

## Enerji kırııcı yapıların etkinliğinin HAD yöntemi ile belirlenmesi

Kenan BÜYÜKTAŞ<sup>1</sup> Ahmet TEZCAN<sup>1</sup> İmran SAJID<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: atezcan@akdeniz.edu.tr

Makale Bilgisi/Article Info  
Derim, 2017/34(2):172-181  
doi: 10.16882/derim.2017.310035

Araştırma Makalesi/Research Article  
Geliş Tarihi/Received: 02.05.2017  
Kabul Tarihi/Accepted: 16.06.2017



### Öz

Bu çalışmada, DSİ 13. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmış olan bir bağlamaya ait giriş su debisi, hızı, akış yükseklikleri, çıkış debisi vb. su akış karakterleri kullanılmıştır. Bu değerler DSİ 13. Bölge Müdürlüğü'nün baraj ve bağlama projelendirmesi sırasında kullandığı hesaplama kriterlerine göre hesaplanmıştır. Daha sonra bağlama gerçek boyutlarda ANSYS yazılımında modellenmiştir. Böylelikle oluşturulan modele başlangıç koşulları tanımlanarak ANSYS-Fluent paket programında analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen enerji kırııcı yapıların etkinliği, akışların meydana getireceği basınçlar, hız dağılımları, su akış modeli, düşü havuzu boyunca su derinliğindeki değişimler gibi değerler hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, DSİ'nin kullandığı program ile elde edilen başlangıç su hızı  $8.5 \text{ ms}^{-1}$  ve su derinliği  $0.46 \text{ m}$  iken, enerji kırııcı yapıdan sonra bu değerler sırasıyla  $4.8 \text{ ms}^{-1}$  ve  $0.57 \text{ m}$  olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde simülasyon sonucunda elde edilen başlangıç su hızı  $8.5 \text{ ms}^{-1}$  iken enerji kırııcı yapıdan sonra bu değer  $4.4 \text{ ms}^{-1}$  ye düşmüştür. Simülasyon sonucu elde edilen akış değerlerinin hesaplanan değerler ile yüksek oranda (%92) benzerlikler olması baraj ve bağlama gibi mühendislik yapılarının planlanmasında HAD yönteminin araştırmacılar tarafından kullanılabilirliğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bağlama; Enerji kırııcı yapılar; HAD; Simülasyon

### Determination of efficiency of energy dissipating structures with CFD method

#### Abstract

In this study, it was used data such as inlet water flow, velocity, flow heights, outlet flow etc. belonging to diversion dam made by DSI 13<sup>th</sup> Regional Directorate. These values were calculated according to the calculation criteria used during dam and diversion dam project planning of DSI 13<sup>th</sup> Regional Directorate. Then, diversion dam was modeled in real size in ANSYS software. Thus, analysis was done by defining boundary and initial conditions to model created in the ANSYS software. Values obtained from end of the simulations such as efficiency of energy dissipating structures, the pressures that the flows will occur, velocity distributions, water flow model, changes in water depth along stilling basin were compared with the calculated values. At the end of the study, while the initial water velocity was  $8.5 \text{ ms}^{-1}$  and the water depth was  $0.46 \text{ m}$  obtained from DSI software, these values were measured as  $4.8 \text{ ms}^{-1}$  and  $0.57 \text{ m}$  respectively, after energy dissipating structures. Similarly, while the initial water velocity obtained at the end of the simulation is  $8.5 \text{ ms}^{-1}$ , this value reduced to  $4.4 \text{ ms}^{-1}$  after energy dissipating structures. Simulation results show that the CFD method can be used by researchers in the planning of engineering works such as dams and diversion dam because the flow values obtained are highly similar to the calculated values (92%).

**Keywords:** Small dam; Energy dissipating structures; CFD; Simulation

### 1. Giriş

Su kabartma veya biriktirme yapılarında akımın mabadan kontrollü bir şekilde mansaba aktarılması sırasında meydana gelen hidrolik sıçrama sonucu oluşan yüksek hız ve basınçtaki suyun enerjisinin sönmelenmesi, gövdeden sonra planlanan düşü yatağındaki enerji kırııcı yapılarla gerçekleştirilir. Aksi takdirde, akımın sel rejiminden akarsu rejimine geçtiği mansap kısmında yüksek hıza ve

basınca sahip su akışı yapıya ve çevresindeki yapılara zarar verecektir. Bu nedenle büyük basınç ve sürtünme kuvvetlerinin akış yatağında oyulma ve aşınmalara neden olmaması için enerji kırııcı yapıların uygun yerlerde ve uygun kesitlerde planlanması gerekir (Anonim, 2012). Enerji kırııcı yapılar, esas olarak proje yerine bağlı oldukları için bu konuda birçok araştırma yapılmış olmakla birlikte bunların proje standartları henüz tamamlanmamıştır. Bu bakımdan böyle bir

yapının kesin projesi hazırlanmadan önce model araştırmaları ile hidrolik çalışmasının incelenmesi gerekir. Şüphesiz enerji kırıcıların projelendirilmesi büyük çalışma ve beceri gerektirir (Aküzüm ve Öztürk, 1996; Erkek ve Ağırlioğlu, 2013). Günümüzde artık deneysel çalışmalar ile birlikte HAD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği) yazılımının kullanılmasını gerektirmektedir. Çünkü bu tür programların birçok hidrolik yapıların projelendirilmesinde kullanılması, planlanmada daha az hata oluşmasını, daha kısa zamanda ve daha ekonomik olarak yapılmasını sağlayacaktır. Genel olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, her türlü akışkan ve akışın değişik koşullardaki analizini yapmaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntemde temel olarak üç ana denklem (süreklilik, momentum ve enerji denklemleri) esas alınır ve bu denklemler sayısal çözümlerle akış içindeki basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ve bu parametrelere bağlı olarak birçok veriye ulaşılabılır (Ferziger ve Peric, 2002).

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonlarında bir bütün olarak ele alınması gereken adımlar şunlardır: ön-işleme, hesaplama ve ard-işleme. Ön-işleme adımında, probleme uygun geometrinin tanımlanması ve katı modelleme yazılımları ile oluşturulması, geometriye uygun hesaplama alanının belirlenmesi, yapısal veya yapısal olmayan çözüm ağının çözüm ağı üretme yazılımlarıyla oluşturulması ve son olarak bu çözüm ağının akış çözücüyeye uygun formatta hazırlanması işlemleri vardır. Hesaplama adımında, uygun sayısal yöntemler, uygun algoritmalar ve uygun sınır koşullarının seçilmesi ile hesaplama alanı ve çözüm ağı üzerinde akış çözümler kullanılarak hesaplamalar yapılır. Ard-işleme adımında ise hesaplama adımında elde edilen sayısal çözümün yani verilerin analiz edilmesi, ard-işleme yazılımları ile uygun şekilde çizgi grafikler, üç boyutlu görüntü ve animasyonlar ile görüntülenmesi ve yorumlanması işlemleri yapılır (Long vd., 2004, Modi vd., 2005, Sezer-Uzol, 2006). Aydın vd. (2005), Kars Barajı yandan alışı dolusavak teknesinde üç boyutlu analiz uygulaması ile Fluent yazılımında modellerini oluşturmuş ve elde ettikleri verilerle, hidrolik modellerde elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada sonuçların birbirine yakın değerlerde olduğunu görmüşler ve su yüzeyinde görülen türbülans yoğunluğu dağılımı ve kanal tabanındaki basınç dağılımının rahatlıkla görüldüğünü tespit

etmişlerdir. Kaya (2003), enerji kırıcı havuzlarda iki sıralı enerji kırıcı blokların enerji sönümleme oranlarının incelenmesi isimli laboratuvar çalışmasında, kapak açıklığı 0.04m, enerji kırıcı blok genişliklerinin toplamı kanal genişliğinin %40-55 olacak şekilde planlamış ve Froude Sayısı 2.5 ile 4.5 arasında ve memba suyu yüksekliği ise 0.10 ile 0.26m arasında değiştirmiştir. Çalışma sonucunda iki sıra arasındaki mesafenin blok genişliği kadar olduğu zaman en iyi sonuçların alındığı tespit edilmiştir. Dursun ve Öztürk (2009), basamaklı dolu savakların akımın enerjisini sönümleme özelliğinin sayısal analizi isimli çalışmasında, farklı boşaltım kanalı taban eğimleri için enerji sönümleme oranlarını belirlemede HAD yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar, yapılmış olan deneysel çalışmalara ait sonuçlarla kıyaslanmış ve sayısal analiz sonuçlarının deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara oldukça yakın değerler verdiği sonucuna varılmıştır. Bu tip dolu savaklarla klasik dolu savaklara göre %70-80 oranlarında daha fazla enerji sönümlemesinin olduğunu bildirmişlerdir. Khan (2011), yaptığı bir çalışmada, bir su arıtma tesisine ani su basması durumunda bir enerji kırıcı yapısının planlanmasında, HAD hidrostatik olmayan serbest yüzey akışların simülasyonunda yararlı olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada sabit bir bağlama düşü yatağı ve hidrolik sıçramalı enerji kırıcı havuz yapılarında yaygın olarak kullanılan enerji kırıcı yapıların (Tıp III havuz) düşü yatağına yerleştirilen enerji kırıcı bloklara uyguladığı basınçlar, hızlar ve sıçrama durumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, tasarlanan modele ait akış karakteristikleri, DSI'nin kullandığı baraj ve bağlama projelendirme programı ile de hesaplanıp elde edilen sonuçların simülasyon değerleriyle de karşılaştırılması amaçlanmıştır.

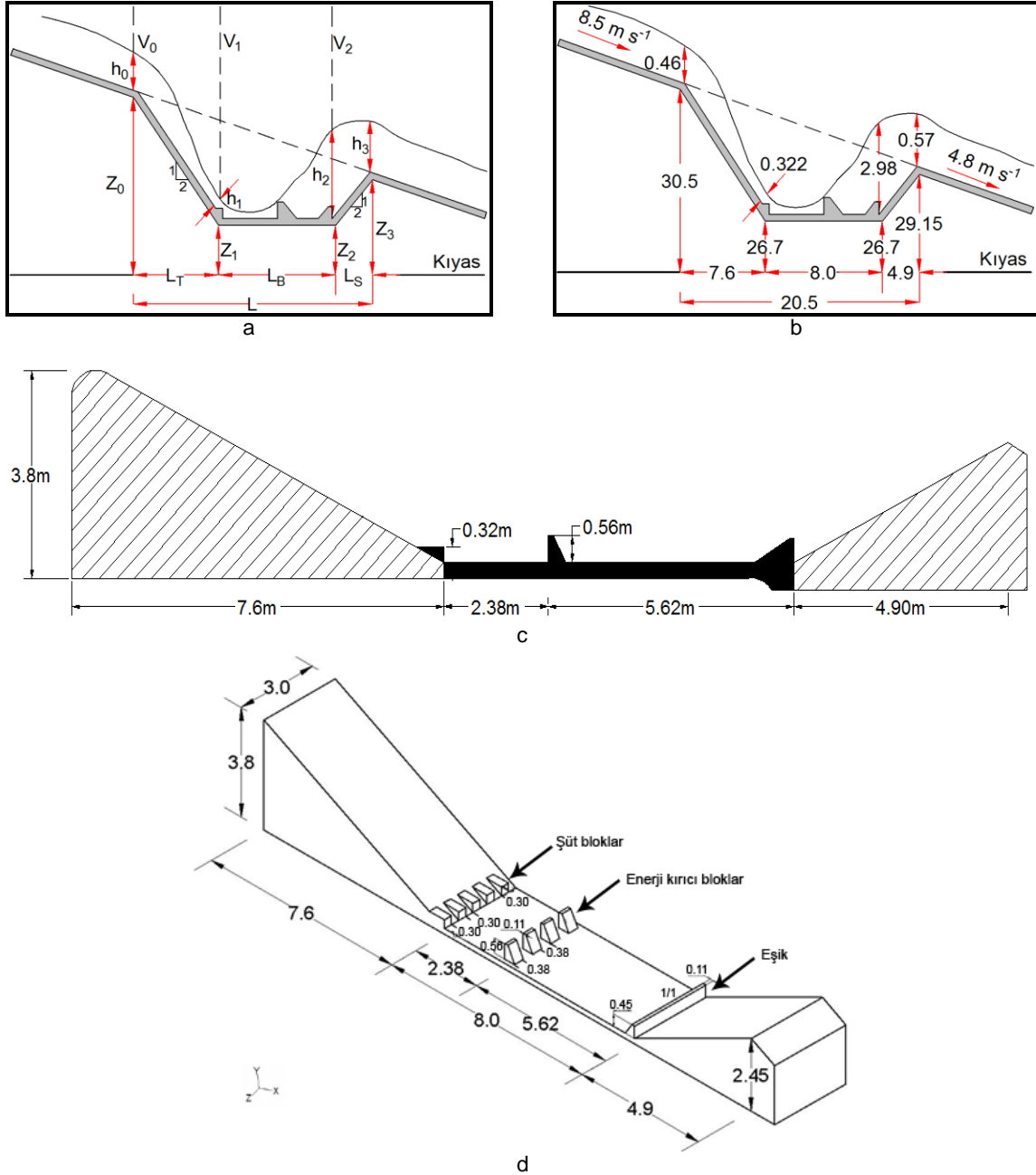
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada bilgisayar ortamında Tıp III kesitindeki düşü havuzu sahip sabit bağlama modelinin (Düşü havuzu modeli) çizilmesinde AutoCAD ve Solidworks paket programları ile Gambit, ve Ansys paket programları kullanılmıştır. Bunun yanında düşü havuzu modeline ait simülasyonların yapılmasında ise ANSYS-Fluent yazılımı kullanılmıştır. Bununla birlikte, simülasyon sonuçlarının

karşılaştırılması amacı ile DSI 13. Bölge Müdürlüğü tarafınca baraj ve bağlama hesaplamaları yapılan program (pro-DSI) ve düşü havuzu modelinin hesaplama sonuçlarının elde edildiği "American Federal Highway Administration, Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, Hydraulic Engineering Circular (AFHA)" kitabı materyal olarak kullanılmıştır.

Tasarlanan düşü havuzu modeli, gövdeden sonra 1 sıra düşülerin, düşü yatağının ortasında 1 sıra enerji kırıcı blokların ve düşü yatağının sonunda gövde uzunluğu boyunca devam eden eşğin bulunduğu kesittir (Şekil 1). Tasarlanan kesite ait gerçek tasarım hesap değerleri Çizelge 1'de, tasarım parametreleri ise Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Düşü havuzu modelinin tasarım parametreleri ve 3 boyutlu görünüşü (a: Düşü havuzu modeline ait şekil ve tasarım parametreleri, b: Düşü havuzu modeline ait şekil ve tasarım değerleri, c: Düşü havuzu modelinin boyuna kesiti ve ölçüleri, d: Modelin 3 boyutlu gösterimi ve boyutları, boyutlar m'dir).

Çizelge 1. Tasarlanan kesite ait gerçek tasarım hesap değerleri

$Q = 11.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$V_0 = 8.5 \text{ ms}^{-1}$ $V_1 = 12.2 \text{ ms}^{-1}$ $V_2 = 4.8 \text{ ms}^{-1}$ $V_3 = 4.8 \text{ ms}^{-1}$	$h_0 = 0.46 \text{ m}$ $h_1 = 0.322 \text{ m}$ $h_2 = 2.98 \text{ m}$ $h_3 = 0.57 \text{ m}$	$Z_0 = 30.5 \text{ m}$ $Z_1 = 26.7 \text{ m}$ $Z_2 = 26.7 \text{ m}$ $Z_3 = 29.15 \text{ m}$
$d_1 = 0.32 \text{ m}$ $d_2 = 0.56 \text{ m}$ $d_3 = 0.45 \text{ m}$	$b_1 = 0.30 \text{ m}$ $b_2 = 0.38 \text{ m}$ $b_3 = 0.45 \text{ m}$	$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} = \frac{12.2}{\sqrt{9.81 \cdot 0.322}} = 6.9$	
$B = 3.0 \text{ m}$	$L = 20.5 \text{ m}$ $L_B / h_2 = 2.7$	$L_T = 7.6 \text{ m}$ $L_B = 2.7 \cdot 2.98 \text{ m}$	$L_S = 4.9 \text{ m}$ $L_B = 8.0 \text{ m}$
Şüt blokların sayısı	$N_c = \frac{B}{2 \cdot d_1} = \frac{3}{2 \cdot 0.32} = 5 \text{ adet}$		
Şüt blok genişliği ve blok aralığı	$W_1 = W_2 = \frac{B}{2 \cdot N_c} = \frac{3}{2 \cdot 5} = 0.3 \text{ m}$		
Enerji kırıcı blokların sayısı	$N_B = \frac{B}{1.5 \cdot d_2} = \frac{3}{1.5 \cdot 0.56} = 4 \text{ adet}$		
Enerji kırıcı blok genişliği ve blok aralığı	$W_3 = W_4 = \frac{B}{2 \cdot N_B} = \frac{3}{2 \cdot 4} = 0.38 \text{ m}$		

Çizelge 2. Tasarlanan kesite ait tasarım parametreleri

Parametre	Tanım	Birim
B	Çarpmalı havuz tipindeki havuzun genişliği	m
L	Düşüm havuzu uzunluğu	m
Q	Debi	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
Fr	Froude sayısı	(birimsiz)
g	Yerçekimi ivmesi	$\text{ms}^{-2}$
$d_1$	Düşülerin yükseklikleri	m
$d_2$	Enerji kırıcı blokların yükseklikleri	m
$d_3$	Eşiğin yüksekliği	m
$h_0$	Kapaktan sonraki akım yüksekliği	m
$h_1$	Düşüden önceki akım yüksekliği	m
$h_2$	Hidrolik sıçrama yüksekliği	m
$h_3$	Mansap su yüksekliği	m
$V_0$	Çarpmalı havuz tipinde havuz girişindeki suyun hızı	$\text{ms}^{-1}$
$V_1$	Enerji kırıcı bloklardan önceki su hızı	$\text{ms}^{-1}$
$V_2$	Eşikten sonraki su hızı	$\text{ms}^{-1}$
$N_B$	Enerji kırıcı blok sayısı	adet
$N_c$	Şüt blok sayısı	adet
$W_1$	Şüt blok genişliği	m
$W_2$	Şüt blok aralığı	m
$W_3$	Enerji kırıcı blok genişliği	m
$W_4$	Enerji kırıcı blok aralığı	m

Bağlamaların tasarımı için DSI'nin kullandığı Excel programı sayfası (Pro-DSI) ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

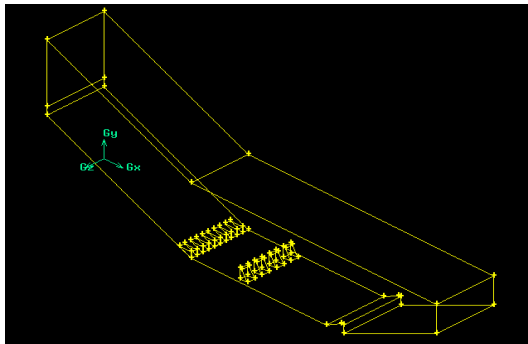
## 2.2. Yöntem

Çalışmada kullanılan yöntem 3 aşama içermektedir. Birinci aşamada; AutoCAD ve Solidworks paket programları ile Gambit ve Ansys programların kullanılarak bilgisayar ortamında sabit bağlama gövdesinden sonra enerji kırıcı blokların bulunduğu Tip III havuz kesitli düşü yatağına sahip düşü havuzu modeli

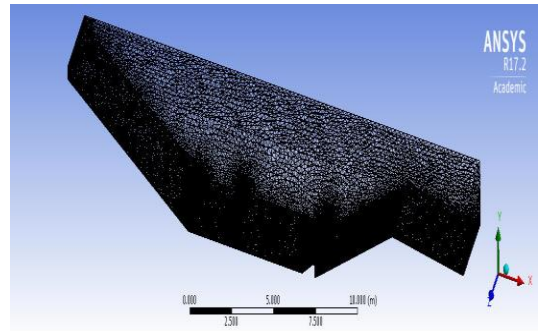
tasarlanmıştır (Şekil 4). İkinci aşamada; ANSYS-Fluent paket programı kullanılarak, 1. aşamada oluşturulan sabit bağlama yapısı üzerinden geçirilen debinin düşü yatağına yerleştirilen enerji kırıcı bloklara uyguladığı basınç, hız ve sıçrama durumu belirlenerek hız ve akım karakteristikleri ve akış desenleri oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada; düşü havuzu modelinin hız, derinlik ve toplam basınç gibi akış karakteristikleri, ANSYS-Fluent programı kullanılarak yapılan simülasyon değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Enerji Kırıcı Havuzun Seçimi ve Boyutlandırılması :				
Verilenler:				
d1:	0.32	m	Boşaltım Kanalı Sonundaki Su Yüksekliği	
V:	12.20	m/s	Boşaltım Kanalı Sonundaki Su Hızı	
J:	0.11100	m/m	Boşaltım Kanalı Eğimi	
Düşü Havuzu Tipinin Seçimi:				
F:	6.86		$F=V / (g*d1)^{0.5}$	Froude Sayısı
(F) Sayısı ve	(V) Su Hızı	na Göre	TİP II HAVUZ	Seçildi
Düşü Havuzu Su Derinliği:				
d2:	2.97	m	$d2=d1/2(-1+(1+8*F^2))^{0.5}$	
Sıçrama Uzunluğu:				
F:	6.86	Tablo:	2.55336	
L:	7.58	m	$L=d2*E20$	
Seçilen	Enerji Kırıcı		Havuz Boyu :	8.00 m
Şüt Blokları:				
Şüt Blokları Yüksekliği:		m	0.32	
Şüt Blokları Eni:		m	0.32	
Şüt Blokları Aralığı:		m	0.32	
Şüt Blokları Uzunluğu:		m	2.90	
Tevkif Blokları:				
Tevkif Blokları Yeri:		m	2.38	
Tevkif Blokları Yüksekliği:		m	0.50	
Tevkif Blokları Eni:		m	0.37	
Tevkif Blokları Aralığı:		m	0.37	
Tevkif Blokları Kret Genişliği:		m	0.10	
Enerji Kırıcı Havuzda Hava Payı Hesabı:				
Hp:	1.09	m	$Hp=0.1*(d1+V^2/2*g)$	
Enerji Kırıcı Havuz Duvar Yüksekliği Hesabı:				
H:	4.10	m	$H=d2+Hp$	
Mansab Su Derinliği:				
			TİP I=>MSS=1.1*d2	
			TİP II=>MSS=1*d2	
			TİP III=>MSS=1.05*d2	

Şekil 2. DSI'nin baraj ve bağlama projelendirme programı (Pro-DSI) görüntüsü



a



b

Şekil 3. Düşü havuzu modelinin tasarlanma aşamaları (a: Model geometrisinin Gambit ile oluşturulması, b: Modelin meshlenmesi)

Model olarak "Amerikan Federal Highway Administration, Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, Hydraulic Engineering Circular"ın tasarlayıp kullandığı kesit alınmış ve simülasyon sonucu

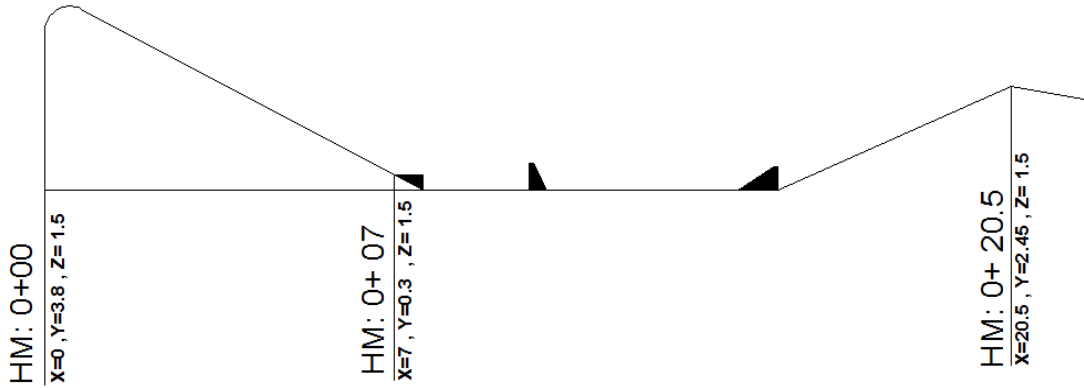
elde edilen değerler düşü havuzu modelinin tasarım değerleriyle kıyaslanmıştır. Bu düşü havuzu modeli Pro-DSI ile de hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar simülasyon modeliyle karşılaştırılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

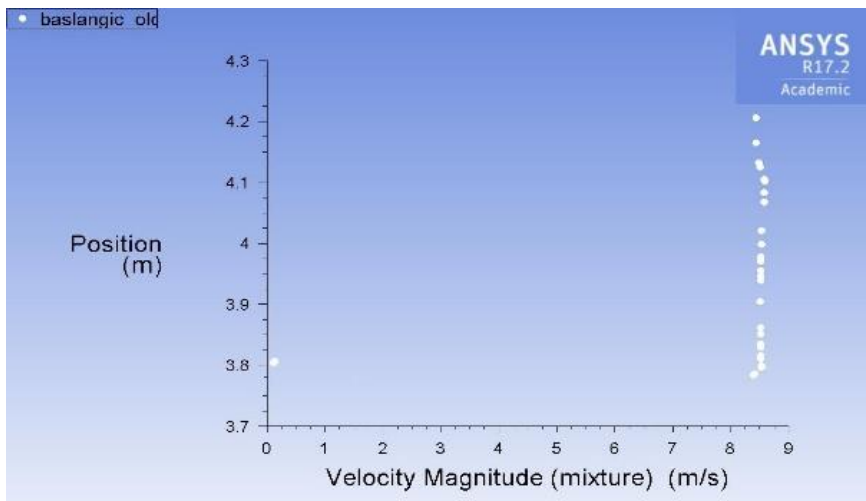
Tasarlanan düşü havuzu modelindeki şütlerin, enerji kırıcı blokların ve eşığın bulunduğu konumlar ve koordinat değerleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Çalışmada düşü havuzu modelinde düşü yatağının  $x=0$  ve  $y=3.8$  m koordinatlarından itibaren su hızı  $V=8.5$  ms<sup>-1</sup> olarak başlatılmıştır. Modelde belirli koordinatlarda ölçümler alınarak bloklardan önceki ve eşikten sonraki hızlar belirlenmiş ve bu hızların değişimleri incelenmiştir. Amerikan Federal Highway Administration, Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels kesitteki (Şekil 1) ve Pro-DSI (Şekil 2) ile belirlenen kesitteki enerji kırıcı havuz geometrisi aynen kullanılmış ve düşü havuzu modeli ile kıyaslanmıştır. Böylece simülasyon sonucunda elde edilen hız değerleri ile hesaplanan hız değerleri karşılaştırılmıştır. Modelin AFHA ve Pro-DSI'ye göre analizinde;

HM: 0+00'da bağlama yüksekliği 3.8 m, su yüksekliği  $d=0.46$  m, su hızı  $V=8.5$  ms<sup>-1</sup>;  
 HM: 0+07'de bağlama yüksekliği 0.3 m, su yüksekliği  $d=0.322$  m, su hızı  $V=12.2$  ms<sup>-1</sup> ve  
 HM: 0+20.5'de bağlama yüksekliği 2.45 m, su yüksekliği  $d=0.57$  m, su hızı  $V=4.8$  ms<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

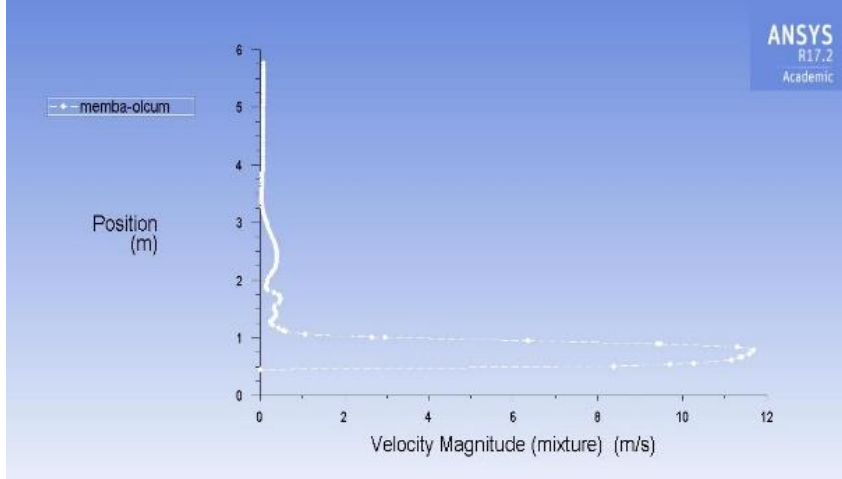
Modelin aynı noktalarında ANSYS-Fluent yazılımı ile elde edilen hız ve su derinlik değerlerinin değişimi Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 5'de  $d=0.46+3.8=4.2$  m'deki su yüksekliğindeki hız değerinin yaklaşık  $V=8.4$  ms<sup>-1</sup> olduğu, Şekil 6'da  $d=0.3+0.322=0.622$  m deki su yüksekliğindeki hız değerinin ise  $V=11.8$  ms<sup>-1</sup> olduğu ve Şekil 7'de  $d=0.57+2.45=3.02$  m deki su yüksekliğinde hız değerinin yaklaşık  $V=4.4$  ms<sup>-1</sup> olduğu görülmüştür. Model için, AFHA ve DSI'nin hesaplarındaki değerleri ile Fluent programından elde edilen simülasyon değerleri Çizelge 3'de karşılaştırılmıştır.



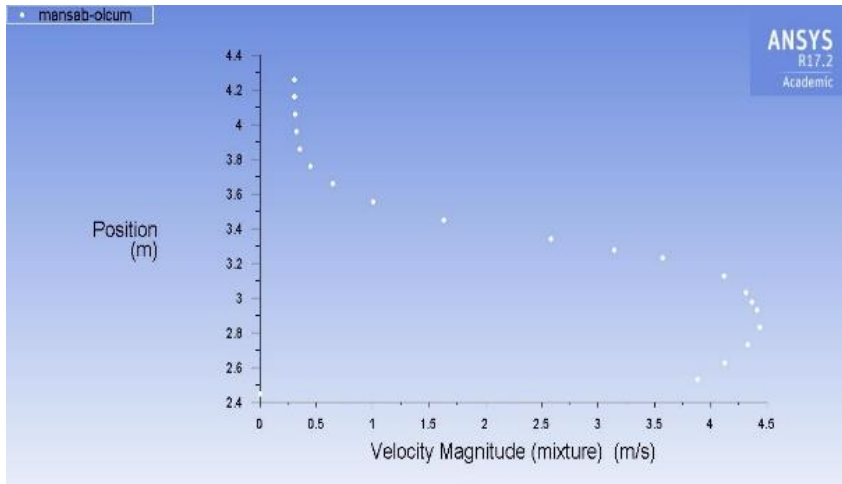
Şekil 4. Düşü havuzu modeli boyunca kesitine ait koordinatlar



Şekil 5. Düşü havuzu modelinde HM:0+00'da ölçülen hız değerlerinin su yüksekliği ile olan değişimi



Şekil 6. Düşü havuzu modelinde HM:0+7 'te ölçülen hız değerlerinin su yüksekliği ile olan değişimi



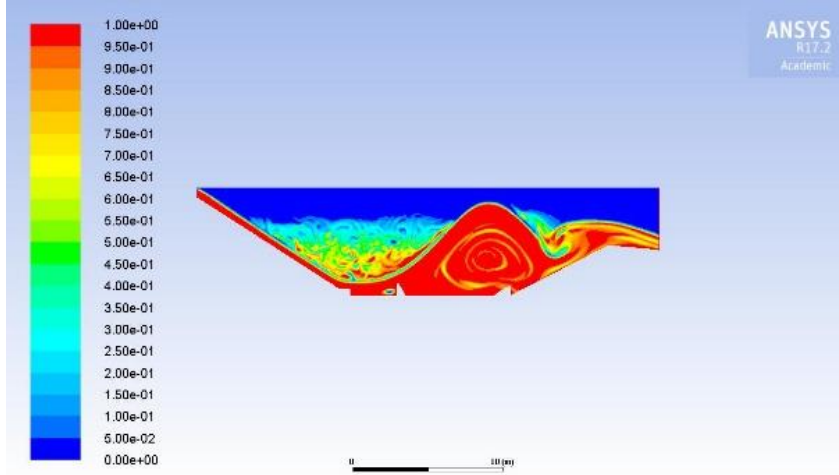
Şekil 7. Düşü havuzu modelinde HM: 0+ 20.5'te ölçülen hız değerlerinin su yüksekliği ile olan değişimi

Çizelge 3. Düşü havuzu modeli için, AFHA ve DSI'nin hesaplarındaki değerler ile Fluent programından elde edilen simülasyon değerlerinin karşılaştırılması

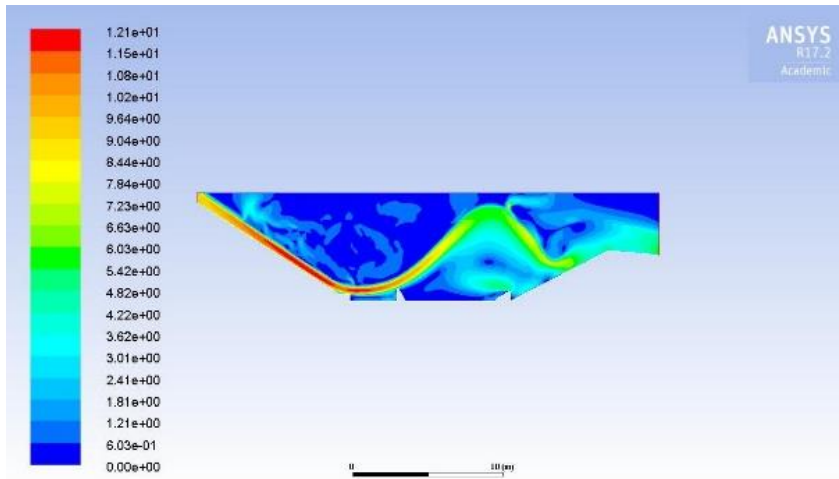
HM	d (m) Su yüksekliği	Hız V (ms <sup>-1</sup> )	
		AFHA ve DSI'nin değerleri	Simülasyon ile elde edilen değerler
0+00	0.46	8.5	8.4
0+07	0.32	12.2	11.8
0+20.5	0.57	4.8	4.4

Çizelge 3'e bakıldığında DSI'nin dolu savak hesaplarından elde edilen verilerle, aynı koordinatlar için simülasyonla elde edilen verilerin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durum, çok fazla zaman harcanarak laboratuvar ortamında hazırlanan modeller yerine bir HAD yazılımı olan Fluent programı kullanarak da gerçeğe yakın sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir. Model'e ait su akış ve basınç desenleri ise Şekil 8 - Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 8, düşü havuzu modeli için su akışını, su varlığını ve sıçramayı göstermektedir. Akım deseni 0 ile 1 aralığında

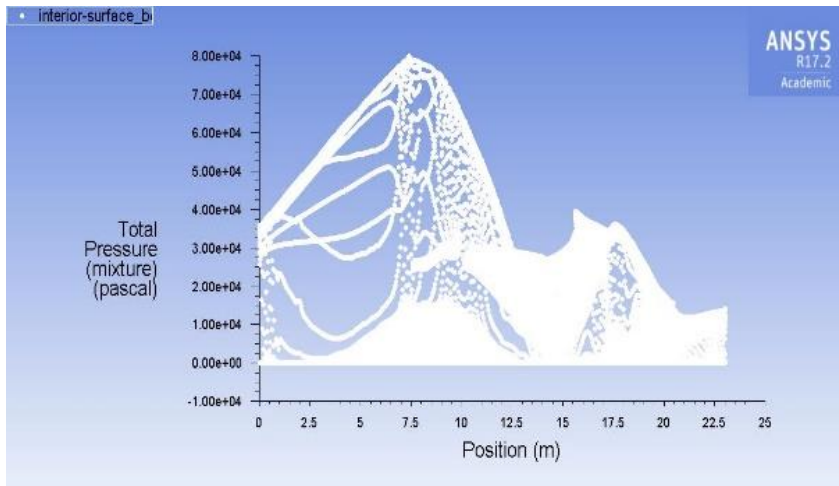
ve mavi ile kırmızı aralığında değişir. Kırmızı renk, tam su varlığı anlamına gelen 1 değerini gösterir ve birden daha az değer alan diğer renkler ise suyun azalmasını ve sıçramayı göstermektedir. Ayrıca Kırmızı renk kesit boyunca her noktada suyun akışını ve su derinliği için bir ipucu vermektedir. Buna göre, enerji kırıcı bloğa kadar suyun akışının ve derinliğinin değişmediği ancak enerji kırıcı bloktan sonra sıçramanın dolayısıyla su derinliğinin büyük oranda arttığı ve buna bağlı olarak su hızının azaldığı görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Düşü havuzu modeline ait su akış deseni

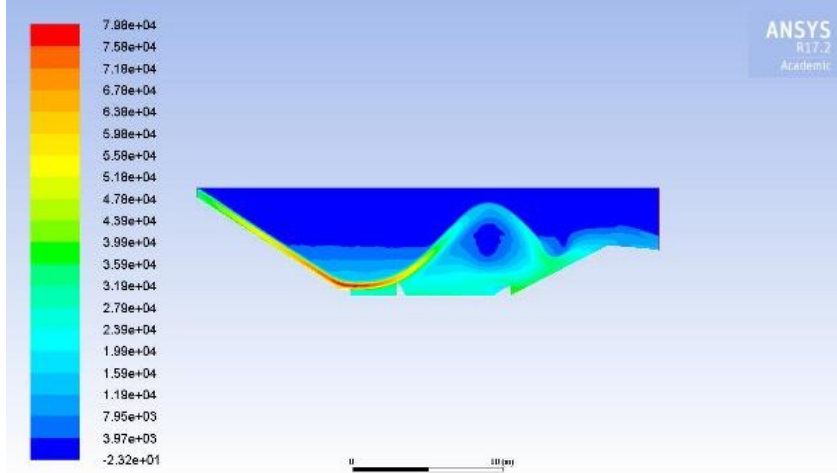


Şekil 9. Düşü havuzu modeline ait hız deseni



Şekil 10. Düşü havuzu modeline ait ölçülen toplam basınç değerlerinin bağlama uzunluğu ile olan değişimi





Şekil 11. Düşü havuzu modeline ait toplam basınç deseni

Şekil 9, düşü havuzu modeli için bağlamanın kesit boyunca suyun hız değişimine göstermektedir. Su hızı 0 ile  $12 \text{ ms}^{-1}$  ve mavi ile kırmızı arasında değişmektedir. Şekil 9 incelendiğinde, su hızının kesit boyunca farklı değerlerde olduğu görülmektedir. Kırmızı rengin olduğu yerlerde hızın arttığı, mavi rengin olduğu yerlerde ise su hızının azaldığı görülmektedir. Özellikle enerji kırıcı bloklardan sonra rengin kırmızıdan sarı, yeşil ve maviye değiştiği dolayısıyla bu da suyun akış hızında büyük oranda düşüş olduğunu göstermektedir. Şekil 10'da düşü havuzu modeli için ölçülen toplam basınç değerlerinin bağlama uzunluğu ile olan değişimi, Şekil 11'de ise düşü havuzu modeli'ne ait toplam basınç deseni gösterilmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11 incelendiğinde, suyun etkili toplam basıncı gövde uzunluğu boyunca önce artmış ancak giderek azalmıştır. Toplam basıncın, bağlama gövdesi üzerinde (başlangıç)  $3.5 \times 10^4$  Pascal iken, şütlerin olduğu noktada  $8 \times 10^4$  Pascal değeri ile maksimum değere ulaşmıştır. Toplam basınç daha sonra azalarak enerji kırıcı bloklardan sonra  $3 \times 10^4$  Pascal değerinin altına, eşikten sonra ise  $1.2 \times 10^4$  Pascal değerine düşmüştür.

#### 4. Sonuç

Çalışma sonucunda, tasarlanan Düşü havuzu modeli için yapılan simülasyonlar sonunda elde edilen hız dağılımı ve enerji sönümlenme oranlarına ait sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Model'de, DSİ ve Amerikan Federal Highway Administration tarafından yaygın olarak tercih

edilen kesite ait düşüm havuzu ve enerji kırıcı blok boyutları kullanılarak, Fluent programı ile elde edilen değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine çok yakın çıktığı ve aynı eğilimde oldukları görülmüştür.

2. Tasarlanan düşü havuzu modelinin enerji sönümlenme oranının fazla olduğu görülmüştür.

3. Hidrolik modellerde karşılaşılan zaman problemi ve ekonomik sıkıntılar HAD yazılımında söz konusu olmadığından, bu çalışma bu tür hidrolik problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılacağını göstermiştir.

4. Ansys-Fluent yazılımında simülasyon yapmak için elde edilen sonuçların çok tatmin edici olduğu gözlenmiştir.

5. Bundan sonra bu program kullanılarak, sabit su kabartma ve çevirme yapılarına veya su biriktirme yapılarına ait farklı debiler ve farklı düşü yatağı kesitleri için simülasyonlar yapılabilir. Böylece henüz net bir standart olmayan bu yapılar hakkında, ölçülen akım debilerinin ve bu akım debilerinin düşü yatağında oluşturduğu derinlikler simüle edilerek bir standart oluşturulabilir. Bununla birlikte çok sayıda farklı koşullar ve kesitler analiz edileceğinden bu yapılar için yeni alternatifler önerilebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2016-1762 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar DSİ

13. Bölge Müdürlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

#### Kaynakça

- Aküzüm, T., & Öztürk, F. (1996). Toprak Su Yapıları. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı. Yayın No:428, Ankara.
- Anonim (2011). Ansys Fluent, Inc.Tutorial User's Guide, Release 14.0.
- Anonim (2012). Baraj Hidrolik Yapıların Tasarım Rehberi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, 1. Baraj Kongresi, No: 2, Ankara.
- Aydın, M.C. (2005). Altan Alışlı Dolusavak Havalandırıcılarının CFD Analizi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Dursun, Ö.F., & Öztürk, M. (2009). Basamaklı dolusavakların akımın enerjisini sönmleme özelliğinin sayısal analizi. *Journal of New World Sciences Academy*, 4(2):1A0017.
- Erkek, C., & Ağırlioğlu, N. (2013). Su Kaynakları Mühendisliği. Beta Basım Dağıtım A.Ş. İstanbul.
- Ferziger, J.H., & Peric, M. (2002). Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, 3<sup>rd</sup> Edition. ISBN 3-540-42074-6. pp 423.
- Kaya, N. (2003). Enerji Kırıcı Havuzlarda Farklı Tip Enerji Kırıcı Blokların Enerji Sönmleme Oranlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Khan, A.L. (2011). Computational Fluid Dynamics Modeling of Emergency Overflows through an Energy Dissipation Structure of a Water Treatment Plant. *World Environmental and Water Resources Congress*. Bearing Knowledge for Sustainability. ASCE. 1483-1493 p.
- Long, L.N., Plassmann, P.E., Sezer-Uzol, N., & Jindal, S. (2004). Real-Time Visualization and Steering of Large-Scale Parallel Simulations, *11th International Symposium on Flow Visualization*, University of Notre Dame, Indiana, USA, August 9-12, 2004.
- Modi, A., Sezer-Uzol, N., Long L.N., & Plassmann, P.E. (2005). Scalable computational steering for visualization/control of large-scale fluid dynamics simulations. *Journal of Aircraft*, 42(4):963-975.
- Sezer-Uzol, N. (2006). Unsteady Flow Simulations around Complex Geometries using Stationary or Rotating Unstructured Grids. PhD Thesis, Pennsylvania State University, Pennsylvania.