

BARAJ REZERVUARLARINDA KULLANILAN LABİRENT YAN SAVAKLARIN HAD ANALİZİ

Erdinç İKİNCİOĞULLARI¹, Muhammet Emin EMİROĞLU² ve M. Cihan AYDIN³

¹ Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl

² Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

³ Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

ÖZET

Labirent savaklar, yakın tarihte literatürde dikkat çeken önemli hidrolik yapılardandır. Aynı savak açıklığı için, daha uzun efektif kret uzunluğu sayesinde, bu savaklar, klasik savaklara oranla daha büyük deşarj kapasitesine sahiptirler. Açık kanallara yerleştirilen labirent yan savakların deşarj kapasitesi, klasik dikdörtgen yan savaklarınınin yaklaşık 1.5 - 5 katı kadar olmaktadır. Baraj rezervuarlarında klasik yan savaklar, gerekli durumlarda, sık kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, klasik yan savakların yerine labirent yan savakları kullanmak ve bunların hidrolik karakteristiklerini sayısal çözümlerle belirlemektir. Bu çalışmada, aynı savak açıklığı için klasik ve labirent yan savakların debi değerleri Flow-3D yazılımı kullanılarak karşılaştırılmıştır. Labirent yan savakların bir rezervuarda dolusavak yapısı olarak kullanılmasına dair literatürde yapılmış bir çalışmasına ya da uygulamaya rastlanmamıştır. Klasik ve labirent yan savaklar için üç farklı nap yükü (0.80, 1.00 ve 1.60 m) dikkate alınmıştır. Ayrıca labirent yan savaklar için üç farklı savak açısı (20°, 30° ve 40°) dikkate alınarak dokuz adet model çalışılmıştır. Böylece toplamda on iki adet 3B sayısal model oluşturularak debi değerleri karşılaştırılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinde türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) modeli tercih edilmiştir. Her iki model için de çözüm ağının boyutları 0.10 m alınarak, klasik yan savaklar için 5,180,000 adet, labirent yan savak için ise 5,700,000 adet hücreye sahip yüksek çözünürlüklü yapısal meş kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, aynı savak açıklığı için trapez labirent yan savakların klasik yan savaklara oranla yaklaşık %80 oranında daha fazla debi deşarj edebildiği gözlenmiştir. Bu sebeple aynı miktarda debiyi daha az bir açıklıkta geçirilebileceğinden, labirent yan savakların kullanımı daha ekonomik olacağı belirtilmiştir. Ayrıca labirent yan savaklar için savak açısı düştükçe, efektif savak uzunluğu arttığından, deşarj edilebilen debi miktarında da artış olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Baraj Rezervuarı, Dolusavak, Flow3D, HAD, Labirent yan savak.

CFD ANALYSIS OF LABYRINTH SIDE WEIR FOR DAM RESERVOIRS

ABSTRACT

Labyrinth side weirs are important hydraulic structures that have recently attracted attention in literature. These weirs have higher discharge capacity than classical weirs due to longer effective crest length for same spaces. Discharge capacity of labyrinth side weirs on straight open channel is approximately 1.5-5.0 times higher than classical one. In dam reservoirs, the classical side weirs are often used when necessary. The aim of this study is to use labyrinth side weirs instead of classical side weirs and to determine their hydraulic characteristics with numerical solutions. In this study, the discharge values of the classical and labyrinth side weir for same weir space were compared using Flow-3D software. The use of labyrinth side weirs as a spillway in dam reservoirs has not been found previously in literature. Three different nappe heads (0.80, 1.00 and 1.60 m) for both side weir types were considered. Additionally considering three different apex angle (20°, 30° and 40°) nine numerical models for labyrinth side weir were studied. Thus totally twelve 3D numerical model were performed to compare the discharge performances. Large Eddy Simulation (LES) turbulence model were preferred in the Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis. In these analyses, high resolution structured mesh with 5,180,000 cells for classical side weir and 5,700,000 cells for labyrinth side weirs were used considering the both model the cell size of 0.10 m. The obtained results show that the discharge performance of labyrinth side weir is approximately 80% more than the classical spillway for same spacing. Therefore it can be pointed out that the labyrinth weirs are more economical than classical ones in order to shorten spillway spacing for same overflow discharge. Additionally, it is seen that discharge performance of labyrinth side weir increase with decreasing the apex angle due to increasing its effective crest length.

Keywords: CFD, Dam Reservoir, Flow-3D, Labyrinth side weir, Spillway.

1. GİRİŞ

Yan savaklar, su debisini ya da su seviyesini düşürmek için tasarlanmış önemli hidrolik yapılardandır. Açık kanallarda kanal eksenine paralel yerleştirilebildiği gibi kanal duvarıyla bir açı yapacak şekilde de yerleştirilebilmektedir. Dar vadilerde inşa edilen barajlarda dolu savağın baraj gövdesi üzerine yerleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu çeşit arazilerde dolu savak kreti baraj kanalına paralel olarak tasarlanmaktadır. Bu tip dolu savaklara yan savak adı verilmektedir.

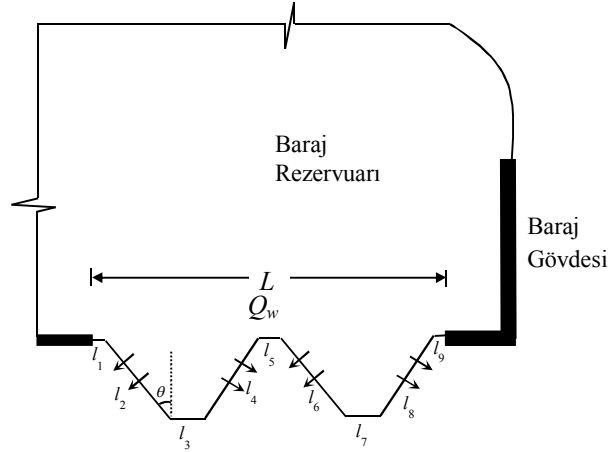
Labirent yan savaklar, planda zigzag şekilde tasarlanmaktadır. Böylece kret uzunluğu artırılarak klasik savaklara göre daha fazla debi deşarj ederek deşarj kapasitesini artırmak için etkili ve ekonomik bir çözüm olmuştur. Labirent yan savaklar, özellikle savak genişliğinin ve memba su yüzeyinin sınırlı, ancak debi ihtiyacının yüksek olduğu alanlarda kullanımı uygundur.

Klasik yan savaklar, dikdörtgen, üçgen ya da dairesel en kesitte tasarlanabilmektedirler. Labirent yan savaklar ise planda üçgen, trapez ya da oval şeklinde tasarlanabilmektedir. Ancak trapez labirent yan savakların, üretim ve hidrolik performans bakımından en iyisi olduğu savunulmuştur (Emiroğlu vd. 2010, 2011b, Kaya vd. ,2011).

Açık kanal akımlarında kanal üzerine yerleştirilen labirent yan savakların debi katsayısı, klasik dikdörtgen yan savakların 1.5 - 5 katı olmaktadır. Yukarıda verilen çalışmalarda labirent yan savaklar açık kanallardaki akım durumunda incelenmiştir. Literatürde yan savakların deşarj kapasitelerinin incelendiği birçok deneysel çalışmaya rastlamak mümkündür. Söz konusu çalışmalarda verilen eşitliklerde Froude sayısı, savak kret yüksekliği, akım derinliği gibi parametreler yer almaktadır. Bir kanal üzerine yerleştirilen labirent yan savakların deşarj kapasitesi üzerine çalışmalar literatürde mevcuttur ve bu çalışmaların öncüsü Emiroğlu vd. (2010) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ise labirent yan savak bir açık kanala değil, bir rezervuara yerleştirilerek incelenmektedir. Labirent yan savakların, bir rezervuara yerleştirilerek, literatürde yapılmış bir çalışmasına veya uygulamada yapılmış bir örneğine tarafımızca rastlanmamıştır. Fakat karşıdan alışı labirent dolusavak, çok sayıda barajda inşa edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, baraj rezervuarlarında yanal akım için labirent savak kullanılmasının hidrolik karakteristikleri, sayısal olarak, farklı durumlar için incelenmiştir. Baraj rezervuarında, aynı savak açıklığında kullanılan klasik ve labirent yan savaklardan elde edilen debi değerleri arasındaki farklar analiz edilmiştir. Son dönemlerde sayısı artan sayısal programların deneysel çalışmalara göre ekonomik olması ve daha hızlı sonuç vermesi nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Wang ve Adef (1986), üç boyutlu bir model oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bir metod geliştirmişlerdir.

Demuren ve Rodi (1986), kıvrımlı kanallar için üç boyutlu türbülans modelini kullanmışlardır. Olsen ve Kjellesvig (1998), dolu savaklarda debi kapasitesini belirlemek için iki ve üç boyutlu modeller oluşturmuşlardır. Araştırmacılar türbülans modeli için Navier-Stokes eşitliğini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu savunmuşlardır. Savage ve Johnson (2001), standartların dışında bir oge kretli dolusavak üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar, CFD yöntemini kullanarak iki farklı fiziksel modeli karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçların kabul edilebilir olduğunu savunmuşlardır. Yoo vd. (2002), taşkın barajlarının hidrolik hesabı için Flow3d programını kullanmışlardır. Simülasyonlar sonucunda klasik çözümlerle paralel sonuçlara ulaşıldığını savunmuşlardır. Amorim vd. (2004), CFD yöntemini kullanarak Porto Colombiya hidroelektrik santralının 1/100 ölçekli modelini incelemiştir. Araştırmacılar, türbülans akımı için Navier-Stokes eşitliğini ve akışkan hacmi (VOF) yöntemini kullanarak memnun edici sonuçlar elde etmişlerdir. Vasquez ve Walsh (2009), gel git akım şartlarında köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulma miktarını CFD modelini kullanarak incelemiştir. Araştırmacılar, üç boyutlu çözüm sonuçlarının kullanılabilir alternatif sonuçlar olduğunu savunmuşlardır. Rady (2011), keskin kenarlı dikdörtgen savakların deşarj kapasitelerini Flow3D programını kullanarak tahmin etmişlerdir. Araştırmacı, iki ve üç boyutlu sonuçların daha çok avantajlara sahip olduğunu vurgulamıştır. Epely-Chauvin vd. (2014), farklı savak açılarından savaklanan akımın dalma havuzunda oluşturduğu yerel oyulma derinliğini Flow3D programını kullanarak araştırmışlardır. Analizler için k-ε türbülans modeli ve 10^6 adet çözüm ağı kullanılmıştır. Araştırmacılar, elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğunu savunmuşlardır. Wang vd. (2016), köprü ayaklarındaki yerel oyulmaları deneysel olarak incelemişler ve Flow3D programını kullanarak sayısal olarak araştırmışlardır. Simülasyonlar için k-ε türbülans yaklaşımını ve LES (Large Eddy Simulation) metodunu kullanmışlardır. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğunu ve sayısal analizin deneysel çalışmalardan, maliyet açısından, daha uygun olduğunu savunmuşlardır.

Şekil 1'de baraj planı üzerinde yan savak olarak tasarlanan labirent yan savaklar gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere labirent yan savaklar, düz bir krete sahip değildir.



Şekil 1. Baraj rezervuarlarında kullanılan labirent yan savak

Şekil 1’de gösterilen L savak açıklığı (m), Q_w savaklanan debiyi (m^3/s), θ labirent savak açısını ($^\circ$) ve l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 savağın plandaki kenar uzunluklarını (m) temsil etmektedir. Savaklanan debi hesabı için;

$$Q_w = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L_{ef} (E_0)^{3/2} \quad (1)$$

$$L_{ef} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9 \quad (2)$$

denklemleri kullanılmaktadır. Burada C_d debi katsayısını, g yerçekimi ivmesini, L_{ef} etkili savak açıklığını ve E_0 özgül enerji yüksekliğini ifade etmektedir. Enerji yüksekliği için;

$$E_0 = y_0 + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (3)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada V hız değerini (m/s), α kinetik enerji düzeltme katsayısını ve y_0 nap yükünü (m) ifade etmektedir. Kinetik enerji düzeltme katsayısı 1 kabul edilmiştir.

2. SAYISAL MODEL (HAD)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği olarak bilinen HAD (CFD-Computational Fluid Dynamics), akışkan akımları, ısı transferi, kimyasal reaksiyonlar gibi bilimsel konuların hesaplarını matematiksel denklemler kullanarak tahmin eden bir bilimdir. Akışkanın olduğu mühendislik tasarımlarında araştırmacıların deneysel ve sayısal olmak üzere iki temel yaklaşımı mevcuttur. Artan teknolojik gelişmelerin sonucunda ortaya çıkan çeşitli paket programlar sayesinde araştırılan konunun hem deneysel hem de sayısal sonuçlarını elde etmek mümkündür. Bahsi geçen bu iki çalışma, birbirini tamamlamaktadır. Literatürdeki sayısal çalışmalar incelendiğinde elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu vurgulanmaktadır. Bu sebeple sayısal çalışmalar, hızlı sonuç vermesi ve deneysel çalışmalara göre daha ekonomik olması hasebiyle

araştırmacıların ilgisini çekmeyi başarmıştır. Bu çalışmada yapılan sayısal simülasyonlar, Flow3D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Flow3D, genel amaçlı olarak kullanılabilen bir HAD yazılımıdır. Bu program, akışkanın kısa süreli hareketini, üç boyutlu ve birden fazla fazlı akım durumunu çözebilmek için özel sayısal teknikler kullanmaktadır. Bu tarz yazılımlar, denklemlerin çözümü için cebirsel yaklaşımlar kullanmaktadır. Bu yaklaşımlar, gerçekteki sonuçlara yakın olacak şekilde iterasyonlar oluşturarak çalışmaktadır. Bu sürece simülasyon denmektedir (/flow3d/v11.2/help/theory.html#overview).

Simülasyonlar sırasında Navier-Stokes ve süreklilik denklemlerini kullanmaktadır. Bu nedenle birçok parametreyi aynı anda değerlendirerek oldukça hızlı sonuç alınabilmektedir. Üç boyutlu bir analiz için kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \text{ (Süreklilik denklemi)} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + X + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + Y + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + Z + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

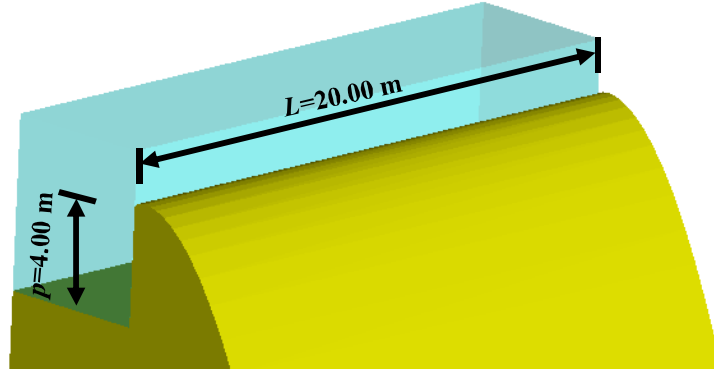
burada u , v , w değerleri x , y ve z koordinat sistemindeki hız bileşenlerini, ρ akışkan yoğunluğunu, P basıncı, t zamanı, ν dinamik viskoziteyi ve X , Y , Z Kartezyen koordinat sistemindeki ivme kuvvetlerini temsil etmektedir (Örnek olarak $Y=9.81$ yerçekimi ivmesi).

3. SAYISAL ANALİZ

Klasik savaklar için üç farklı nap yükü değerlendirilerek üç adet sayısal model oluşturulmuştur. Labirent savaklar için üç farklı nap yükünün yanı sıra üç farklı savak açısı kıyaslanarak dokuz adet model oluşturulmuştur. Toplamda on iki adet sayısal model oluşturularak debi değerleri karşılaştırılmıştır. Bütün analizler için akışkan olarak 20° C'de su kullanılmış ve türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) modeli seçilmiştir. 5 saniyelik çözümlerin yeterli olmasına rağmen kararlı akım şartlarını sağlamak amacı ile analizler 20 saniye boyunca devam ettirilmiştir.

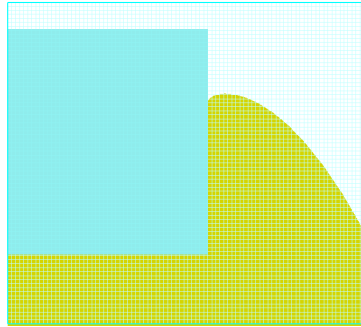
3.1. Klasik Yan savak

Çalışma kapsamında klasik yan savaklar için 0.80, 1.00 ve 1.60 metre nap yüklerinde üç ayrı model oluşturulmuştur. Klasik yan savağa ait üç boyutlu model, Şekil 2'de gösterilmiştir. Oluşturulan klasik savağın kret yüksekliği (p) 4.00 metre, savak açıklığı (L) 20 metre olarak tasarlanmıştır (Şekil 2).



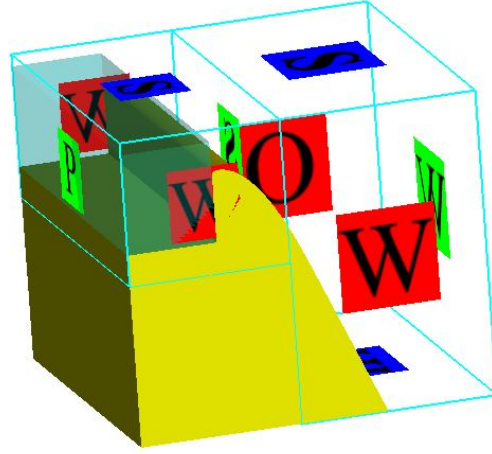
Şekil 2. Klasik yan savağa ait perspektif

Flow3D programında çözüm ağları (meşler) kare şeklinde tanımlanabilmektedir. Bu sebeple daha detaylı sonuç alabilmek için ızgara boyutlarının olabildiğince küçük seçilmesi sonuçların doğruluk oranını artıracaktır. Artan meş sayısı ile doğru orantılı olarak çözüm süresi de artacaktır. Bu nedenle en iyi sonucu en kısa sürede alabilmek için uygun boyutların seçilmesi yeterli olacaktır. Klasik yan savaklar için her bir çözüm ızgarasının boyutu 0.10 metre seçilerek toplamda 5,180,000 adet meş ile analizler yürütülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Çözüm ızgaraları (meş)

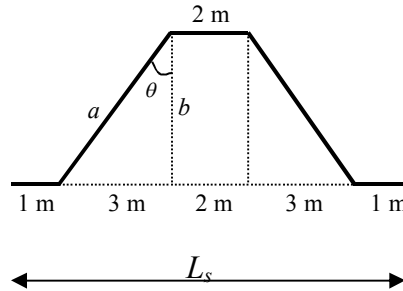
CFD yazılımlarının doğru sonuç verebilmesi için program girdilerinin doğru olması gerekmektedir. Bu noktadaki en önemli kriterlerden biri de çözüm ağlarındaki sınır koşullarıdır. Belirlenecek sınır koşulları, sayısal çalışmanın yol haritasını oluşturmaktadır. Şekil 4'te klasik yan savağa ait sınır şartları gösterilmiştir. Buradaki 'P', yan savağın memba kısmının rezervuar olarak çalışabilmesi için sabit yükseklikte su basıncını ifade etmektedir. 'W' ifadesi düzlemlerin duvar gibi çalışmasını sağlamaktadır. 'S' ifadesi, birden fazla ızgara alanının sürekliliğini sağlamak için kullanılmaktadır. 'O' ifadesi ise yan savaktan savaklanan suyun çıkış yaptığı düzlemi ifade etmektedir.



Şekil 4. Sınır koşulları

3.2. Trapez Labirent Yan Dolusavak

Bu çalışmada üç farklı savak açısı ($\theta=20^\circ, 30^\circ$ ve 40°) ve üç farklı nap yükü (0.80, 1.00 ve 1.60 m) için toplam dokuz adet model tasarlanmıştır. Şekil 5, tek göz açıklıklı labirent savakların plandan görünüşünü ifade etmektedir.



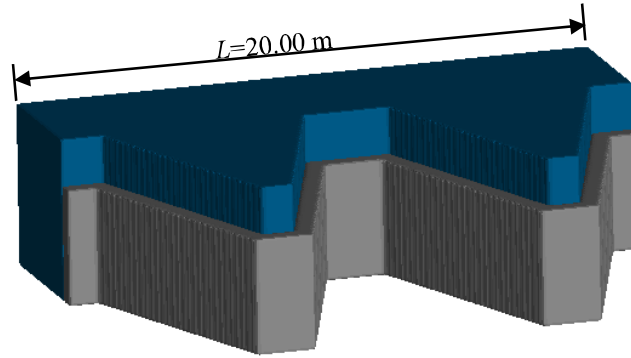
Şekil 5. Trapez labirent savakların plan üzerinde gösterimi

Labirent savaklarda tasarım kriteri olarak her bir göz mesafesi (L_s) 10 metre olarak belirlenerek 20 metreli savak açıklığı için çift gözlü olarak oluşturulmuştur. Labirent savaklar için de kret yüksekliği 4.00 metre olarak tasarlanmıştır. Tasarım kriterlerine göre savak kalınlığı da 0.67 metre ($p/6=4/6=0.67$) olarak oluşturulmuştur. Üç farklı savak açısı kullanılarak oluşturulan labirent yan savak parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Trapez labirent yan savak parametreleri

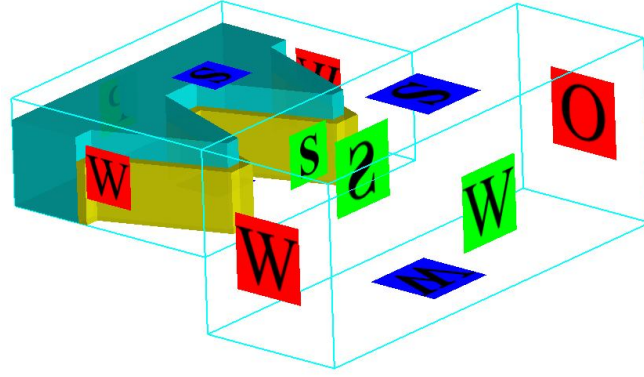
Savak Açısı (θ)	Kret Yüksekliği (m)	a (m)	b (m)	L_{ef} (m)
20	4	8.77	8.24	21.54
30		6.00	5.20	16.00
40		4.67	3.58	13.34

Trapez labirent yan savaklarda savak açısı küçüldükçe efektif kret uzunluğu artacaktır. Dolayısıyla işçilik ve yapım maliyeti artacaktır. Tasarlanan labirent yan savaklara ait perspektif Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Çift gözlü trapez labirent savağın perspektifi

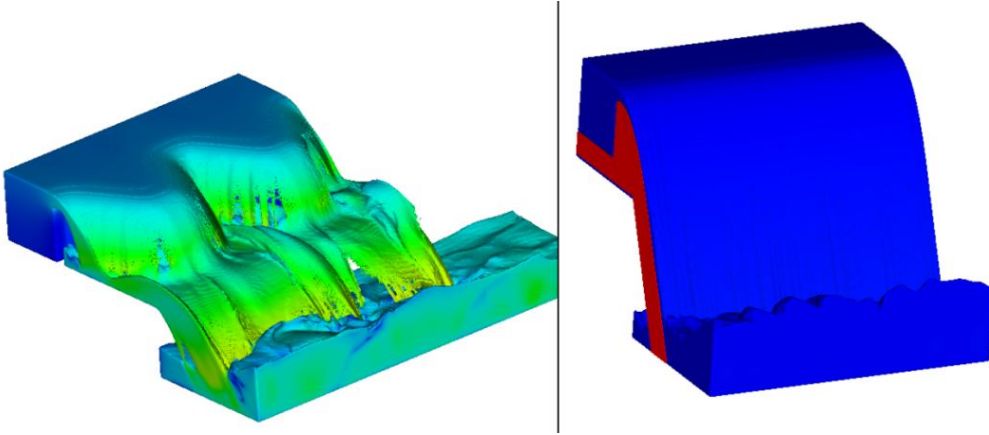
Yukarıda da bahsedildiği gibi sayısal bir çalışmanın doğru sonuçlar verebilmesi için sınır şartlarının doğru, ızgara aralıklarının yeterince küçük olması gerekmektedir. Labirent yan savaklar için tasarlanan model için, klasik yan savaklarda olduğu gibi, hazne şartını sağlayacak şekilde su yüksekliği tanımlanmıştır. Savaklanan suyun çözüm alanını terk etmesi için bir düzlem çıkış olarak tanımlanmıştır. Farklı çözüm ağlarının birleşim bölgelerinin sürekliliği için birleşim düzlemleri simetri olarak tanımlanmıştır. Geri kalan kısımlar, su akışına kapatılması için duvar olarak modellenmiştir (Şekil 7). Her bir çözüm ağı 0.10 metre uzunluğunda, kare olarak tasarlanmıştır.



Şekil 7. Labirent yan savağa ait sınır koşulları

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, klasik yan savaklar için nap yükünün değiştirilmesi ile elde edilen üç farklı modelin analiz sonuçları ile trapez labirent yan savağın hem nap yüklerinin hem de savak açılarının değiştirilmesi ile elde edilen dokuz farklı modelin analiz sonuçları birbiri ile kıyaslanmıştır. Aynı savak açıklığı, aynı kret yüksekliği ve aynı nap yükleri kullanılarak tasarlanan modeller için toplamda on iki adet analiz sonucu elde edilmiştir.



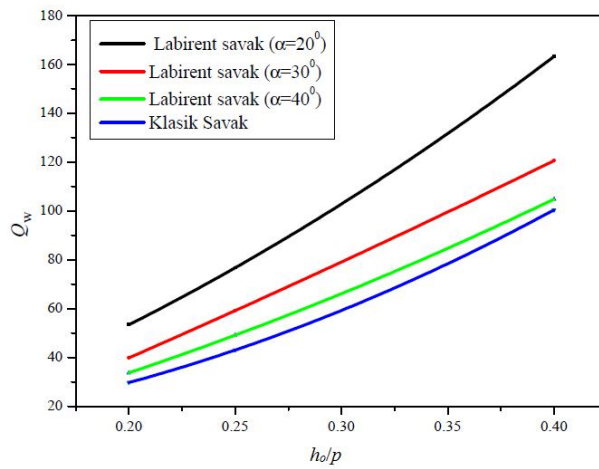
Şekil 8. Analizlere ait görseller

Analizler sonucunda elde edilen değerler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Analiz sonuçları

	Savak Açısı	Kret Yüksekliği (m)	Nap Yükü (m)	Q_w (m ³ /s)	L_{ef} (m)	C_d	h_o/p
Labirent Yan Savak	20	4	0.80	53.39	43.08	0.59	0.20
			1.00	76.73		0.60	0.25
			1.60	163.30		0.63	0.40
	30	4	0.80	39.82	32.00	0.59	0.20
			1.00	59.17		0.63	0.25
			1.60	120.60		0.63	0.40
	40	4	0.80	33.69	26.67	0.60	0.20
			1.00	49.10		0.62	0.25
			1.60	104.85		0.66	0.40
Klasik Yan Savak	-	4	0.80	29.69	10.00	0.70	0.20
			1.00	43.02		0.73	0.25
			1.60	100.42		0.84	0.40

Elde edilen sonuçlara göre, klasik ve trapez labirent yan savaklarda nap yükü arttıkça debi miktarında ve deşarj katsayısında artış olduğu gözlenmiştir. Labirent yan savaklar için savak açısı azaldıkça efektif kret uzunluğu artmaktadır. Böylece deşarj edilen debi miktarında da artış gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre aynı savak açıklığı ve aynı kret yüksekliğine sahip trapez labirent yan savaklar, rezervuar şartlarında, klasik yan savaklara göre %80'e kadar daha fazla debi deşarj edebilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Analiz sonuçlarının grafik üzerinde gösterimi

4. SONUÇLAR

Mevcut çalışmada, rezervuar koşullarındaki aynı savak açıklığına sahip klasik yan savaklar ile farklı savak açılara sahip trapez labirent yan savakların debi deşarj miktarları sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aynı kret yüksekliğine sahip trapez labirent yan savakların klasik yan savaklara oranla yaklaşık %80 oranında daha fazla debi deşarj edebildiği gözlenmiştir. Bu sebeple aynı miktarda debiyi geçirebilmek için labirent yan savakların daha az savak açıklığına ihtiyaç duyarak yapım maliyetlerini düşüreceği düşünülmektedir. Ayrıca labirent yan savaklar için savak açısı düştükçe deşarj edilebilen debi miktarında artış olduğu sonucu varılmıştır.

TEŞEKKÜR

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

REFERENCES

- Amorim, José Carlos C., Renata C. Rodrigues, and Marcelo G. Marques. (2004). "A numerical and experimental study of hydraulic jump stilling basin." *Advances in Hydroscience and Engineering* 4.
- Demuren, A. O., and Rodi, W. (1986). "Calculation of flow and pollutant dispersion in meandering channels." *J. Fluid Mech.*, Cambridge, U.K., 172, 63–92.
- Epely-Chauvin, G., De Cesare, G., & Schwindt, S. (2014). Numerical modelling of plunge pool scour evolution in non-cohesive sediments. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 8(4), 477-487.
- M. E. Emiroglu, N. Kaya, H. Agaccioglu, Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel, *J. Irrig. Drain. Eng.* 136 (2010) 37-46.
- M. E. Emiroglu, N. Kaya, H. Agaccioglu, Closure to "Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel." *J. Irrig. Drain. Eng.* 137 (2011b) 745-746.
- N. Kaya, M. E. Emiroglu, H. Agaccioglu, Discharge coefficient of semi-elliptical side weir in subcritical flow, *Flow. Meas. Instrum.* 22 (2011) 25–32
- Olsen, N.R.B., Kjellesvig, H.M., (1998). "Three-Dimensional Numerical Flow Modeling For Estimation Of Spillway Capacity." *Journal of Hydraulic Research*, 36:5, 775-784
- Rady, Reda M. Abd El-Hady. "2D-3D modeling of flow over sharp-crested weirs." *Journal of Applied Sciences Research* 7.12.2011: pp 2495-2505.
- Savage, B.M. and Johnson, M.C. (2001). "Flow over Ogee Spillway: Physical and Numerical Model Case Study." *J. of Hydraulic Engineering*. Vol. 127, No. 8, Aug. pp. 640-649.
- Vasquez, J. A., and B. W. Walsh. (2009). "CFD simulation of local scour in complex piers under tidal flow." 33rd IAHR Conference Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver.
- Wang, C., Liang, F., and Yu, X. (2016) "Experimental and numerical investigations on the performance of sacrificial piles in reducing local scour around pile groups." *Natural Hazards*, 1-19.
- Wang, S. S.-Y., and Adeff, S.E. (1986). "Three-dimensional modelling of river sedimentation processes." *Proc.*, 3rd Int. Symp. on River Sedimentation, University of Mississippi, University, Miss.
- Yoo, Sungyul, Kiwon Hong, and Manha Hwang. (2002). "A 3-dimensional numerical study of flow patterns around a multipurpose dam." *Proceedings of the 5th International Conference on Hydroinformatics*, Cardiff, UK.
- /flow3d/v11.2/help/theory.html#overview