



**NATURAL AND APPLIED SCIENCES
CIVIL ENGINEERING**

Received: February 2008
Accepted: July 2008
© 2008 www.newwsa.com

Cihat Tuna
University of Firat
mctuna@firat.edu.tr
Elazığ-Türkiye

**EŞİKLİ VE EŞİKSİZ BASAMAKLI TİP DOLUSAVAKLARIN ENERJİ SÖNÜMLENMESİ
AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

ÖZET

Basamaklı dolusavaklar yaklaşık 3500 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. Basamaklı dolusavaklar, silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) barajların inşaa tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde son çeyrek yüzyılda oldukça popüler olmuştur. Bu çalışmada, basamaklı dolusavakların uç kısımlarına yerleştirilen değişik yükseklik ve karakterlerdeki eşiklerle enerji sönümlenme oranlarının ve basamaklı dolusavakların hidrolik karakteristiklerinin nasıl etkileneceği ve klasik basamaksız dolusavaklardan ne gibi farklılıklar göstereceği deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma neticesinde, basamaklı ve eşikli dolusavakların enerji sönümlenme oranlarının, klasik ve eşiksiz basamaklı dolusavaklara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basamaklı Dolusavaklar, Enerji Sönümlenme, Eşik

THE COMPARATION OF ENERGY DISSIPATION OF STEPPED SPILLWAYS WITH AND WITHOUT END SILL

ABSTRACT

Stepped spillways have been used for about 3500 years. Stepped spillways have regained popularity over the last decades with the evolution of the roller compacted concrete (RCC) dam construction technique. The aim of this experimental study is to determine the amount of the energy dissipation for stepped spillways with end sill, and hydraulics of the flow in stepped spillways for sill types used in this study. The results of experimental study are compared with conventional spillway. Finally, it is seen that the energy dissipation of stepped spillways with end sill is higher than that of conventional stepped spillways.

Keywords: Stepped Spillways, Energy Dissipation, Sill



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Barajların dolusavaklarından bırakılan akımın enerjisinin sönümlenmesi için genellikle enerji kırıcı havuzlar veya sıçratma eşikleri kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle küçük barajların dolusavaklarından mansaba bırakılan akımın enerjisini sönümlemek için basamak tipli dolusavaklar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Basamaklı dolusavaklar, akımın enerjisinin büyük bir bölümünü dolusavak boşaltım kanalı boyunca sönümlediklerinden mansaptaki enerji kırıcını yapının boyutlarının ve maliyetinin azaltılması amacı ile kullanılmaktadır [2]. Bundan dolayıdır ki basamaklı dolusavakların hidroliği hakkında birçok araştırmacı tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Yapılan bu çalışmalar ile basamaklı dolusavaklarda oluşan akım karakteristikleri, basamakların sonunda suyun mevcut enerjisinin ne kadarının sönümlendiği ve basamakların suyun oksijen transferine sağladığı katkısı belirlenmiştir. Bu konuda ki ilk çalışma, Essery ve Horner [3] tarafından yapılmıştır. Essery ve Horner [3] yapmış oldukları çalışma ile basamaklı dolusavaklarda günümüzde nap akımı olarak adlandırılan akım şartlarının meydana geldiğini saptamışlardır. Wilhelms ve Gulliver [4], düşülerde yapmış oldukları deneysel çalışmalarda oksijen ve nitrojen gibi atmosferik gazların basamaklar vasıtasıyla transferinin meydana geldiğini bulmuşlardır. Chanson [5] yapmış olduğu deneysel çalışma ile basamaklı dolu savaklarda büyük debilerde tamamen farklı akım hesapları ve sıçramalı akım diye adlandırdığımız farklı bir akım rejiminin meydana geldiğini belirlemiştir. Boes ve Hager [6], basamaklı dolusavaklarda nap ve sıçramalı akım karakterlerini ve basamakların enerji sönümlenmesindeki etkisini araştırmışlar ve sıçramalı akım şartlarında daha fazla enerji sönümlenmesi olduğunu tespit etmişlerdir. Chanson [7] yaptığı çalışma ile basamaklı dolusavaklarda sıçramalı ve geçiş akımı şartlarının oksijen transferine etkilerini incelemiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yapılan literatür incelemesi neticesinde, basamaklı dolusavaklarda akıma hava girişi arttıkça enerji sönümlenme oranının da arttığı belirlenmiştir. Literatürden farklı olarak bu çalışmada, basamaklı dolusavakların uç kısımlarına yerleştirilen değişik geometrili eşiklerle enerji sönümleme oranlarının ve basamaklı dolusavakların hidrolik karakteristiklerinin nasıl etkileneceği ve klasik basamaksız dolusavaklardan ne gibi farklılıklar göstereceği deneysel olarak incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Basamak tipi dolusavak boşaltım kanallarında deneysel çalışmalar yapmak için Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında Şekil 1'de kesiti verilen bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneği laboratuvar tabanından 2,50 m yüksekte, genişliği sabit ($b=0,29$ m) olan dikdörtgen kesitli bir kanal olup dolusavak mansap eğimi $\alpha=30^\circ$ ve dolusavak uzunluğu $L=5.51$ m olacak şekilde farklı basamak boyutları değişikliklerinin kolayca yapılabilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

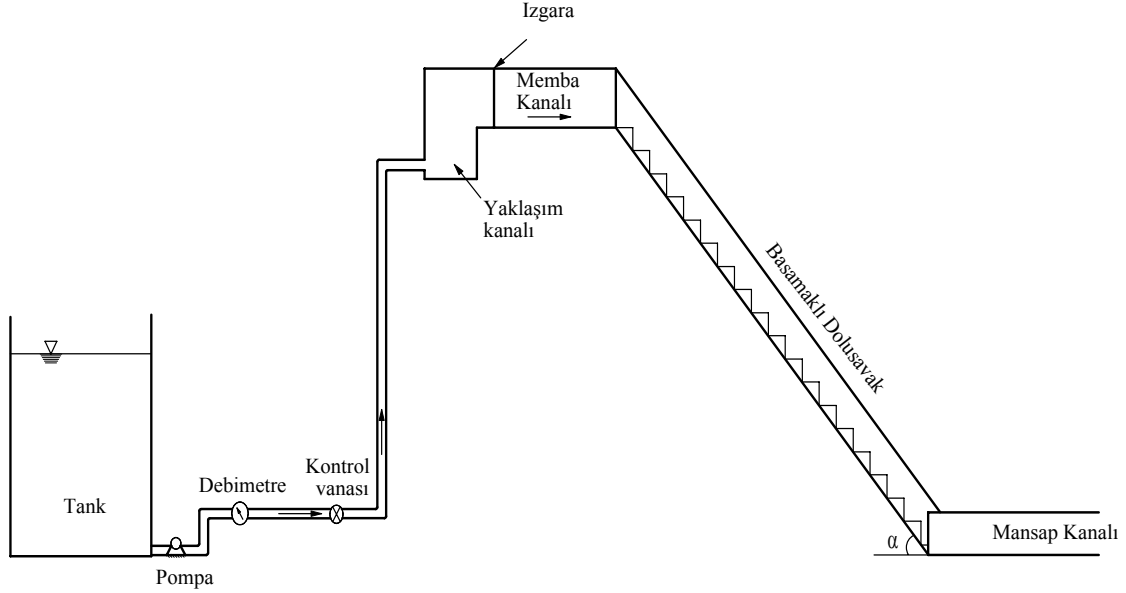
Deney düzeneğinde dolusavak boşaltım kanalının yan duvarı akım koşullarını görebilmek amacı ile cam malzemedan teşkil edilmiştir.

Basamak boyutları (yüksekliği ve genişliği); $h=10$ cm için $b=17,88$ cm olarak alınmıştır.

Basamak uçlarına, kesitleri Şekil 2'de gösterilmiş olan yükseklikleri 2 cm, 4 cm'lik dikdörtgen ve 4 cm ile başlayıp 1 cm'e kadar azalan trapez kesitli ahşap malzemedan yapılmış eşikler yerleştirilmiştir. Sistemde debi, bir debimetre kullanılarak

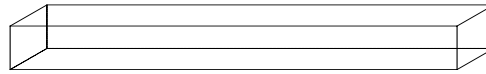
belirlenmiştir. Vana yardımı ile ayarlanan farklı debi miktarlarında; kritik akım derinliği, h_c ve basamakların bittiği noktadaki hız yükseklikleri ve mansap havuzundaki akım derinlikleri ölçülmüştür.

Kanalda meydana gelen akımın sıçramalı, nap veya geçiş akımı şartlarından hangisini sağladıkları gözlemlenerek kaydedilmiştir.

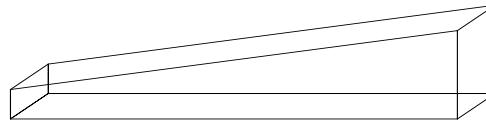


Deney düzeneği amaca uygun ölçümlerin yapılabilmesi için ölçüm aletleri ile teçhiz edilmiştir. Bu ölçümler ve kullanılan aletler aşağıda açıklanmıştır.

- **Su Seviyesi Ölçümleri:** Su seviyesi ölçümleri (kanal tabanına dik akım derinlikleri) nokta uçlu (point gage, limnometre) seviye ölçme aletleri ve dolusavak boşaltım kanalı yan duvarı üzerine yerleştirilen çelik şerit metreler yardımıyla yapılmıştır.
- **Debi Ölçümleri:** Yapının mamba kısmına yerleştirilen bir elektromanyetik debimetre yardımıyla yapılmıştır.
- **Hız Yüksekliği Ölçümleri:** Dolusavak kanalı ucuna yerleştirilen muline vasıtasıyla okunmuştur.



(a)



(b)

Şekil 2. Deneyde Kullanılan Eşikler:

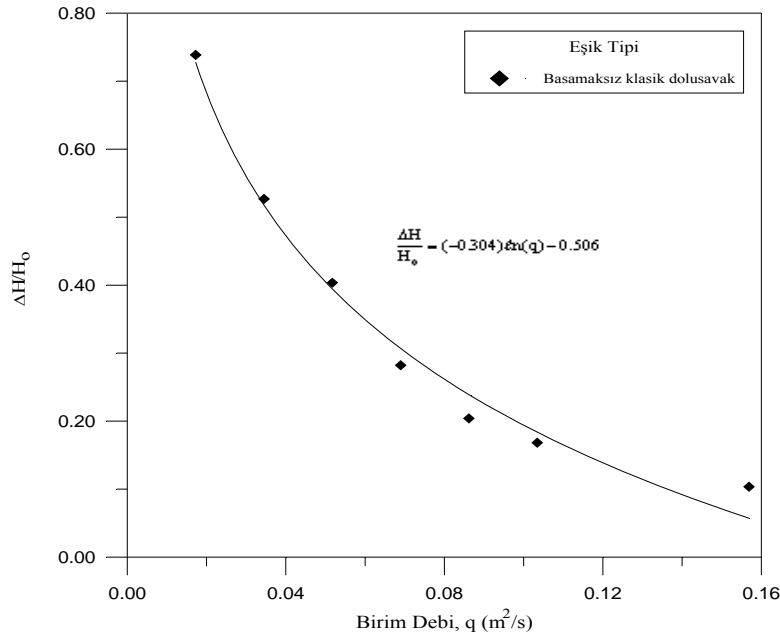
(a) Dikdörtgen Enkesitli Eşik (b) Trapez Enkesitli Eşik
(Figure 2. Sill Section)

Deneyler sırasında ilk alternatif basamaklar çıkarılarak klasik basamaklı dolusavak için yapılmış, ikinci alternatifte, genişlik ve yüksekliği yukarıda verilmiş olan basamaklı dolusavak kullanılmış, üçüncü alternatifte de basamaklar üzerine yüksekliği 2 cm, genişliği 29 cm olan ahşaptan imal edilmiş eşikler bütün basamak uçlarında olacak

şekilde teşkil edilmiştir. Dördüncü alternatifte de 2 cm yükseklikli eşikler bir basamak kenarında olup, diğerinde olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Beşinci alternatifte de 4cm yükseklikli eşikler bütün basamak kenarlarına yerleştirilmiştir. Altıncı alternatifte 4 cm yükseklikli eşikler bir basamak ucunda olup diğerinde olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Yedinci alternatifte, yüksekliği 4 cm den başlayıp 1cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak uçlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak yerleştirilmiş, sekizinci alternatifte de trapez kesitli eşiklerin 4 cm'lik kısımları üç kez sağa üç kez sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak dizilmiş ve sonuncu bir başka değişle, dokuzuncu alternatifte trapez kesitli eşikler iki sağa, bir boş basamak ve iki sola şaşırtmalı olarak dizilmiş olup farklı debi miktarlarında hangi eşik tipinin enerji sönümlenmesinde daha uygun olacağına karar vermek için bir dizi deneysel çalışmalar bu koşullar altında yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Farklı alternatiflerle yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11'de grafik halinde gösterilmiştir. Klasik basamaksız dolusavaklar ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen enerji sönümlenme değerleri ise Şekil 3'de gösterilmiştir.

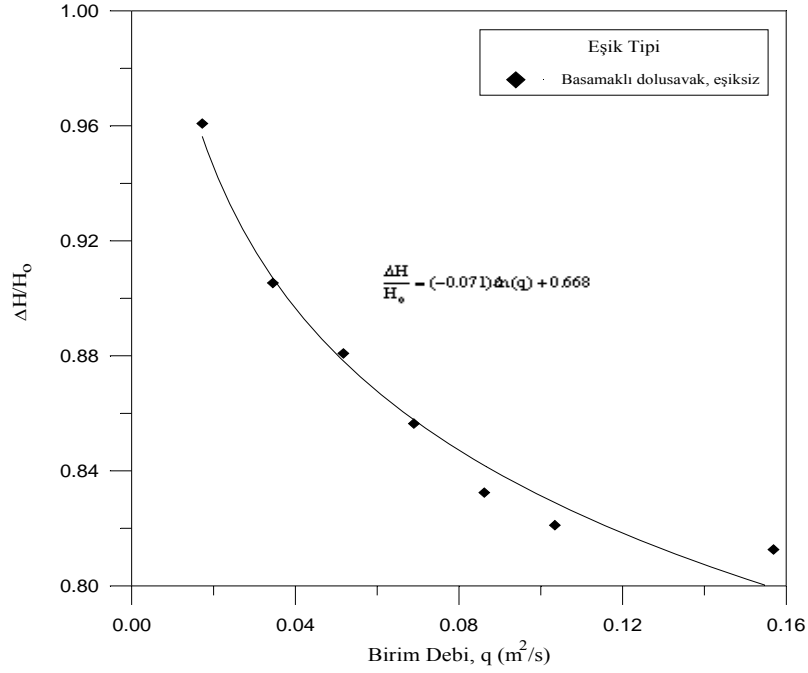


Şekil 3. Birinci alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 3. The energy dissipation rate of the first alternative)

x eksenini q birim debiyi, y eksenini $\frac{\Delta H}{H_0}$ (enerji sönümlenme oranları) gösterecek olursa, Şekil 3'den anlaşılacağı gibi; $\frac{\Delta H}{H_0} = (-0.304)\ln(q) - 0.506$ denklemi ortaya çıkmaktadır.

Şekilden de görüldüğü gibi basamaksız klasik dolusavakta enerji sönümlenmesi oranı oldukça düşüktür. Bunun sebebi akımın sel rejiminde olması ve hava girişinin çok az olmasıdır.

Basamaklı fakat eşiksiz dolusavakta yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 4'te gösterilmiştir.

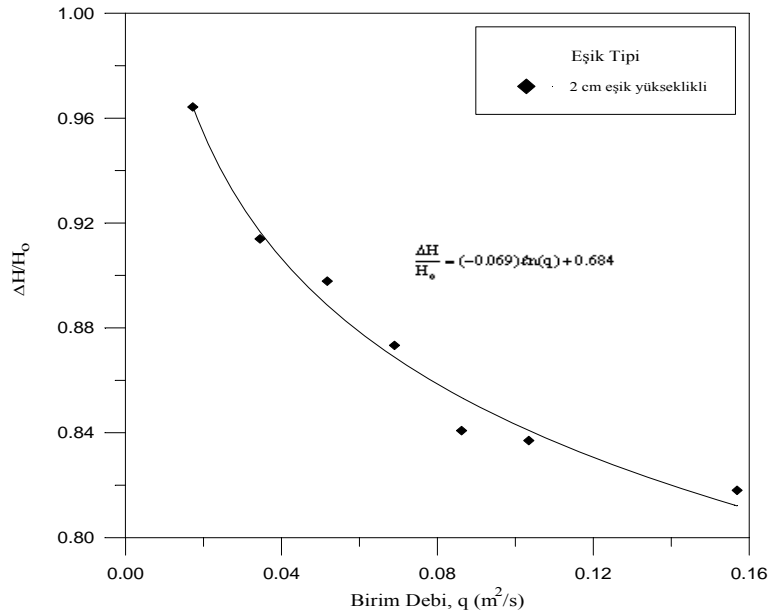


Şekil 4. İkinci alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 4. The energy dissipation rate of the second alternative)

Şekil 4'de ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_0} = (-0.071)\ln(q) + 0.668$ denklemi elde edilir.

Yapılan çalışma neticesinde, basamaklı dolusavakların klasik dolusavaklara nispeten iki kat daha fazla enerji sönümlendiği belirlenmiştir.

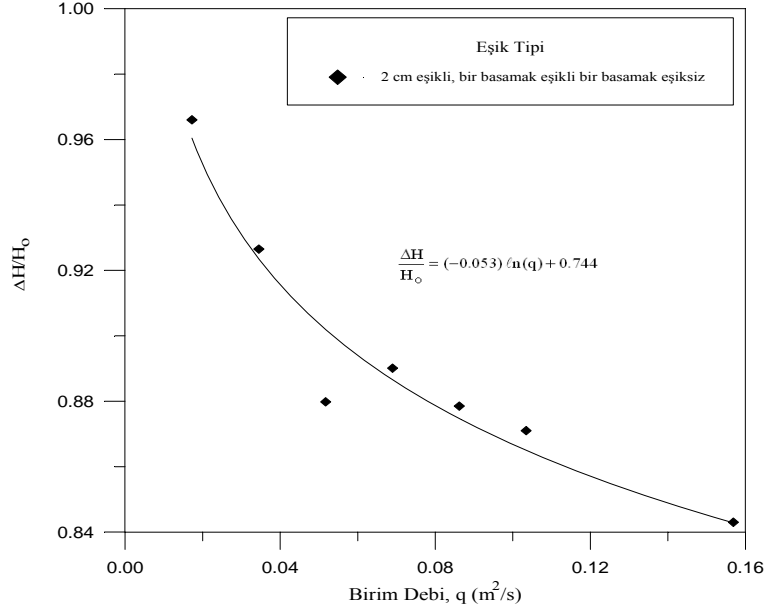
Eşik yüksekliği 2 cm bütün basamak kenarları dolu dolusavakda yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Üçüncü alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 5. The energy dissipation rate of the third alternative)

Şekil 5'de ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_o} = (-0.069)\ln(q)+0.684$ denklemi elde edilir.

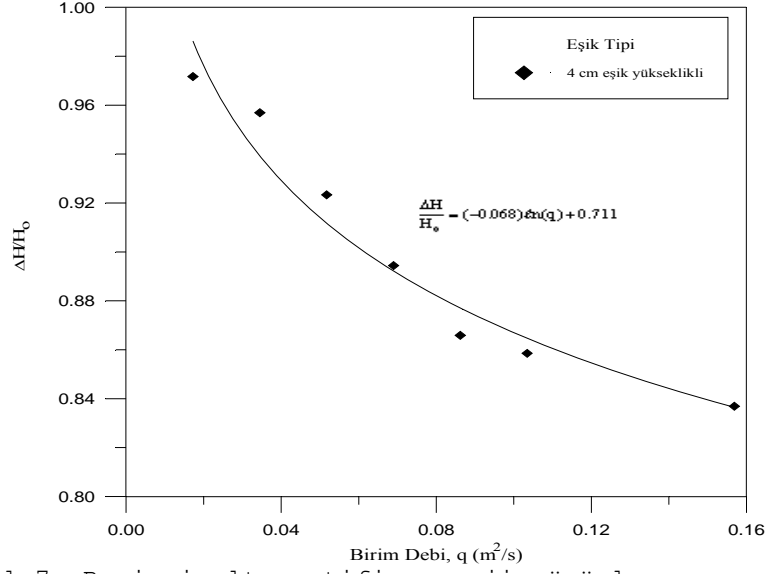
Eşik yüksekliği 2 cm bir basamak kenarı dolu bir kenarı boş olan dolusavakda yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Dördüncü alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 6. The energy dissipation rate of the fourth alternative)

Şekil 6'da ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_o} = (-0.053)\ln(q)+0.744$ denklemi elde edilir.

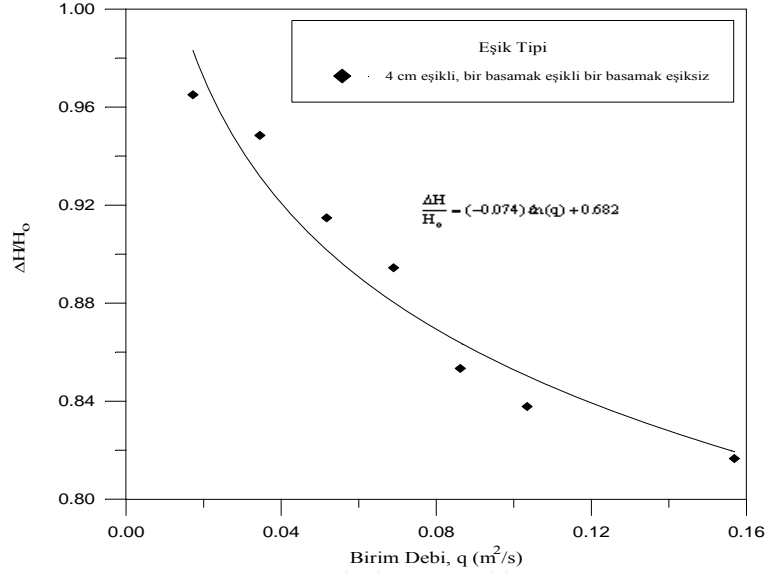
Eşik yüksekliği 4 cm bütün basamak kenarları dolu olan dolusavak da yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Beşinci alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 7. The energy dissipation rate of the fifth alternative)

Şekil 7'de ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_0} = (-0.068)\ln(q) + 0.711$ denklemi elde edilir.

Eşik yüksekliği 4 cm bir basamak kenarı eşikli bir basamak kenarı eşiksiz olan dolusavak da yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 8'de verilmiştir.

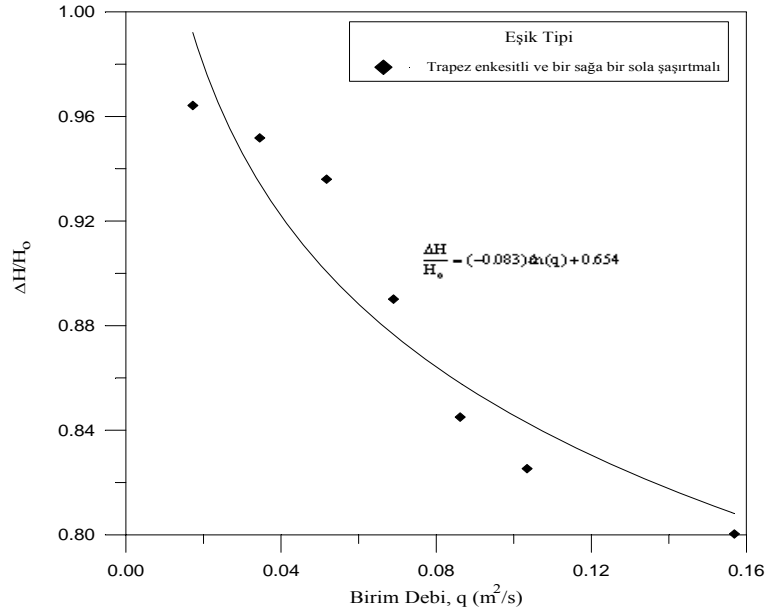


Şekil 8. Altıncı alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 8. The energy dissipation rate of the sixth alternative)

Şekil 8'de ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_0} = (-0.074)\ln(q) + 0.682$ denklemi elde edilir.

Yüksekliği 4 cm den başlayıp 1cm'ye kadar azalan trapez kesitli eşikler bütün basamak uçlarına 4 cm olan tarafı bir sağa bir sola

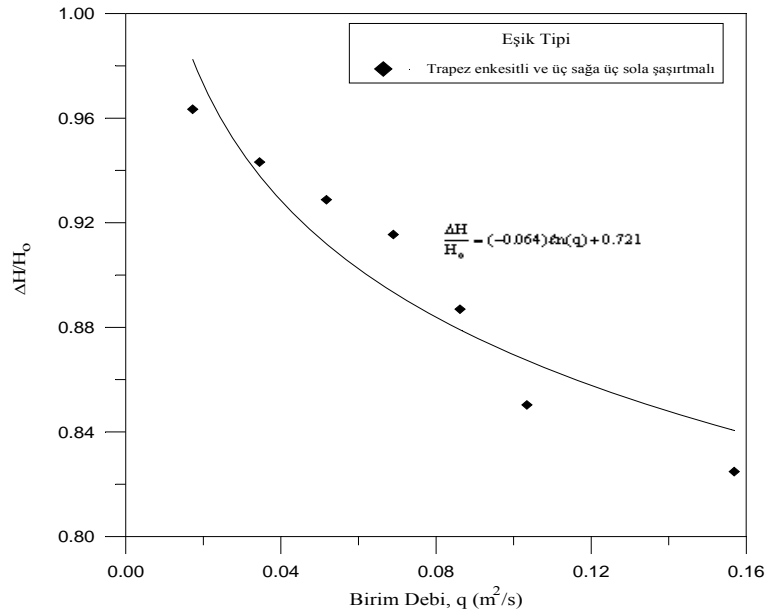
gelecek şekilde şaşırtmalı olarak yerleştirilmiş dolusavak da yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Yedinci alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 9. The energy dissipation rate of the seventh alternative)

Şekil 9'da ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_0} = (-0.083)\ln(q) + 0.654$ denklemi elde edilir. Burada dikkat çeken nokta küçük debilerde enerji sönümlenme oranının yüksek olmasıdır.

Trapez kesitli eşiklerin 4 cm'lik kısımları üç kez sağa üç kez sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak dizilmiş dolusavak da yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 10'da verilmiştir.

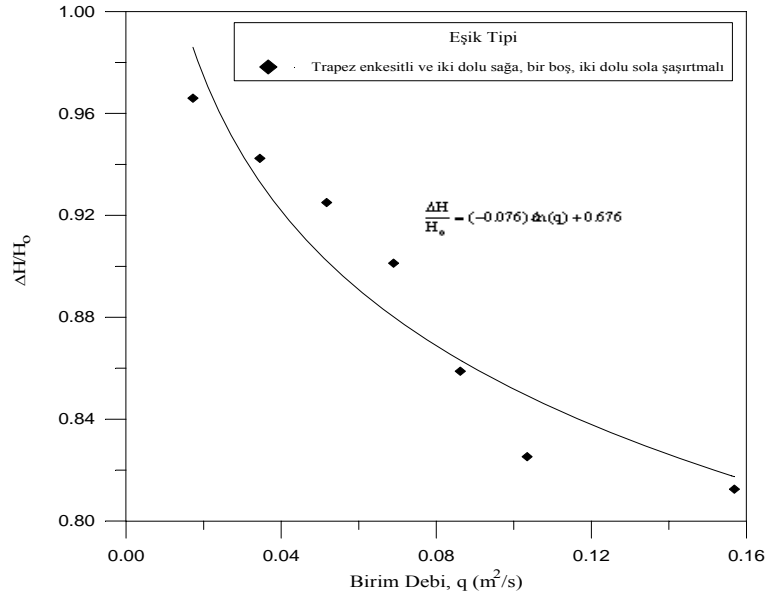


Şekil 10. Sekizinci alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 10. The energy dissipation rate of the eighth alternative)

Şekil 10'da ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_o} = (-0.064)\ln(q)+0.721$ denklemi elde edilir.

Bu alternatifte enerji sönümlenme oranının maksimum olduğu görülmektedir

Trapez kesitli eşikler iki sağa, bir boş basamak ve iki sola şaşırtmalı olarak dizilmiş dolusavak da yapılan deneyler sonucu elde edilen bulgular Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Dokuzuncu alternatifin enerji sönümlenme oranları
(Figure 11. The energy dissipation rate of the ninth alternative)

Şekil 11'de ki değerlerden birim debi q ve enerji sönümlenme oranları bir x-y eksen takımında gösterilecek olursa $\frac{\Delta H}{H_o} = (-0.076)\ln(q)+0.676$ denklemi elde edilir.

Trapez kesit kullanılan alternatiflerde enerji sönümlenme oranının diğer alternatiflere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Basamaklı dolusavakların uç kısımlarına yerleştirilen değişik geometrili eşiklerle enerji sönümlenme oranlarının ve basamaklı dolusavakların hidrolik karakteristiklerinin nasıl etkileneceği ve klasik basamaksız dolusavaklardan ne gibi farklılıklar göstereceğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yapılan çalışma neticesinde, debi ile $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerinin ters orantılı olduğu belirlenmiştir.
- Basamaklı eşiksiz dolusavağın enerji sönümlenme oranı klasik dolusavağa nispeten ortalama %53 daha fazladır.
- Eşik yüksekliği 4 cm olan basamaklı dolusavağın enerji sönümlenme oranı klasik dolusavağa oranla ortalama %55 daha fazladır.



- Trapez kesitli eşiklerin 4 cm olan tarafı üç sağa üç sola gelecek şekilde şaşırtmalı olarak dizilen eşikli dolusavağın enerji sönümlenme oranı klasik dolusavağa göre ortalama %56 daha fazladır.
- Basamaklı ve eşikli dolusavaklar ile klasik dolusavağın $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerleri karşılaştırıldığı zaman klasik dolusavakların $\frac{\Delta H}{H_o}$ değerlerinin diğerlerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür.
- Trapez kesitli eşikli dolusavakların enerji sönümlenme oranlarının bu çalışmada test edilen diğer tiplere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Test edilen alternatifler arasında en uygun iki sonuç; 4 cm eşik yükseklikli (yani eşik yüksekliğinin basamak yüksekliğine oranı, 4 cm/10 cm=0.40 iken) ve trapez kesitli eşiklerle oluşturulan dolusavaklarda elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Boes, R.M. and Hager, W.H., (2001). Two-Phase Flow Characteristics of Stepped Spillways. Journal of Hydraulic Engineering: under review.
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. Esery I.T.S. and Horner M.W., (1978). The Hydraulic Design of Stepped Spillway. CIRIA Report, 33.
4. Gulliver, J.S. and Wilhelms, S.C., (1998). Predictive Capabilities in Oxygen Transfer at Hydraulics Structures. J. Hydr. Eng. ASCE, 124 (7), pp:664-671.
5. Chanson, H., (1994). Hydraulics of Skimming Flows Over Stepped Channels and Spillways. Journal of Hydraulic Research, 32, 3, pp:445-460.
6. Boes, R.M. and Hager, W.H., (2003). Two-Phase Flow Characteristics of Stepped Spillways. Journal of Hydraulic Engineering: under review. 129, 9, pp:661-670.
7. Chanson, H., (1996). Prediction of The Transition Nappe/Skimming Flow on a Stepped Channel, Journal of Hydraulic Research, 34, 3, pp:421-429.