

Farklı savak yüksekliğine ve konfigürasyona sahip dairesel labirent savakların deneysel modellenmesi

Experimental modeling of circular labyrinth weirs with different weir heights and configurations

Ali YILDIZ^{*1} , Ali İhsan MARTI¹ , Mustafa GÖĞÜŞ² 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42550, Konya

²Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06330, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 23.11.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 24.02.2023

Öz

Labirent savaklar plan görünümünde zikzaklı geometrilerinden dolayı, doğrusal savaklara göre baraj gövdesinde veya yerleştirildiği kanallarda daha az genişliğe ihtiyaç duyarlar. Bu çalışmada yarım daire şeklindeki labirent savakların içerdikleri göz sayılarının (N) ve yüksekliklerinin (P) debi verimine olan etkisi incelenmiştir. Yarım daire şeklindeki labirent savaklar üçgen ve trapez labirent savakların aksine, kesişim köşelerindeki akış kapasitesini azaltan bölgeleri daha verimli hale getirerek ve akışın savak duvarlarına daha dik doğrultuda hareket etmesini sağlayarak deşarj verimini arttırmırlar. Deneyler dairesel savaklar için içerdikleri yarım daire sayısına bağlı olarak ($N=2, 3$ ve 4) olarak 3 farklı konfigürasyon üzerinde yürütülmüştür. Bütün konfigürasyonlarda toplam 3 adet savak yüksekliği ($P=0.20, 0.30$ m ve 0.40 m) kullanılmış olup 9 adet deney seti hazırlanmıştır. Ayrıca dairesel savaklardan elde edilen sonuçlara referans oluşturması amacıyla doğrusal savaklar ile 3 farklı savak yüksekliğinde ($P=0.20, 0.30$ m ve 0.40 m) deneyler yapılmış olup toplamda 12 adet deney yapılmıştır. Dairesel savakların içerdikleri göz sayısı (N) arttıkça debi verimi düşmüştür ve yüksekliğin debi verimi üzerine belirgin bir etkisi olmamıştır. Dairesel labirentler savak deneylerinden elde edilen sonuçlar önceki çalışmalar ile karşılaştırılmış ve yarım daire labirent savakların, üçgen kesitli labirent savaklara göre daha yüksek debi-deşarj kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca yarım daire şeklindeki labirent savaklar aynı kanal genişliğinde üçgen forma göre daha uzun efektif kret uzunluğu sağlamışlardır ve aynı savak yükünde yüksek debi geçirmişlerdir.

Anahtar kelimeler: Açık kanal hidroliği, Dairesel savaklar, Deneysel modelleme, Labirent savaklar

Abstract

Due to their zigzag geometry in plain view, labyrinth weirs require less crest length compared to linear weirs in the dam body or in the channels where they are placed. In this study, the effect of the number of cycles (N) and weir heights (P) of the semi-circular labyrinth weirs on the flow efficiency was investigated. Semi-circular labyrinth weirs, unlike triangular and trapezoidal labyrinth weirs, increase the discharge efficiency by making the areas that reduce the flow capacity at the intersection areas more efficient and by allowing the flow to move in a more perpendicular direction to the weir walls. The experiments were carried out on 3 different configurations ($N=2, 3$ and 4) depending on the number of semi-circles they contain. In all configurations, a total of 3 weir heights ($P=0.20, 0.30$ m and 0.40 m) were used and 9 test setups were prepared. In addition, to reference the results obtained from circular weirs, experiments were carried out with linear weirs at 3 different weir heights ($P=0.20, 0.30$ m and 0.40 m), and a total of 12 experiments were carried out. In this study, the effect of the number of cycles (N) and weir heights (P) of the semicircular labyrinth weirs on the discharge efficiency was investigated. The results obtained from the circular labyrinth weir experiments were compared with previous studies and it was seen that the semi-circular labyrinth weirs had higher discharge capacity than the triangular labyrinth weirs. In addition, semi-circular labyrinth weirs provided a longer effective crest length than the triangular form with the same channel width, they provide higher flow rates at the same weir load.

Keywords: Open channel hydraulic, Circular sectioned weirs, Experimental modeling, Labyrinth weirs

* Ali YILDIZ; ayildiz@ktun.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Dolusavaklar, baraj gövdesini korumak ve mansaba giden akımı düzenlemek için kullanılan, akışı güvenli bir şekilde mansap tarafına geçiren güvenlik yapılarıdır. Dolusavaklar tarafından mansap tarafına geçirilecek debinin miktarı son derece önemlidir. Yüksek taşkın ihtimalinin bulunduğu bölgelerde dolusavağın akış kapasitesi çok daha büyük önem taşır (Tingey, 2011). Çünkü rezervuardaki fazla su seviyeleri baraj gövdesinde hasarlara yol açabilmektedir. Bu nedenle suyun baraj gövdesine zarar vermeden mansaba aktarılabilmesi için, taşkın dönemlerinde dolusavakların yeterli debi-deşarj kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Dolusavaklarda işletim esnasında oluşan yapısal hasarların %22'si dolusavakların kapasitelerinin yetersizliğinde kaynaklanmaktadır (ICOLD, 1995).

İnşaat maliyeti ve inşaat sahasının coğrafi koşulları nedeniyle, doğrusal dolusavaklar gerekli debi kapasitesini sağlamada yetersiz kalabilmektedirler. Bu durumda problemin çözümü, debi-deşarj kapasitesini artırmak için labirent dolusavaklar kullanılarak efektif kret uzunluğunun artırılmasıdır (Wormleaton & Tsang, 2000).

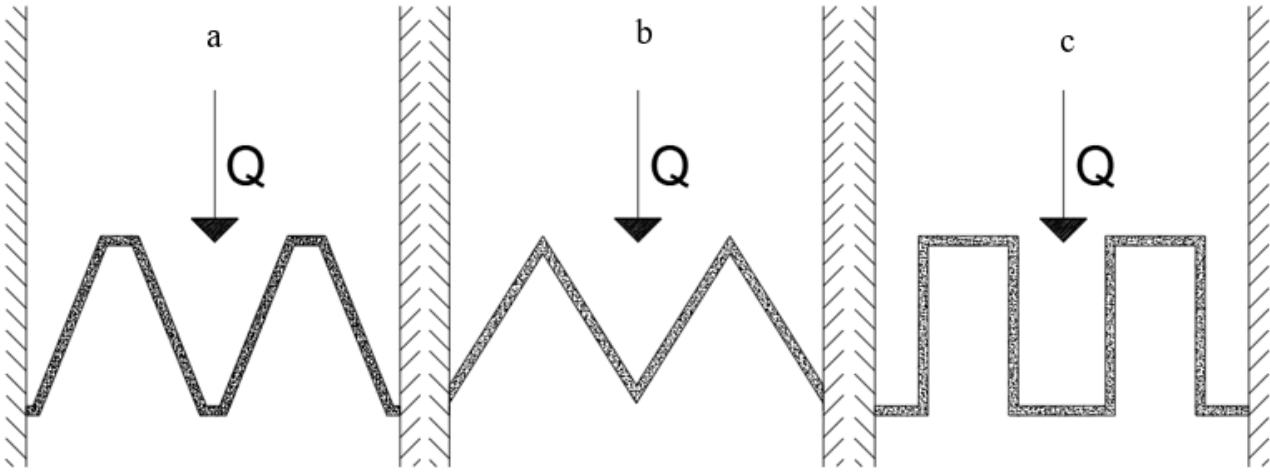
Bir labirent savak, üstten görünüşte bir doğrusal savağın katlanmış halidir. Labirent savaklar geometrilerinden dolayı doğrusal savaklara göre birçok avantaja sahiptirler. Labirent savaklar, belirli bir kanal genişliğinde efektif kret uzunluğunu arttırarak sabit bir savak yükünde debi kapasitesini arttırmış olurlar. Bu yüzden doğrusal savaklara göre aynı kret uzunluğunda, daha az savak açıklığı gerektirirler. Labirent dolusavaklar, düz bir hat veya yay hattı üzerine yerleştirilebilirler. Crookston & Tullis (2012) yaptığı deneysel çalışmada, labirent savakların verimini arttırmak için doğrusal bir hat yerine, yay şeklinde bir hat kullanmıştır.



Şekil 1. Ute Dam labirent dolusavağı

Figure 1. Ute dam labyrinth spillway (https://www.youtube.com/watch?v=cmb_G0ucN0c)

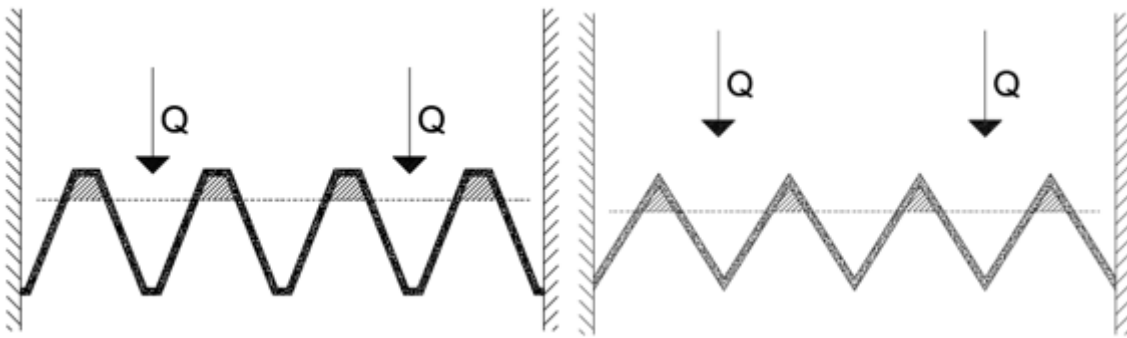
Labirent savakların çok farklı geometrik konfigürasyonları vardır, ancak yapısal olarak üçgen, yamuk ve dikdörtgen olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2). Labirent dolusavakların tasarımı ile ilgili ilk detaylı bilgiler Taylor (1968) tarafından verilmiştir. Geniş bir uygulama alanı için bir labirent savağın deşarj verimini etkileyen temel faktörleri vermek için deneysel verilere ve teorik bilgilere bağlı olarak çözümler önermişlerdir. Bunu Hay & Taylor (1970) yamuk ve üçgen labirent dolusavaklar için bir tasarım prosedürünün hazırlanmasına yönelik bir çalışma ile takip etmiştir. Bilhan vd. (2018) dairesel labirent savakların deşarj verimini araştırmak için 3 farklı savak yüksekliğinde (P=10, P=15 ve P=20 cm) ve 56 cm çapında, yarım daire şeklindeki savaklar üzerinde deneyler yapmışlardır. Deneylerden elde edilen sonuçlar nümerik model ile karşılaştırılarak, nümerik modellerin doğrulukları test edilmiştir ve nümerik model ve deneysel veriler %96 oranında tutarlı çıkmıştır.



Şekil 2. Farklı labirent savak geometrileri. (a) trapez, (b) üçgen, (c) dikdörtgen

Figure 2. Different labyrinth weir geometries. (a) trapezoidal, (b) triangular, (c) rectangular

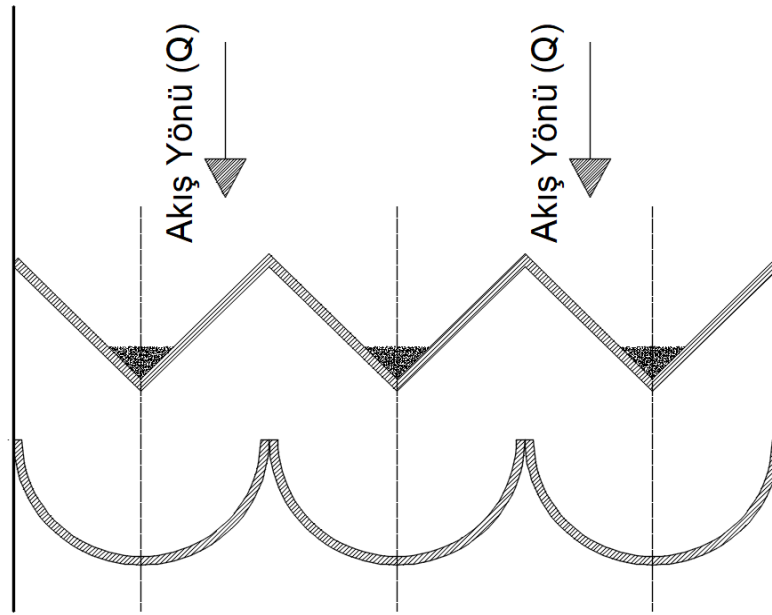
Labirent savak üzerinden geçen akımı matematiksel ifadelerle açıklamak zordur, çünkü labirent savak üzerinden geçen akış üç boyutlu olup akım ani genişlemelerle ve daralmalarla karşılaşmaktadır (Amanian, 1987). Enerji, momentum, süreklilik, nap akımı altındaki basınç, nap akımının havalanma durumu, nap akımı girişimi, batıklık, savak geometrisi ve kret tepe şekli gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Labirent savaklarda debi, deneysel veriler sonucunda elde edilen ampirik olarak belirlenmiş katsayılara sahip bir savak denklemleri ile hesaplanır. Nap akımlarının girişimi, bitişik iki duvardan gelen akımların çakışması sonucu oluşur (Şekil 3). Bu iki akımın çakışması bölgesel bir batıklık etkisine neden olur (Crookston, 2010). Bilhan vd. (2016) yaptıkları çalışmada trapez ve dairesel labirent savaklara nap akımlarının girişimlerini engellemek için duvar üzerine kırıcılar yerleştirmişlerdir. Özellikle yan duvar açılarının çok küçük olduğu zaman nap girişiminin etkisi artmaktadır. Labirent savak üzerinden geçen akım kret tepe şeklinden de etkilenmektedir. Labirent savakta kullanılan göz sayısı nap girişiminin olduğu bölge sayısını etkilemektedir. N , labirent savakta kullanılan dairenin sayısıdır. Sabit bir kret uzunluğunda, N 'yi artırarak labirent dolusavağın etkin kret uzunluğu artırabilir, ancak 3 gözlü bir savak, apeks sayısındaki artış ve nap akımlarından etkilenen bölgelerinin artması nedeniyle debi-deşarj kapasitesi bakımından 20 gözlü bir savaktan daha verimli olabilir.



Şekil 3. Üçgen ve trapez kesitli labirent savaklar nap akımı girişimlerini oluşturan bölgeler (taralı olarak gösterilen)

Figure 3. Regions where nappe flow interferences occurs in triangular and trapezoidal labyrinth weirs, (shown as shaded)

Bu çalışmanın amacı, farklı kesitteki dairesel savak konfigürasyonları kullanarak düz bir hat üzerinde labirent savağın deşarj verimliliğini artırmaktır. Labirent savaklarda debiyi azaltan nap bölgelerini deşarj bakımından daha verimli hale getirmek ve suyun mümkün olduğunca savaklara dik akmasını sağlamak amacıyla bu savaklar dairesel formda Şekil 4'te görüldüğü gibi yeniden tasarlanmıştır. Dairesel kesitli labirent savakların, üçgen kesitli labirent savaklara göre bir diğer avantajı da daha uzun kret uzunluğu sağlayacak olmasıdır. Dairesel formulu labirentlerde akışın daha az nap noktasına maruz kalacağı ve akış hızını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Bu amaçla laboratuvarında bir dizi deney yapılmıştır.



Şekil 4. Dairesel forma tasarlanan labirent savakların üçgen savaklar ile kıyaslanması

Figure 4. Comparison of labyrinth weirs designed in semi-circular form with triangular weirs

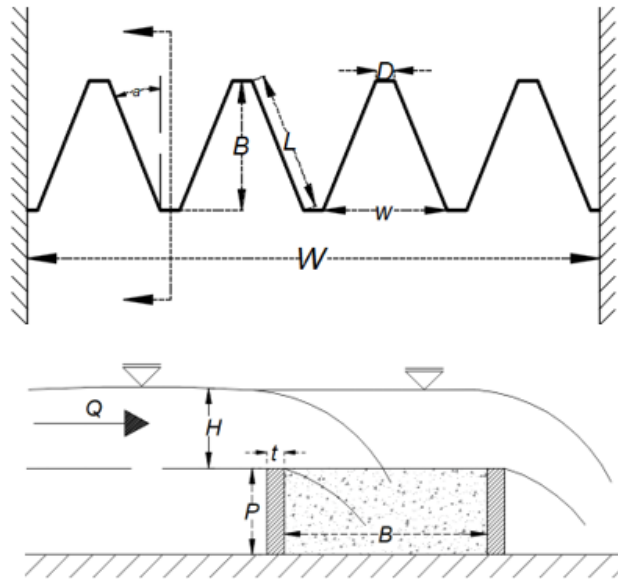
2. Materyal ve metot

2. Material and method

2.1. Labirent savaklar

2.1. Labyrinth weirs

Labirent savakların tasarımını ve hidrolik performansını etkileyen değişkenleri bulmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde labirent savaktaki akışı etkileyen temel parametreler üzerinde durulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Labirent savaklarda akımı etkileyen parametreler

Figure 5. Parameters affecting the flow in labyrinth weirs

Bir labirent savak üzerinden akışı etkileyen ana parametreler Şekil 5'te görülmektedir. Burada; B : savak yan duvarının kesit uzunluğunu, w : bir gözün genişliğini, L : savak yan duvarının uzunluğu, D : labirent gözünün alın uzunluğu, W : kanal genişliği, a : yan duvar açısı, P : savak yüksekliği, H : savak üzerindeki toplam savak yükünü, Q : debi ve t : duvar kalınlığıdır. Tullis vd. (1995), bir labirent savağın debi-deşarj kapasitesinin, toplam savak yükünün (H), efektif kret uzunluğuna (L) ve debi katsayısına (C_d) bağlı olarak bir fonksiyonunu önermişlerdir. Temelde doğrusal bir savağın üzerinden geçen debiyi hesaplamak için kullanılan keskin kenarlı savak denklemi, bir labirent savak üzerinden geçen debiyi hesaplamak için kullanılabilir. Labirent savaklarda debiyi hesaplamak için denklem-1 kullanılır.

$$Q = \frac{2}{3} \times C_d \times L \times \sqrt{2 \times g} \times H^{1.5} \quad (1)$$

Burada; C_d debi katsayısı, g : yerçekimi ivmesi, L : savağın efektif kret uzunluğu ve H : toplam savak yüküdür.

2.2. Deneysel çalışma

2.2. Experimental Study






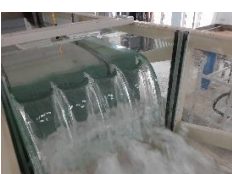



Dairesel labirent savaklar üzerinde deneyler yapılırken savak yüksekliği (P) ve savakta kullanılan yarı daire (N) sayısı olmak üzere iki temel parametre dikkate alınmıştır. Bu iki parametrenin debi ve savak yükü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler dairesel kesitli savaklar için içerdikleri yarı daire sayısına bağlı olarak ($N=2, 3$ ve 4) olarak 3 farklı konfigürasyon üzerinde yürütülmüştür. Bütün konfigürasyonlarda toplam 3 adet savak yüksekliği ($P=0.20, 0.30$ m ve 0.40 m) kullanılmış olup toplam 9 adet deney seti hazırlanmıştır. Yapılan deneylerin deney görünüşleri ve kullanılan değişkenler Tablo 1 de verilmiştir.

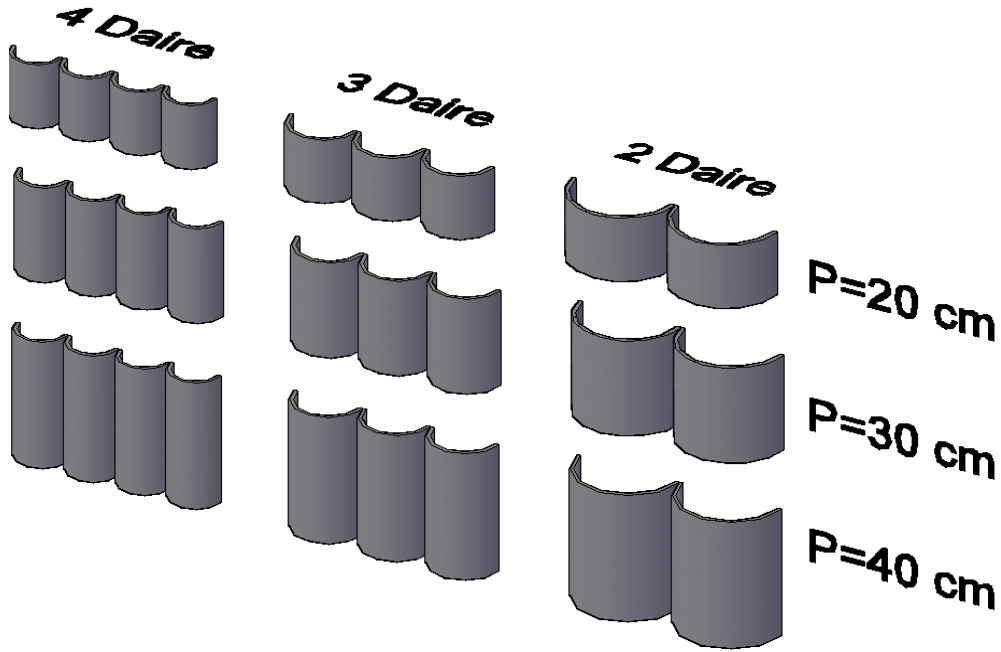
Göz sayısından (N) ve savak yüksekliğinden (P) bağımsız olarak dairesel kesitli labirent savakların toplam efektif kret uzunluğu $L_{\text{efektif}}=0.9424$ m olmaktadır. $N=2$ daire içeren savaklarda tek bir gözün uzunluğu (L_c)_{efektif 2 daire}= 0.4712 m, $N=3$ daire içeren savaklarda tek bir gözün uzunluğu (L_c)_{efektif 3 daire}= 0.3141 m ve $N=4$ daire içeren savaklarda tek bir gözün uzunluğu (L_c)_{efektif 4 daire}= 0.2356 m olmaktadır. Toplam göz sayısı (N), tek bir gözün uzunluğu (L_c) ile çarpıldığında, savağın toplam kret uzunluğunu vermektedir ve bu değer bütün savaklar için $L_{\text{efektif}}=0.9424$ m olmaktadır. Deneylerde kullanılan dairesel labirent savakların genel görünüşleri (toplam 9 adet) Şekil 6'da gösterilmiştir.

Göz sayısından (N) ve savak yüksekliğinden (P) bağımsız olarak dairesel kesitli labirent savakların toplam efektif kret uzunluğu $L_{\text{efektif}}=0.9424$ m olmaktadır. $N=2$ daire içeren savaklarda tek bir gözün uzunluğu (L_c)_{efektif 2 daire}= 0.4712 m, $N=3$ daire içeren savaklarda tek bir gözün uzunluğu (L_c)_{efektif 3 daire}= 0.3141 m ve $N=4$ daire içeren savaklarda tek bir gözün uzunluğu (L_c)_{efektif 4 daire}= 0.2356 m olmaktadır. Toplam göz sayısı (N), tek bir gözün uzunluğu (L_c) ile çarpıldığında, savağın toplam kret uzunluğunu vermektedir ve bu değer bütün savaklar için $L_{\text{efektif}}=0.9424$ m olmaktadır. Deneylerde kullanılan dairesel labirent savakların genel görünüşleri (toplam 9 adet) Şekil 6'da gösterilmiştir.

Dairesel kesitli savakların fiziksel modellemesi için kullanılan deney düzeneği Şekil 7'de görülmektedir. Deneylerde kullanılan açık kanal düzeneği 6.50 m uzunluğunda, 0.60 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Deney düzeneğinin açık kanalındaki akış, sisteme paralel bağlı iki pompa ile sağlanmaktadır. Pompaların basacağı debi miktarı, pompaların bağlı olduğu panoda bulunan frekans değiştiriciler tarafından ayarlanmaktadır. Böylece sisteme verilen debi aralığı 0.001 ile 0.0045 m³/s arasında değişmektedir. Pompalardan sonra borular arasına yerleştirilen ultrasonik debimetre ile debi değeri okunmaktadır. Açık kanal sistemi suyun sirkülasyonu ile çalışmaktadır.

Tablo 1. Deney düzenekleri ve kullanılan parametreler
Table 1. Experimental setups and used parameters

Deney No:	Dairesel kesitli labirent savaklar	Savak yüksekliği (P)	Göz sayısı (N)	Tek gözün kret uzunluğu (L_c)	Tek gözün plan gör. uzunluğu (w)
1		0.20 m	2	0.4712 m	0.30 m
2		0.20 m	3	0.3141 m	0.20 m
3		0.20 m	4	0.2356 m	0.15 m
4		0.30 m	2	0.4712 m	0.30 m
5		0.30 m	3	0.3141 m	0.20 m
6		0.30 m	4	0.2356 m	0.15 m
7		0.40 m	2	0.4712 m	0.30 m
8		0.40 m	3	0.3141 m	0.20 m
9		0.40 m	4	0.2356 m	0.15 m



Şekil 6. Deney setleri
Figure 6. Experimental Setups



Şekil 7. Deneylerde kullanılan açık kanal düzeneği
Figure 7. Open channel system used in experiments

3. Bulgular ve tartışma 3. Results and discussion

Dairesel savaklar ile yapılan deneylerin amacı aynı kanal genişliğinde üçgen ve trapez savaklara göre daha yüksek debi değeri elde etmektir. Diğer bir deyişle, aynı savak yükü (H) ile daha fazla debi geçişini sağlayarak savağın debi-deşarj kapasitesini arttırmaktır. Dairesel labirent savaklar aynı kanal genişliğinde üçgen savaklara göre daha fazla kret uzunluğu sağlar. Etketif kret uzunluğunun (L_{efektif}) artırılması, debi üzerinde doğrudan olumlu bir etkiye sahiptir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, savak yüksekliğinin (P) ve içerdiği daire sayısına bağlı olarak savağın şeklinin (N) etkisi olarak 2 kısımda incelenmiştir.

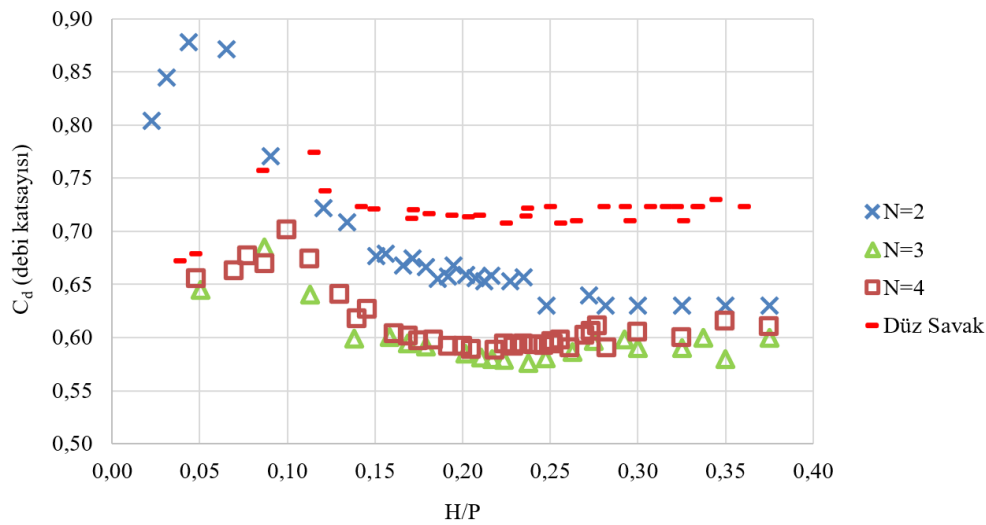
3.1. Aynı savak yüksekliğindeki (P) dairesel labirent savakların, farklı göz sayıları (N) için karşılaştırılması

3.1. Comparison of different configurations at the same weir height (P)

İlk olarak kullanılan göz sayısına (N) bağlı olarak savak şeklinin debilere olan (Q) etkisi incelenmiştir. Aynı savak yüksekliğindeki (P) farklı tipteki savak şekillerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı tipteki dairesel savakların deşarj verimlerini daha doğru analiz etmek ve performanslarını karşılaştırmak için Şekil 8, 9 ve 10'da debi katsayıları (C_d) incelenmiştir. Debi katsayılarının (C_d) karşılaştırılmasındaki amacı, savakların efektif kret uzunluklarının ($L_{efektif}$) debiye olan etkisini ortadan kaldırmaktır. Bu sayede dairesel savaklar üçgen ve doğrusal savaklar ile karşılaştırılabilecektir. Debi katsayıları (C_d) ve boyutsuz savak yükleri (H/P) aynı grafikler üzerinde gösterilmiştir. Kullanılan daire sayısına bakılmaksızın tüm dairesel kesitli labirent savaklar için ($N=2, 3$ ve 4 daire) kretin toplam efektif uzunluğu $L_{efektif} = 0.9424$ m'dir. Doğrusal savak için kullanılan savağın efektif kret uzunluğu ise 0.60 m'dir. Debi katsayıları (C_d), deneylerde ölçülen debi değerlerine göre aşağıdaki Denklem (2) den hesaplanmıştır. Debi katsayısı savağın kret uzunluğunun etkisini ortadan kaldırarak, savağın şeklinin debi üzerine olan etkisini göstermektedir. Denklem (1)'in yeniden düzenlenmesiyle elde edilen debi katsayısı (C_d) denklemi elde edilir;

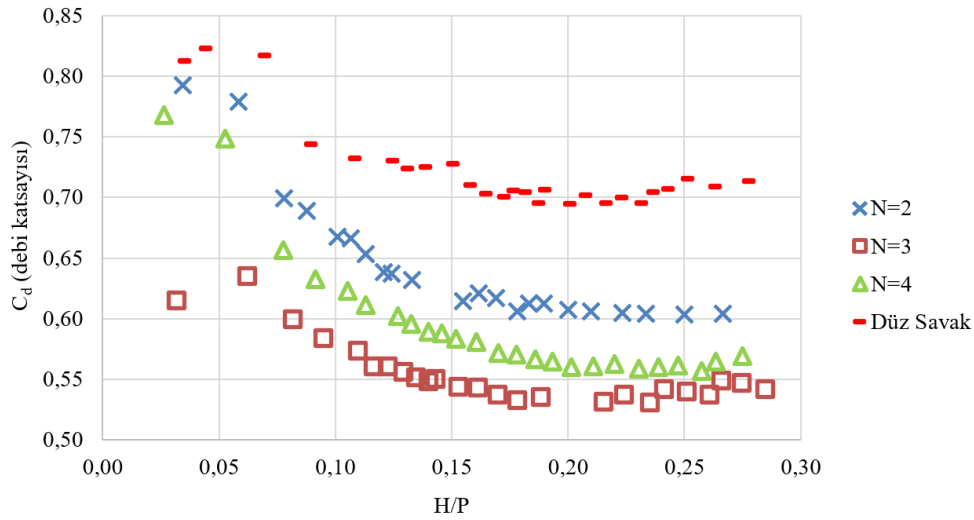
$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} \times L \times \sqrt{2 \times g} \times H^{1.5}} \quad (2)$$

Sonuçlar incelendiğinde $N=2$ daire içeren labirent savakların, aynı savak yüksekliğinde (P) diğer daire labirent savaklara göre daha fazla debi katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum $P=0.20$ m, $P=0.30$ m ve $P=0.40$ m olmak üzere bütün savak yüksekliklerinde gözlemlenmektedir. $N=2$ daire içeren savaklardan sonra deşarj verimliliği açısından $N=3$ daire ve $N=4$ daire içeren labirent savaklar yer gelmektedir. Savak katsayıları kıyaslandığında $C_d \text{ Doğrusal} > C_d \text{ N=2 Daire} > C_d \text{ N=3 Daire} > C_d \text{ N=4 Daire}$ olmaktadır. Doğrusal savağın debi katsayısı (C_d) dairesel savaklara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu fark, suyun savaklara yaklaşma açısındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Doğrusal savakta su, yaklaşık 90° açıda doğrudan savağa yaklaşırken, dairesel savaklarda bu açı azalır ve bu da debi katsayısını (C_d) düşürür. Ayrıca dairesel savaklarda akım yine girişimlere maruz kalmaktadır. Doğrusal savağın boşaltma katsayısının (C_d) dairesel savaktan daha yüksek olması doğrusal savağı daha verimli hale getirmeyecektir. Çünkü dairesel labirent savaklar aynı kanal genişliğini daha verimli kullanılır ve doğrusal savaklara göre daha uzun efektif kret uzunluğu ($L_{efektif}$) sağlarlar. $N=2$ daire içeren savakların diğer dairesel savaklardan ($N=3$ ve $N=4$ daire içeren) daha iyi sonuç vermesi girişim bölgelerinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 10). Bu, savak üzerinde aynı savak yükünde (H) ile $Q_{N=2 \text{ Daire}} > Q_{N=3 \text{ Daire}} > Q_{N=4 \text{ Daire}} > Q_{\text{Doğrusal}}$ olduğu anlamına gelir.



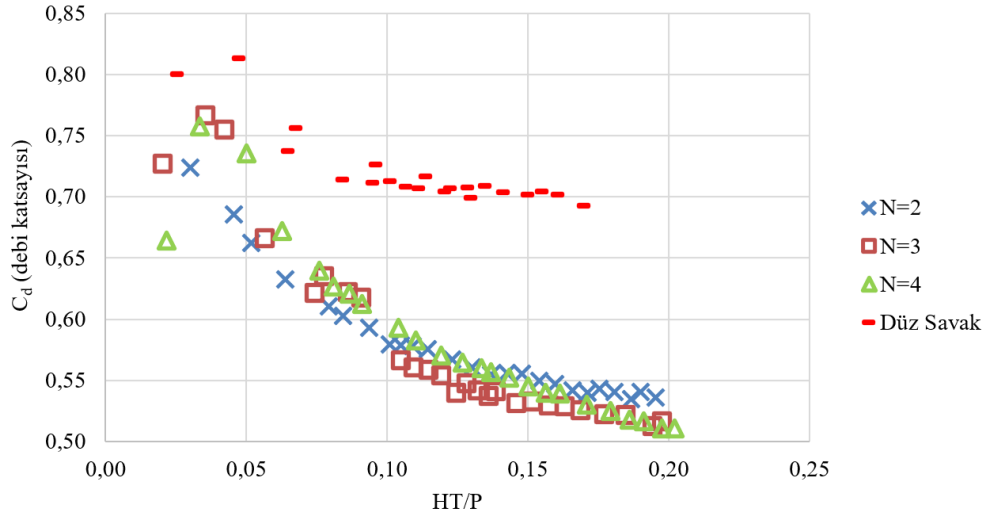
Şekil 8. $P=0.20$ m yüksekliğindeki dairesel kesitli labirent savaklar ve doğrusal savağın karşılaştırılması

Figure 8. Comparison of circular sectioned weirs with a weir height of $P=0.20$ m and a linear weir



Şekil 9. $P=0.30$ m yüksekliğindeki dairesel kesitli labirent savaklar ve doğrusal savağın karşılaştırılması

Figure 9. Comparison of circular sectioned weirs with a weir height of $P=0.30$ m and a linear weir



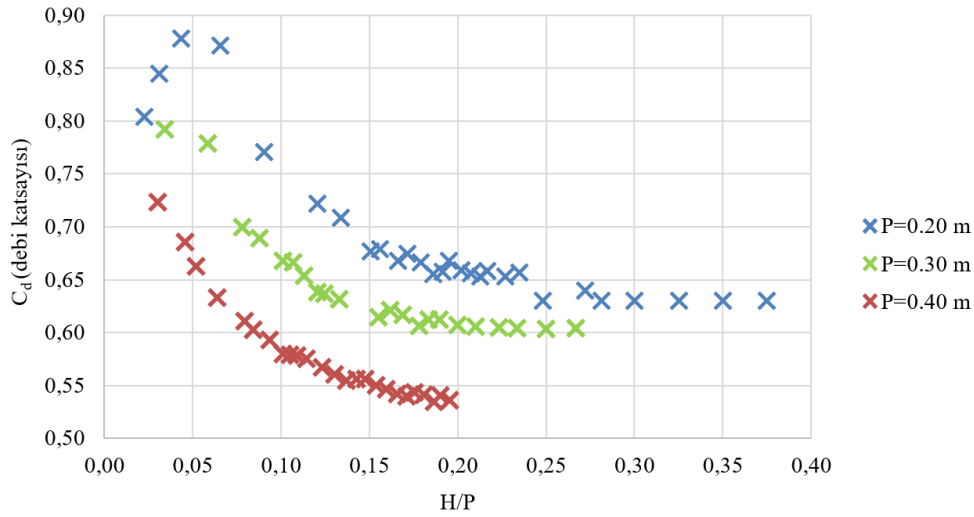
Şekil 10. $P=0.40$ m yüksekliğindeki dairesel kesitli labirent savaklar ve doğrusal savağın karşılaştırılması

Figure 10. Comparison of circular sectioned weirs with a weir height of $P=0.40$ m and a linear weir

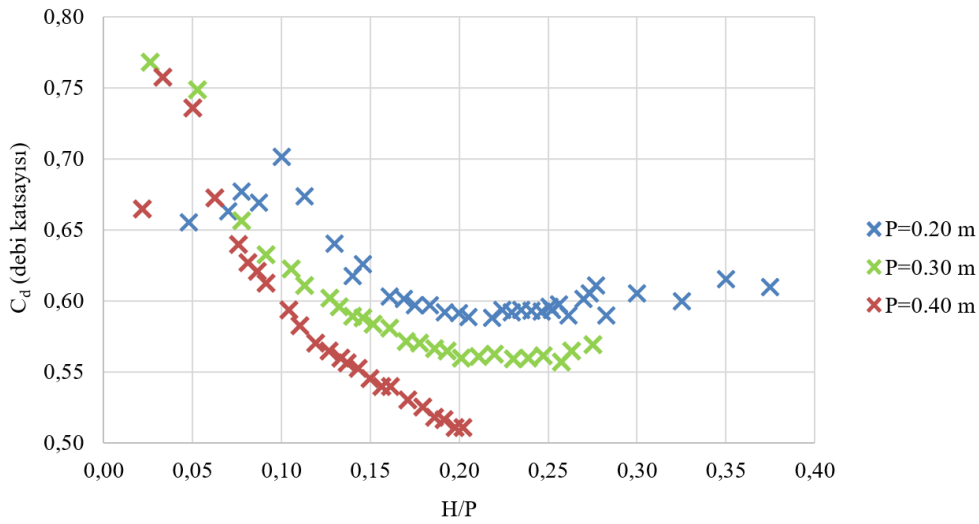
3.2. Eşit sayıda göz içeren (N) dairesel labirent savakların, farklı savak yüksekliğinde (P) karşılaştırılması

3.2. Comparison of configurations of the same type at different weir heights (P)

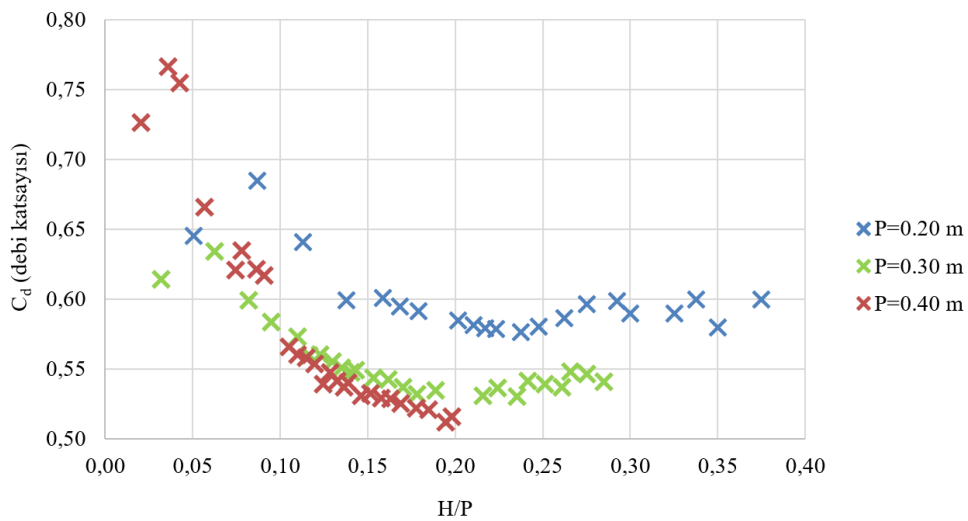
Farklı savak yüksekliklerine (P) sahip aynı tip savaklar, debi katsayısı (C_d) ve boyutsuz savak yükü (H/P) için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın amacı savak yüksekliğinin (P) debi katsayısına (C_d) olan etkisini incelemektir (Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13). Savak yüksekliği (P) azaldıkça, debi katsayısının (C_d) arttığı görülmektedir. Bu durum $N=2$, $N=3$ ve $N=4$ olmak üzere bütün dairesel savak tiplerinde görülmektedir. Bunun nedeni, savak yüksekliği (P) azaldıkça savak mansabındaki havalandırma azalır ve daha fazla vakum etkisi oluşur. Vakumun etkisiyle daha fazla su çekilir ve debi (Q) artarken ve savak üzerindeki toplam savak yükü (H) azalmaktadır.



Şekil 11. N=2 adet göz sayısına sahip dairesel savakların karşılaştırılması
Figure 11. Comparison of circular weirs which include N=2 semi-circular weir



Şekil 12. N=3 adet göz sayısına sahip dairesel savakların karşılaştırılması
Figure 12. Comparison of circular weirs which include N=3 semi-circular weir

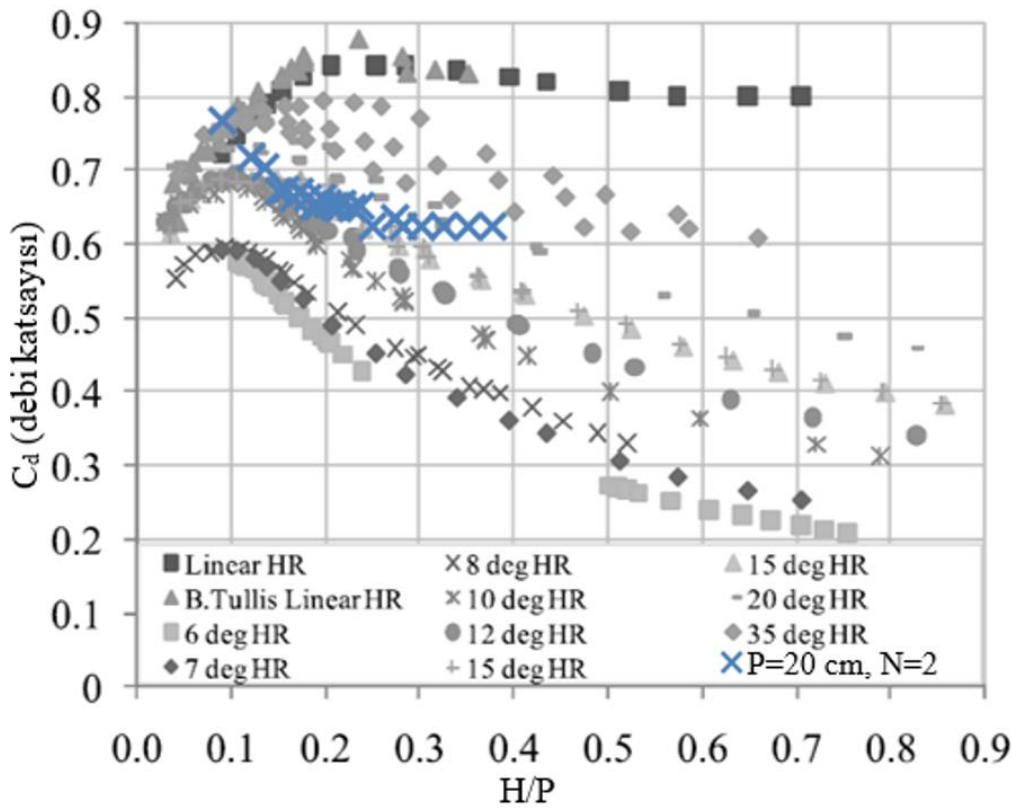


Şekil 13. N=4 adet göz sayısına sahip dairesel savakların karşılaştırılması
Figure 13. Comparison of circular weirs which include N=4 semi-circular weir

Dairesel savak deneylerinden hesaplanan debi katsayıları (C_d) daha önce yapılan çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. Labirent savaklar ile ilgili en önemli çalışmalardan biri Crookston & Tullis (2013) yapılmıştır. Crookston & Tullis (2013), farklı yan duvar açılarında, trapez labirent savaklar ile yaptığı deneylerden elde edilen debi katsayısı değerlerini boyutsuz parametrelere, C_d ve H/P bağlı olarak paylaşmışlardır. Tullis ve Crookston çalışmalarında maksimum 35° yan duvar açısına sahip trapez labirent savak kullanmışlardır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yapılan deneyler arasında deşarj kapasitesi bakımından en verimli savak $N=2$ göz sayısına sahip $P=0.2$ m yüksekliğine sahip dairesele labirent savak olmuştur. Dairesel savakların geometrilerinden dolayı ortaya koyduğu hidrolik avantajı daha net değerlendirmek için, bu savaktan elde edilen sonuç Crookston & Tullis (2013) tarafından yapılan trapez labirent savak deneyleri ile Şekil 14'te karşılaştırılmıştır. Öncesinde de bahsedildiği gibi elde edilen savak yükü ve debi sonuçlarını başka çalışmalar ile kıyaslayabilmek için sonuçlar boyutsuz debi katsayıları (C_d) ve boyutsuz savak yükü (H/P) olarak verilmiştir.

Sonuçlar karşılaştırıldığında dairesele labirent savakların, 20° dereceden az yan duvar açısına sahip trapez labirent savaklara göre daha yüksek debi katsayılarına sahip oldukları görülmektedir. 20° dereceden fazla yan duvar açısına sahip trapez labirent savaklar, bu çalışmadaki en verimli dairesele savaktan yüksek debi katsayıları vermiştir. Ayrıca $N=2$ daire içeren dairesele labirent savaktan elde edilen debi katsayılarının (C_d) trapez savaklardan elde edilen debi katsayıları ile tutarlı sonuçlar vermesi deneylerin doğruluğunu göstermektedir. Deneylerde kullanılan açık kanal siteminin kanal yüksekliği, maksimum savak yükünü sınırladığı için H/P oranı $0,4'$ ü geçememektedir. Bu yüzden Şekil 14'te, Crookston & Tullis (2013) tarafından yapılan deneylerde H/P oranı $0,8'$ e kadar ulaşırken, bu çalışmada $0,4'$ e kadar çıkabilmiştir.



Şekil 14. Tullis (1995) tarafından üçgen savaklar için hesaplanan debi katsayıları (C_d) ve $N=2$ daire içeren $P=0.20$ m yüksekliğinde labirent savaklar ile karşılaştırılması

Figure 14. Discharge coefficients (C_d) calculated for triangular weirs by Tullis (1995) and comparison of circular sectioned labyrinth weirs with $P=0.2$ m and $N=2$

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada dairesel kesitli labirent savaklar ile deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan dairesel kesitli savaklar farklı savak yüksekliklerine (P) ve yarım daire sayılarına (N) sahiptirler. Bu çalışmanın amacı, üçgen ve trapez labirent savaklarda bulunan ve nap akımlarının girişimine sebep olan kesişim bölgelerini kaldırarak labirent savakları deşarj kapasitesi açısından daha verimli hale getirmektir. Ayrıca dairesel savaklar ile deneyler yapılırken savak yüksekliğinin (P) ve savağın içerdiği yarım daire sayısının (N) debi katsayısına (C_d) olan etkileri de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre,

Savağın içerdiği daire sayısı (N) arttıkça debi katsayısı (C_d) azalmaktadır. Bu durumun en önemli nedeni daire sayısı (N) arttıkça, akımın maruz kalacağı kesişim bölgelerinin sayısı da artmasıdır. Bu yüzden göz sayıları bakımından kıyaslandığında en verimli deşarj kapasitesine sahip labirent savak $N=2$ daire içeren savaklar çıkmıştır.

Savak yüksekliği (P) arttıkça, debi katsayısı (C_d) azalmaktadır. Bu durumun başlıca sebebi savak yüksekliği azaldıkça savakların mansap tarafında oluşan nap akımındaki havalanma azalmakta ve vakum etkisi artmaktadır. Vakum etkisi ile savaklardan daha fazla su çekilmekte ve bu da debi katsayısını arttırmaktadır. Ayrıca deney sonuçları literatürdeki verilerle karşılaştırılarak deneylerin doğruluğu test edilmiştir. Deneyler, önceki çalışmalarla tutarlı sonuçlar vermiştir. Bu çalışmanın en önemli kısmı daire kesitli savakların üçgen kesitli savaklara göre daha iyi hidrolik performans göstermesidir.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışma Ali YILDIZ'ın "Dairesel labirent savakların hidrolik özellikleri, deneysel tasarımı ve nümerik modellenmesi" isimli doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

Ali YILDIZ: Deneysel çalışma, verilen toplanması, makalenin hazırlanması

Ali İhsan MARTI: Kaynak araştırması, makalenin hazırlanması, derleme

Mustafa GÖĞÜŞ: Makalenin hazırlanması, derleme

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder

Kaynaklar

References

Amanian, N. (1987). *Performance and design of labyrinth spillway* [Doktora Tezi, Utah State University].

Bilhan, O., Aydın, M. C., Emiroglu, M. E., & Miller, C. J. (2018). Experimental and CFD analysis of circular labyrinth weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001301](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001301)

Bilhan, O., Emiroglu, M. E., & Miller, C. J. (2016). Experimental investigation of discharge capacity of labyrinth weirs with and without nappe breakers. *World Journal of Mechanics*, 6(7). <http://doi.org/10.4236/wjm.2016.67017>

Crookston, B. M. (2010). *Labyrinth weirs* [Doktora Tezi, Utah State University].

- Crookston, B. M., & Tullis, J. P. (2012). Arced labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(6), 555-562. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000553](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000553)
- Crookston, B. M., & Tullis, J. P. (2013). Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. I: discharge relationships. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(5), 363-370. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000558](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000558)
- Hay, N., & Taylor, G. (1970). Performance and design of labyrinth weirs. *Journal of the Hydraulics Division*, 96(11), 2337-2357. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0002766>
- ICOLD (International Commission of Large Dams). (1995). *Dam failures - statistical analysis* (Bulletin 99). <https://www.icold-cigb.org/GB/publications/bulletins.asp>
- Taylor, G. (1968). *The performance of labyrinth weirs* [Doktora Tezi, University of Nottingham].
- Tingey, S. E. (2011). *Discharge Coefficients of Oblique Weirs* [Doktora Tezi, Utah State University].
- Tullis, J. P., Amanian, N., & Waldron, D. (1995). Design of labyrinth spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(3), 247-255. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:3\(247\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:3(247))
- Wormleaton, P. R. & Tsang, C. C. (2000). Aeration performance of rectangular planform labyrinth weirs. *Journal of Environmental Engineering*, 126(5), 456-465. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2000\)126:5\(456\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2000)126:5(456))