların kullanılmasının, akımın enerjisinin yaklaşık % 80'ini sönmlediğini göstermektedir. Özellikle kanal mansabındaki oyulma miktarını azaltma ve yapının stabilitesini koruma düşüncesiyle enerji kırıcı blokların kullanılmasının fayda sağlayacağı ön görülmektedir.

### 8. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Flow3D yazılımı, TÜBİTAK (MAG 115M478) projesi kapsamında temin edilmiştir.

**NOT:** Bu çalışma, 22-24 Mart 2018 tarihlerinde Bursa'da gerçekleştirilen Uluslararası Su ve Çevre Kongresi'nde sunulmuş ve bildiri kitapçığında basılmıştır.

### 9. Kaynaklar

- Kaya, N., and Emiroglu, M. E. (2010, October). Study of oxygen transfer efficiency at baffled chutes. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management (Vol. 163, No. 9, pp. 447-456). Thomas Telford Ltd.
- Peterka AJ (1984) Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, USA. A Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph, No. 25, Denver, Colorado.
- USAEDNP (US Army Engineer Division, North Pacific) (1983) Libby Dam, Kootenai River, Montana. US Army Engineer Division, North Pacific, Bonneville Hydraulic Laboratory, Bonneville, OR, USA, TR No: 125-1.
- </flow3d/v11.2/help/theory.html#overview>