



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 2, Article Number: 1A0017

ENGINEERING SCIENCES

Received: November 2008

Accepted: March 2009

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2009 www.newwsa.com

Ö. Faruk Dursun

Mualla Öztürk

General Directorate of State Hydraulic

Works (DSI) IX. Regional Directorate

ofaruk_dursun@dsi.gov.tr

Elazığ-Türkiye

**BASAMAKLI DOLUSAVAKLARIN AKIMIN ENERJİSİNİ SÖNÜMLEME ÖZELLİĞİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

ÖZET

Basamaklı dolusavaklar, akımın enerjisini büyük oranda sönmölemek ve dolusavakların mansabında inşa edilen enerji kırıcı havuz boyutlarını küçöltölmek amacıyla inşa edilmektedirler. Özellikle son otuz yıldır gelişen baraj inşa teknikleri (silindirle sıkıştırılmış beton baraj metodu gibi), basamaklı dolusavakların popölaritesini artırmıştır. Bu tip dolusavaklarla klasik dolusavaklara göre %70-80 oranlarında daha fazla enerji sönmölenmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, farklı boşaltım kanalı taban eğimleri için enerji sönmölenme oranları, sayısal yöntemle belirlenmiştir. Sayısal yöntem olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar, yapılmış olan deneysel çalışmalara ait sonuçlarla kıyaslanmıştır. Sayısal analiz sonuçlarının deneysel çalışmalara elde edilen sonuçlara oldukça yakın değerler verdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Basamaklı Dolusavak, Enerji Sönmöleme, HAD, Sayısal Analiz, Su

**THE NUMERICAL ANALYSIS OF ENERGY DISSIPATION PROPERTIES OF OVERFLOW
STEPPED SPILLWAYS**

ABSTRACT

Stepped spillways are constructed to the big ratio energy dissipation of flow and decrease the dimensions of stilling basin located downstream of the spillway. Especially, for the last thirty years with the growing dam built techniques (roller compacted concrete dam method i.e.), popularity of the stepped spillways are increased. It is possible that, thus spillways are dissipating the energy of flow 70-80% rate more than classical spillways. In this study, energy dissipation ratios of different spillway slopes were determined by numerical methods. At the study, as a numerical method, Computational Fluid Dynamics (CFD) method was used. The results of the study compared with experimental studies. It is concluded that, the results of numerical studies data very close to results of experimental data.

Keywords: Stepped Spillway, Energy Dissipation, CFD, Numerical Analysis, Water



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Basamaklı dolusavaklar tarihi yapılarda farklı amaçlarla ve yöntemlerle kullanılmışlardır. Dünyanın en eski basamaklı dolusavağı Yunanistan'daki Akarnania basamaklı dolusavağı olup, M.Ö. 1300'de inşa edilmiştir. Savak, toprak dolgu tipinde olup, 25 m'lik uzun kretiyle 10,5 m yüksekliğindedir. Bu yapının dışında M.Ö. 694 yılında Irak'ta Khosr Nehri barajları (Ajilah Barajı) adıyla iki adet baraj inşa edilmiştir [1].

Barajların dolusavaklarından bırakılan akımların sahip oldukları potansiyel enerjilerinin, basamak ucunda oluşturacağı kinetik enerjinin sönmülmesi amacıyla genellikle enerji kırıcı havuz veya sıçratma eşiği kullanılmaktadır. Ancak, bu durumda dolusavak üzerine kavitasyon problemleri ile karşılaşılabilir. Ayrıca enerji kırmak amacıyla inşa edilen yapılar da genellikle maliyet açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [2]. Bu gibi sorunların çözülmesi amacıyla özellikle son yıllarda yeni inşa metotlarının da geliştirilmesiyle basamaklı dolusavaklar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [3].

Basamaklı dolusavaklar, inşasının kolaylığı, kavitasyon risk potansiyelini azaltması şüt boyunca önemli miktarda enerji sönmülmesi ve barajın mansap topuğundaki enerji kırıcı havuzun boyutlarını küçültmesi gibi avantajlara sahiptir [4]. Bu tip dolusavaklar genellikle küçük barajlarda, özellikle silindire sıkıştırılmış beton barajlarda ve birim debisi 10-15 m³/s/m'yi geçmeyen dolusavaklarda kullanılmaktadır.

Basamaklı dolusavaklarda oksijen transferi ile ilgili olarak ilk kez Essery ve Horner tarafından yapılan çalışmalar sonucunda [5] nap akımı olarak adlandırılan akım tipinin meydana geldiği belirlenmiştir. Chanson [6] yaptığı deneysel çalışmalarda büyük debi miktarlarında sıçramalı akım olarak adlandırılan bir akım türünün meydana geldiğini tespit etmiştir. Boes ve Hager [7], basamaklı dolusavaklarda oluşan nap ve sıçramalı akımı incelemişler sıçramalı akım halinde enerji sönmülme oranlarının daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

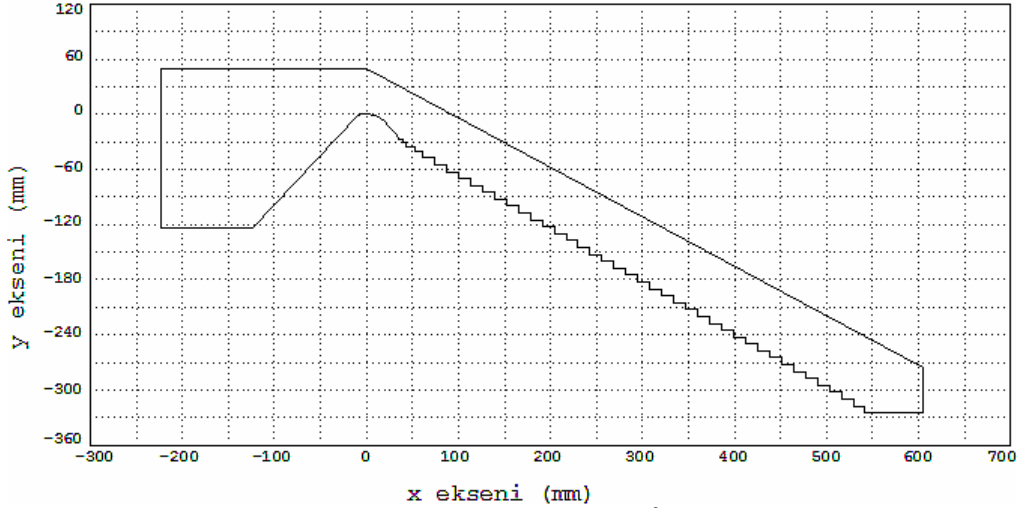
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Basamaklı dolusavakların geometrisi, boşaltım kanalı taban eğimi gibi özelliklerinin enerji sönmülme oranlarına olan etkisi birçok bilim adamı tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalar deneysel veya sayısal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada ise deneysel metotlarla çalışılmış olan [8] bir basamaklı dolusavak modelinin sayısal yöntemler kullanılarak analizi yapılmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece bu tür çalışmalarda sayısal yöntemlerin de kullanılabileceği ve hatta deneysel çalışmaların bazı zorlukları göz önünde bulundurularak bazen tercih sebebi de olabileceği ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

3. ÇALIŞMALAR (STUDIES)

3.1. Analitik Çalışma (Analytical Study)

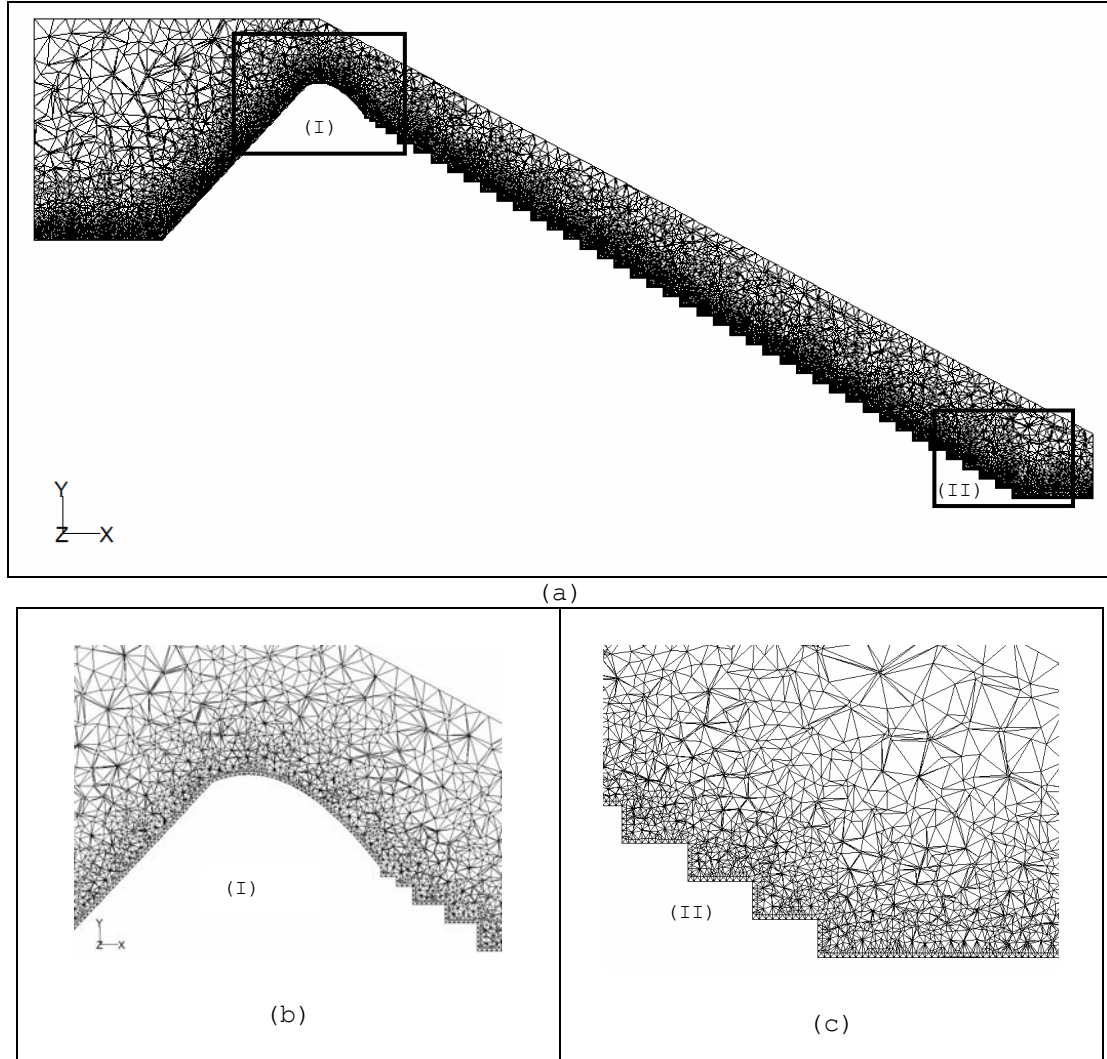
Bu çalışmada üç farklı boşaltım kanalı taban eğimi ve dokuz farklı debi değeri için sayısal analizler yapılmıştır. Çalışmalarda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metoduna göre analiz yapma imkanı veren Fluent isimli yazılım kullanılmıştır.



Şekil 1. Boşaltım kanalı taban açısı 30° olan deney modelinin geometrisi
(Figure 1. Geometry of experiment model of Spillway slope for 30°)

Şekil 1’de boşaltım kanalı taban açısı 30° olan deney modelinin geometrisi verilmiştir. Boşaltım kanalı, genişliği 0,5 m olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Dolusavak kreti, mansap havuzu tabanından 3,23 m yüksektedir. Boşaltım kanalı menbasında hazne oluşturulmuş ve suyun haznedan boşaltım kanalına geçiş kısmında Ogee kreti oluşturulmuştur. Ogee kretinden sonra boşaltım kanalı başlangıcına, önce küçük boyutlardaki basamaklar (2 adet 2,5 cm yüksekliğinde ve 2 adet 5 cm yüksekliğinde) yerleştirilmiştir. Tam boyutlu basamaklar küçük basamaklardan sonra oluşturulmuştur. Bu durum, suyun enerjisinin ilk basamaklarda da kırılması amacıyla uygulanmıştır. Tam boyutlu basamakların boyutları; yükseklikleri 7,5 cm, genişliği ise 12,99 cm olacak şekilde seçilmiştir.

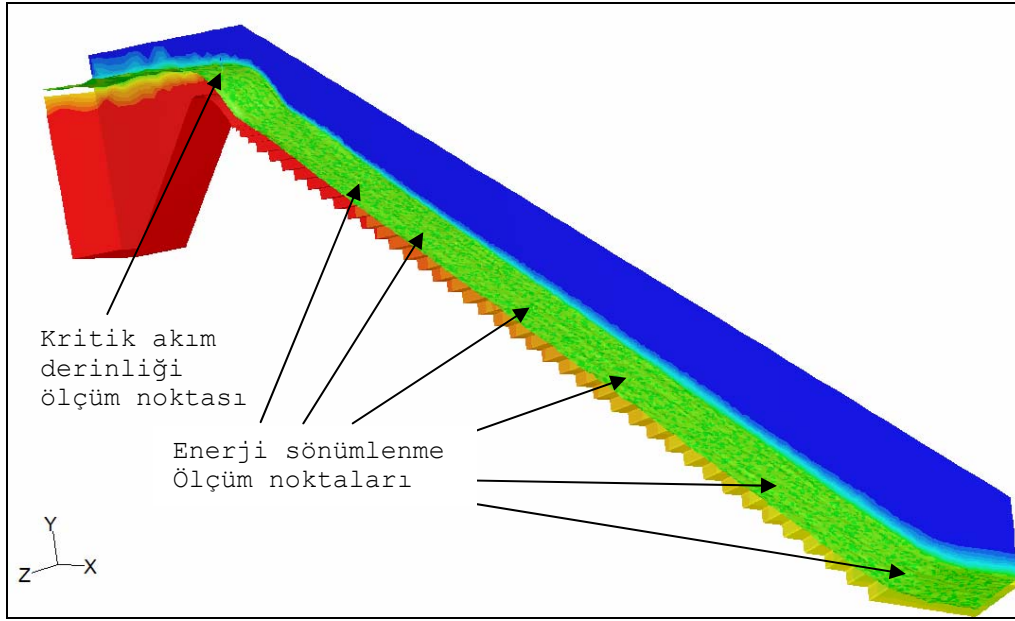
Sayısal analizler için, ilk önce modeli hazırlanacak olan deney düzeneklerinin simülasyonu bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Bu işlem için Fluent yazılımının alt programı olan Gambit isimli yazılım kullanılmıştır. Bu yazılımda; simülasyonu yapılacak olan düzeneğin geometrisi, başlangıç ve sınır koşulları ile çözümün hassas olmasına etki edecek olan sonlu eleman ağı modeli tanımlanmıştır. Çözümler için oluşturulan her bir sonlu eleman ağında, ortalama 850 000 adet sonlu eleman bulunmaktadır. Bu boyutta sonlu eleman sayısına sahip olan bir çözüm modeli için yaklaşık olarak 1 GB RAM bellek kapasiteli bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2. Simülasyonu yapılmış olan deney düzeneğinin sonlu eleman ağı
(Figure 2. Finite element web of simulated experimental model)

Şekil 2’de 30 derece taban eğimine sahip olan boşaltım kanalının deney düzeneği simülasyonu ve sonlu eleman ağı yapısı görülmektedir. Sonlu eleman sayısı yeterli sayıda olmadığı ve ağı yapısı oluşturulan modele uygun olmadığı durumlarda yazılımdan sonuç alınamamış veya sonuçlar hatalı olmuştur. Daha sonra hazırlanmış olan her bir deney modeli Fluent yazılımına aktarılmış ve modele ait başlangıç şartları, sınır şartları, malzeme özellikleri, türbülans ve viskozite gibi özellikler tanımlanmıştır. Bu çalışmada iki fazlı akım koşulları ve $k-\epsilon$ türbülans modeli baz alınarak, yazılımın Akışkan Hacmi Modeli (VOF) ile sayısal analizler yaptırılmıştır. Serbest yüzeyli akımlarda yazılımın VOF modeli daha uygun sonuçlar verdiği için bu modelle çalışılmıştır. Çözüm yöntemi olarak ta üç boyutlu ayrılmış (3D segregated) ve zamana bağlı olarak değişen (unsteady solver) akım modeli kullanılmıştır.

Üç farklı boşaltım kanalı taban eğimi ve 9 farklı debi değeri dikkate alınarak basamaklı ve basamaksız olmak üzere toplam 54 adet çözüm yapılmıştır. Her bir çözüm için, bilgisayarın yaklaşık olarak 30-48 saat arasında değişen sürelerde işlem yapması gerekmiştir. Kararlı akım koşulları elde edildikten sonra yazılımdan sonuç dataları alınmıştır.



Şekil 3. 30° taban eğimli modelin sayısal analiz sonucu elde edilen iki fazlı akım görüntüsü ve enerji ölçüm noktaları
(Figure 3. View of two phase flow of obtained results of numerical analysis and point of measure of energy for chute angle of 30 degree)

Şekil 3'te 30° taban eğimli modelin, yapılan sayısal analiz sonucu elde edilen iki fazlı akım hali görülmektedir. Yeşil renkle gösterilen yüzey, hava-su ara yüzeyini göstermektedir. Şekil üzerinde ayrıca kritik akım derinliğinin, basamak üzerlerinde oluşan akım derinliklerinin ve hızların ölçüldüğü noktalar da gösterilmektedir. Ölçüm yapılan noktalarda boşaltım kanalının ekseninde, y doğrultusunda tanımlanan çizgiler (line) yardımıyla derinlik ölçümleri yapılmıştır. Aynı çizgiler ölçüm yapılan noktalarda akımın hızının belirlenmesinde de kullanılmıştır.

3.2. Teorik Çalışma (Theoretical Study)

Basamaklı dolusavaklarda enerji sönümlenmesi; birim debi, kritik akım derinliği, baraj yüksekliği, boşaltım kanalı eğimi, basamak geometrisi gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Chanson [4], sıçramalı ve nap akımı halleri için aşağıdaki enerji sönümlenme bağıntılarını vermiştir.

Sıçramalı akım durumunda enerji sönümlenme oranları Chanson [4] tarafından,

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{\left(\frac{f}{8 \cdot \sin \alpha}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{8 \cdot \sin \alpha}\right)^{\frac{2}{3}}}{\frac{H_{\text{dam}}}{d_{kr}} + \frac{2}{3}} \quad \text{kapaksız dolusavaklar için} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{\left(\frac{f}{8 \cdot \sin \alpha}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{8 \cdot \sin \alpha}\right)^{\frac{2}{3}}}{\frac{H_{\text{dam}} + H_p}{d_{kr}}} \quad \text{kapaklı dolusavaklar için} \quad (2)$$

Sürtünme faktörü için ise,
$$f = \frac{8 \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot d_0^2}{q_w^2} \cdot \frac{D_H}{4} \quad (3)$$

olarak verilmiştir.

Burada D_H hidrolik yarıçap (m); H_{dam} baraj yüksekliği (m); H_0 toplam enerji yüksekliği (m); ΔH toplam enerji kaybı (m); H_p kret üzerindeki su yükü (m); d_{kr} kritik akım derinliği (m); f sürtünme katsayısı; d_0 uniform akım derinliği (m); q_w dikdörtgen kesitli kanalın birim genişliğinden geçen debi (m³/s/m); α boşaltım kanalı taban eğim açısı (derece)'dir.

Nap akımı halinde enerji sönümlenme oranlarına ait bağıntılar ise yine aynı araştırmacı tarafından,

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{\left(0.54 \cdot \left(\frac{d_c}{h}\right)^{0.275} + \frac{3.43}{2} \cdot \left(\frac{d_c}{h}\right)^{-0.55}\right)}{\frac{3}{2} + \frac{H_{\text{dam}}}{d_c}} \quad \text{kapaksız dolusavaklar için} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{\left(0.54 \cdot \left(\frac{d_c}{h}\right)^{0.275} + \frac{3.43}{2} \cdot \left(\frac{d_c}{h}\right)^{-0.55}\right)}{\frac{H_{\text{dam}} + H_0}{d_c}} \quad \text{kapaklı dolusavaklar için} \quad (5)$$

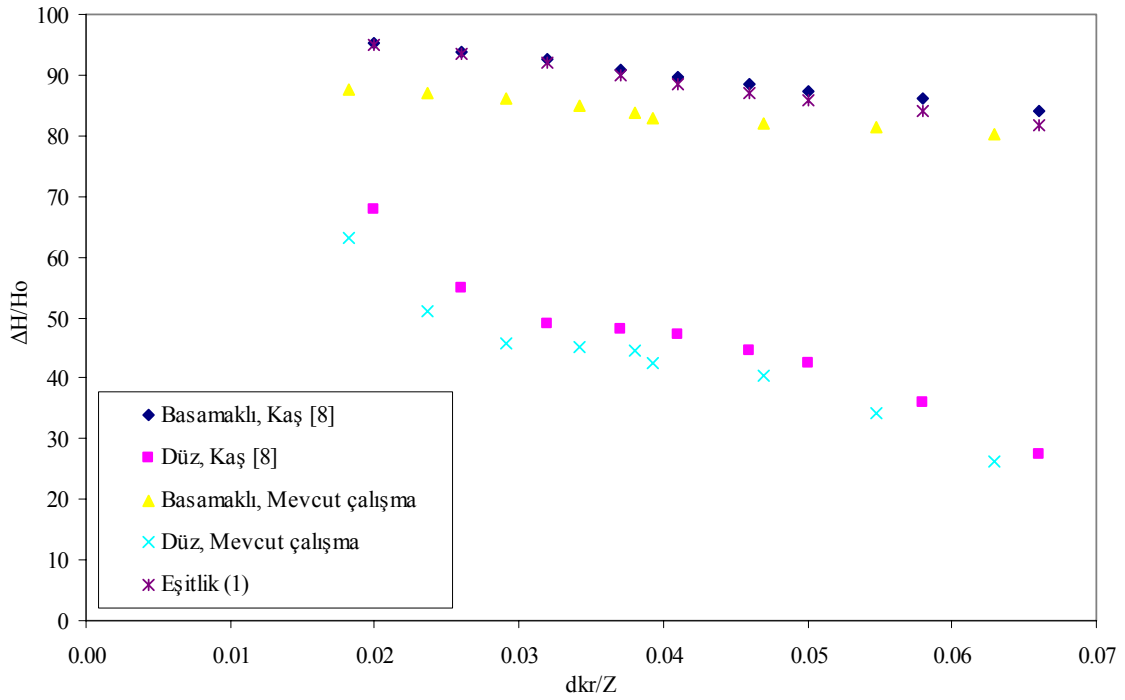
şeklinde verilmiştir. Burada d_c kritik akım derinliğini ve h basamak yüksekliğini ifade etmektedir.

Ayrıca, kapaksız dolusavaklar için; $H_0 = H_{\text{dam}} + 1,5 \cdot d_c$ ve kapaklı dolusavaklar için de, $H_{\max} = H_{\text{dam}} + H_0$ eşitlikleri verilmiştir [4].

Bu çalışmada kapaksız dolusavak modeli oluşturulmuştur. Yapılan sayısal analizlerin kıyaslanması amacıyla teorik enerji sönümlenme oranları da eşitlik (1) ve (4) yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te sırasıyla 30°, 51,3° ve 60° boşaltım kanalı taban eğimleri için, hesaplanmış olan teorik enerji sönümlenme oranları verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Üç farklı boşaltım kanalı taban eğimi için yapılan sayısal çalışmalar ile elde edilen sonuçlar, daha önce yapılmış olan deneysel çalışmaların [12] ve literatürde verilen teorik eşitlikler yardımıyla yapılan hesaplamaların sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Aşağıda verilmiş olan Şekil 4, 5, 6 ve Tablo 1, 2, 3 ile her çalışma için elde edilmiş olan enerji sönümlenme oranları verilmiştir.



Şekil 4. 30° taban eğimli boşaltım kanalı için enerji sönümlenme oranları

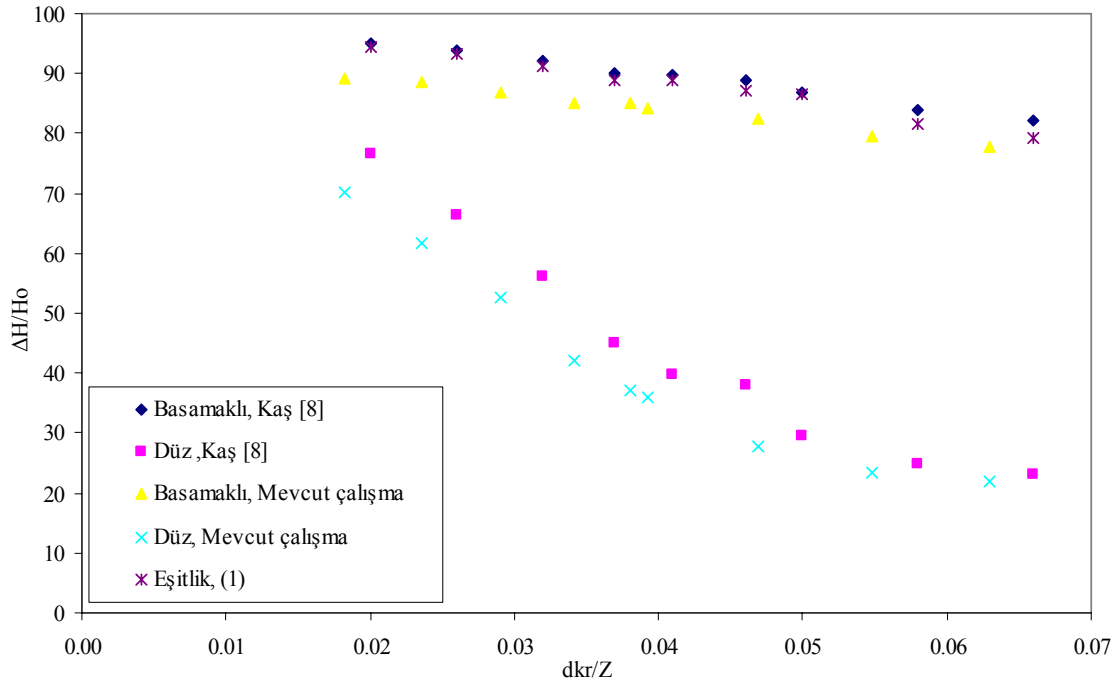
(Figure 4. The energy dissipation rate of chute angle of 30°)

Şekil 4,5 ve 6'da; d_{kr} kritik akım derinliğini, Z ise enerji sönümlenme oranının hesaplandığı noktanın dolusavak kretine olan düşey mesafesini ifade etmektedir. Böylece d_{kr}/Z oranı x eksenini boyutsuz yapmaktadır. $\Delta H/H_0$ oranı sönümlenen enerji miktarının toplam enerji miktarına oranıdır. Bu şekillerde, yapılmış olan deneyle [8] bulunmuş olan sonuçlar, Fluent yazılımı ile yapılan sayısal analizler ile elde edilen sonuçlar ve Chanson tarafından verilen (1,3) eşitlikler yardımıyla hesaplanmış olan değerler grafik olarak verilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalar için basamaklı ve basamaksız (düz) boşaltım kanalları durumları için de grafikler çizilmiştir. Şekil 4'ten görüleceği üzere basamaksız (düz) dolusavakta enerji sönümlenme oranı oldukça düşüktür. x eksenini oluşturan d_{kr}/Z oranı arttıkça (debi değeri büyüdükçe) enerji sönümlenme oranları azalmaktadır. Bu azalma miktarları, basamaksız dolusavakta basamaklı dolusavağa göre daha fazladır.

Tablo 1. 30° taban eğimli boşaltım kanalı için enerji sönümlenme oranları

(Table 1. The energy dissipation rate of chute angle of 30°)

Debi	d_{kr}	d_{kr}/Z	d_{kr}	d_{kr}/Z	Basamaklı		Düz		$\Delta H/H_0$ (%)
					$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	
(L/s)	Kaş İ. [12]		Sayısal		(Kaş, İ)	Sayısal	(Kaş)	Sayısal	Eş. (1)
20	0.05	0.02	0.05	0.02	95.22	87.60	67.78	63.01	94.97
30	0.07	0.03	0.07	0.02	93.95	86.90	55.00	51.15	93.54
40	0.09	0.03	0.08	0.03	92.57	86.09	49.11	45.80	91.96
50	0.10	0.04	0.09	0.03	90.91	84.82	47.95	45.01	90.08
60	0.11	0.04	0.11	0.04	89.59	83.86	47.21	44.67	88.53
70	0.13	0.05	0.11	0.04	88.45	82.97	44.63	42.41	87.14
80	0.14	0.05	0.13	0.05	87.28	82.04	42.59	40.51	85.72
100	0.16	0.06	0.15	0.05	86.04	81.31	36.03	34.35	84.04
120	0.18	0.07	0.17	0.06	84.13	80.35	27.38	26.25	81.60



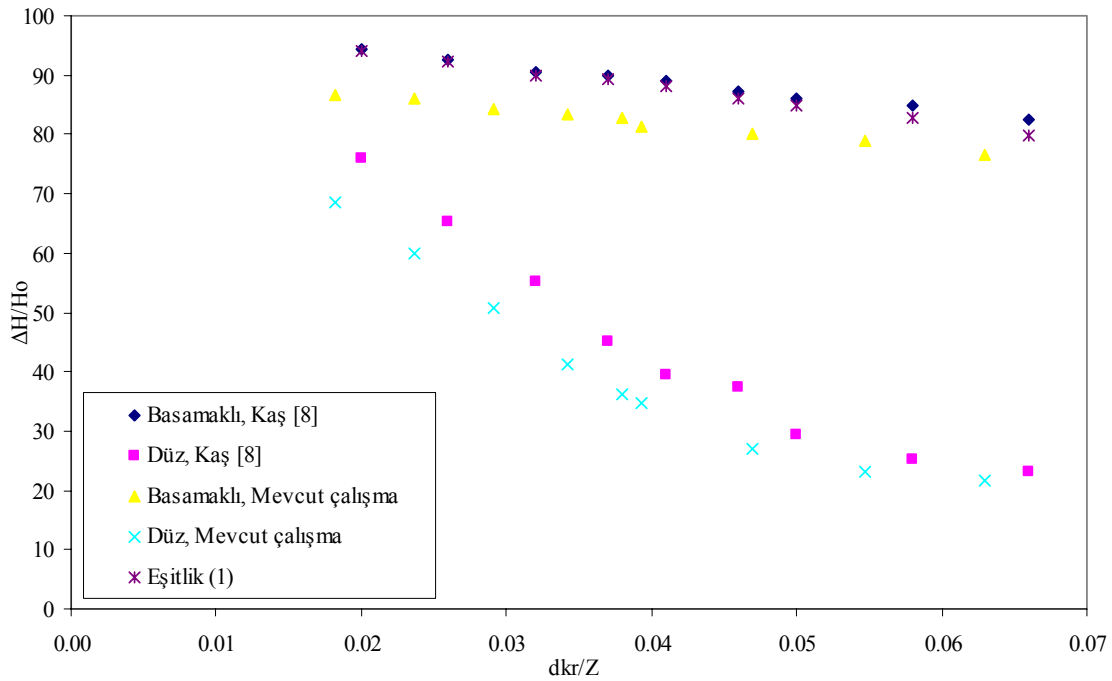
Şekil 5. 51,3 derece taban eğimli boşaltım kanalı için enerji sönümlenme oranları

(Figure 4 The energy dissipation rate of chute angle of 51,3 degree)

Şekil 5'te ve Tablo 2'de boşaltım kanalı taban eğiminin 51,3 derece olduğu durum için enerji sönümlenme oranları verilmiştir. Bu şekilde de basamaksız dolusavaktaki enerji sönümlenme oranlarının oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 2. 51,3 derece taban eğimli boşaltım kanalı için enerji
sönümlenme oranları
(Table 2. The energy dissipation rate of chute angle of 51,3 degree)

Debi	d_{kr}	d_{kr}/Z	d_{kr}	d_{kr}/Z	Basamaklı		Düz		$\Delta H/H_0$ (%)
					$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	
(L/s)	Kaş İ. [12]		Sayısal		(Kaş, İ)	Sayısal	(Kaş)	Sayısal	Eş. (1)
20	0.05	0.02	0.05	0.02	94.90	89.12	76.49	70.15	94.56
30	0.07	0.03	0.07	0.02	93.90	88.65	66.28	61.56	93.39
40	0.09	0.03	0.08	0.03	92.00	86.95	56.11	52.68	91.36
50	0.10	0.04	0.09	0.03	89.99	85.11	45.11	42.08	88.78
60	0.11	0.04	0.11	0.04	89.89	85.02	39.68	37.11	88.77
70	0.13	0.05	0.11	0.04	88.90	84.14	38.14	35.95	87.24
80	0.14	0.05	0.13	0.05	86.90	82.35	29.57	27.88	86.54
100	0.16	0.06	0.15	0.05	83.92	79.56	24.83	23.44	81.60
120	0.18	0.07	0.17	0.06	82.11	77.88	23.11	21.88	79.38



Şekil 6. 60 derece taban eğimli boşaltım kanalı için enerji sönümlenme oranları

(Figure 4. The energy dissipation rate of chute angle of 60 degree)

Şekil 6'da ve Tablo 3'te boşaltım kanalı taban eğimi 60 derece için yapılan çalışmalar sonucu elde edilen enerji sönümlenme oranları verilmiştir.

Şekil 4, 5 ve 6'da sayısal analiz sonucu elde edilen verilerin deney sonucu elde edilmiş olan verilere yakın değerler olduğu görülmektedir. Aynı şekillerde d_{kr}/Z oranının düşük olduğu kısımlarda sayısal çalışma ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlardan biraz daha uzak değerler olduğu görülmektedir. Bu durum, d_{kr}/Z değerinin yani debi değerlerinin düşük olduğu durumlarda, modele su girişindeki hız değerlerinin düşük olması dolayısıyla çözüm hassasiyetinin azalması ile ilişkilidir.

Tablo 3. 60 derece taban eğimli boşaltım kanalı için enerji sönümlenme oranları

(Table 3. The energy dissipation rate of chute angle of 60 degree)

Debi	d_{kr}	d_{kr}/Z	d_{kr}	d_{kr}/Z	Basamaklı		Düz		$\Delta H/H_0$ (%)
					$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	$\Delta H/H_0$ (%)	
(L/s)	Kaş İ. [12]		Sayısal		(Kaş, İ)	Sayısal	(Kaş)	Sayısal	Eş. (1)
20	0.05	0.02	0.05	0.02	94.26	86.61	75.97	68.54	94.06
30	0.07	0.03	0.07	0.02	92.70	86.02	65.43	60.05	92.25
40	0.09	0.03	0.08	0.03	90.64	84.15	55.28	50.89	89.85
50	0.10	0.04	0.09	0.03	89.98	83.46	45.10	41.23	89.17
60	0.11	0.04	0.11	0.04	89.14	82.78	39.35	36.25	88.05
70	0.13	0.05	0.11	0.04	87.37	81.18	37.48	34.68	86.08
80	0.14	0.05	0.13	0.05	86.13	80.05	29.31	27.04	84.91
100	0.16	0.06	0.15	0.05	84.80	78.82	25.09	23.28	82.72
120	0.18	0.07	0.17	0.06	82.42	76.63	23.20	21.57	79.68

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Basamaklı dolusavakların enerji sönümlenme özelliğinin sayısal analizinin yapıldığı bu çalışmada aşağıda ifade edilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Basamaklı dolusavakların enerji sönümlenme oranları, klasik dolusavaklara göre oldukça fazladır.
- Debi değerleri ve d_{kr}/Z oranları arttıkça enerji sönümlenme oranları azalmaktadır.
- Boşaltım kanalı taban açısı 30 derece olan modelde enerji sönümlenme oranları 20-120 L/s arasındaki debi değerleri için %84-%94 aralığındadır. Bu enerji sönümlenme oranları 51,3 ve 60 derece taban açılı modellerin enerji sönümlenme oranlarından daha fazladır.
- Taban açıları 51,3 ve 60 derece olan boşaltım kanalı modellerine ait enerji sönümlenme oranları, birbirine yakındır.
- Elde edilen sonuçların teorik eşitlikler ile de uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.
- Sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar, deneysel çalışmayla elde edilmiş olan sonuçlara göre yaklaşık olarak %5~%9 civarında farklılık göstermiştir. Bu durum sayısal yöntemlerin güvenilirliğini desteklemektedir. Ayrıca; düşük debi değerlerinde sayısal çalışma sonuçlarının daha hassas olabilmesi açısından, modele ait sonlu eleman ağı yapısının iyi seçilmesi ve gerektiğinde sonlu eleman sayısının artırılması bu çalışma ile elde edilmiş olan bir öneri olarak sunulabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Knauss, J., (1995). Computation of Maximum Discharge at Overflow Rockfill Dams (a comparison of different model test results). Proc. 13th ICOLD Congress, New Delhi, Q. 50, R.9.
2. Chanson, H. and Toombes, L., (2001). Experimental Investigations of Air Entrainment in Transition and Skimming Flows Down a Stepped Chute Application to Embankment Overflow Stepped Spillways. RESEARCH REPORT No. CE 158, Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Australia.



3. Boes, R.M. and Hager, W.H., (2001). Two-Phase Flow Characteristics of Stepped Spillways. Journal of Hydraulic Engineering.
4. Chanson, H., (1994). Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes, Journal of Hydraulic Research IAHR, Vol: 32, No:2, pp:213-215.
5. Esery I.T.S. and Horner M.W., (1978). The Hydraulic Design of Stepped Spillway. CIRIA Report, 33.
6. Chanson, H., (1994). Hydraulics of Skimming Flows Over Stepped Channels and Spillways. Journal of Hydraulic Research, 32, 3, pp:445-460.
7. Boes, R.M. and Hager, W.H., (2003). Two-Phase Flow Characteristics of Stepped Spillways. Journal of Hydraulic Engineering. 129, 9, pp:661-670.
8. Kaş İ., (1998). Basamaklı Dolusavaklarda Akım ve Enerjisinin Sönümlenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 1998, ANKARA.