

DOĞRUSAL SAVAK KRET ŞEKLİNİN AKIM KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN CFD YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

M. Emin EMİROĞLU¹, M. Cihan AYDIN², Erdiñ İKİNCİOĞULLARI³

¹Fırat Üniversitesi, Türkiye; memin.emiroglu@gmail.com

²Bitlis Eren Üniversitesi, Türkiye; mcaydin@gmail.com

³Bingöl Üniversitesi, Türkiye; erdincikinciogullari@gmail.com

Özet

Savaklar, akım kontrolü, debi ölçümü, su yüzü profili düzenleme ve akım yönünü değiştirme gibi amaçlarla yıllardan beridir kullanılan en önemli hidrolik yapılardandır. Farklı savak türleri ve şekilleri mevcuttur. Ayrıca savaklarda farklı kret şekilleri kullanılmaktadır. Farklı şekillerdeki savaklar da farklı hidrolik davranışlara sahiptir. Her bir savak türünün hidrolik karakteristikleri birbirinden farklıdır. Bu çalışmada, ince kenarlı savakların farklı kret şekillerinin akım modeli üzerindeki etkisi ve savaklanan debinin deşarj kapasitesi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli kullanılarak tek fazlı olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde kret şeklinin, akım modelini ve debi katsayısını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Savak, CFD, kret şekli, debi katsayısı, akım modeli

INVESTIGATION OF CREST SHAPE EFFECTS ON OVERFLOW OF THE WEIRS USING CFD

Abstract

Weirs are the most basic hydraulic structures that have been used for many purposes such as flow control, discharge measurements, water surface regulation and flow diversion for years. The weirs with different shapes show also different hydraulic behaviors. In this study, the effects of crest shape of the thin-plate weirs on the flow pattern and discharge coefficients over the weir were investigated using single-phase computational fluid dynamics (CFD) models. The CFD results were compared to the experimental measurements. The both results shows that the crest shapes have a significant effect on the discharge coefficient and flow pattern.

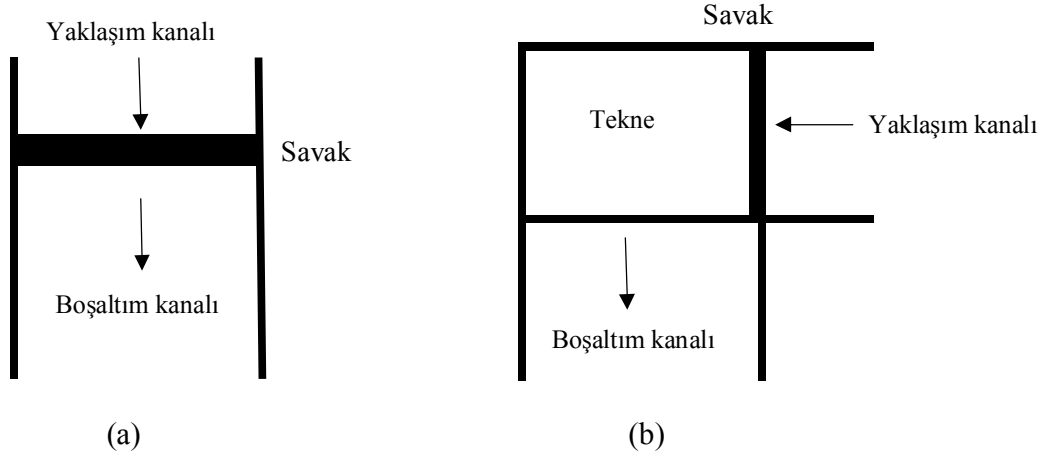
Keywords: Weir, CFD, Crest shape, Discharge Coefficient, Flow pattern.

1. GİRİŞ

Açık kanal hidroliğinde önemli bir yer alan savaklar, birçok kullanım amaçları yanında su akışını kontrol ederek suyun mambadan mansaba emniyetle akmasını sağlayan önemli hidrolik yapılardandır. Bu yapılar mamba ve mansap bölgelerindeki su derinliklerinin bilinmesiyle yavaş değişen akım hesabını mümkün kılan yapılardır.

Savaklar, karşıdan alışı, yandan alışı ve kuyulu olmak üzere üç farklı şekilde gruplandırılmaktadır. Karşıdan alışı savaklarda akım ipçikleri savak eksenine dik olacak şekilde hareket ederken, yandan alışı

savaklarda akım ipçikleri savak eksenine paralel olarak hareket etmektedir. Kuyu savaklarda ise akım ipçikleri radyal doğrultudadır [1].



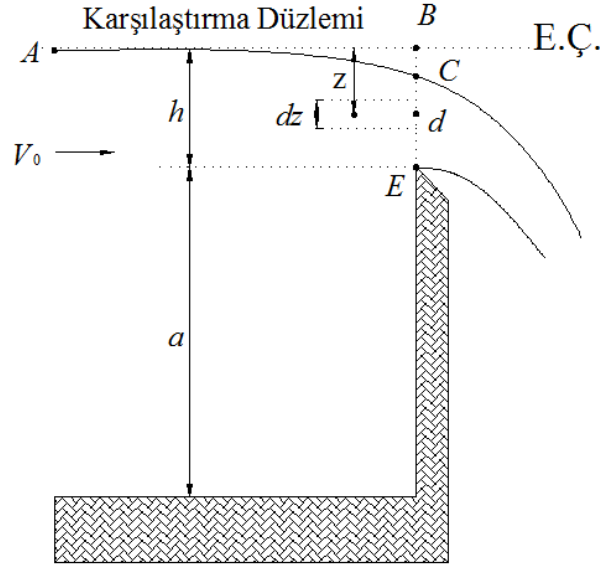
Şekil 1. Savakların planda gösterimi: (a) karşıdan alışı, (b) yandan alışı

Karşıdan alışı savaklar, baraj ve gölet tarzı yapılarda taşkın kontrolü amacıyla yapılmaktadır. Bu yapılar, radyal kapaklar kullanılarak, kontrollü olarak tasarlandığı gibi kapaksız olarak da tasarlanabilmektedir. Böyle yapılara kontrolsüz savaklar denilmektedir. Bağlama olarak adlandırılan, su alma amacıyla tasarlanan çevirme yapıları ise dolu gövde olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada, karşıdan alışı savaklarda nap yükünün ve kret şeklinin debi katsayısına ve akım modeline etkisi Flow3D programı kullanılarak CFD modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sayısal veriler Emiroglu vd. (2010) [2] deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı nap yükü (3 cm, 4 cm ve 5 cm) ve dört farklı kret şekli (geniş, keskin, $\frac{1}{2}$ yuvarlatılmış ve $\frac{1}{4}$ yuvarlatılmış) kullanılarak sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. KARŞIDAN ALIŞLI SAVAKLAR

Akım doğrultusuna dik olarak yerleştirilen ve suyun üzerinden serbestçe dökülebildiği savaklardır (Şekil 1 a). Bu savaklar serbest akımlı ve batmış akımlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada serbest akımlı savaklar üzerinde çalışılmıştır. Serbest akımlı dolusavaklarda mansap su kotu, gövde üzerinden geçen akımı derinliğini etkilememektedir. Savak debisinin hesaplanabilmesi için savak üzerinden alınan bütün noktadaki basınç değerinin atmosfer basıncına eşit kabul edildiği varsayılmaktadır [1].



Şekil 2. Savak kesiti

Enerji çizgisine göre A ve D noktaları arasında Bernolli denklemi yazılırsa;

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_D}{\gamma} - z + \frac{V_D^2}{2g} \quad (1)$$

ve $P_A = P_D = \text{atmosfer basıncı}$ olduğundan

$$V_D = \sqrt{2g} \sqrt{\frac{V_A^2}{2g} + z} \quad (2)$$

Elde edilir. Birim derinlikten geçen debinin hesabı için;

$$q = \int_E^C V_D (dz \cdot 1) \quad (3)$$

Savaşın üst kısmından akan suyun tepe noktası olan C bilinmediğinden entegrasyon işlemi E'den B'ye kadar yapılır ve sonuç bir katsayı ile çarpılır.

$$q = C_c \int_E^C V_D dz = C_c \sqrt{2g} \int_0^h \left(\frac{V_A^2}{2g} + z \right)^{1/2} dz \quad (4)$$

$$q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_c \left[\left(1 + \frac{V_A^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_A^2}{2g} \right)^{3/2} \right] \quad (5)$$

Büzülme katsayısı olan C_c değeri için debi katsayısı tanımı yapılırsa,

$$C_d = C_c \left[\left(1 + \frac{V_A^2}{2gh} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_A^2}{2gh} \right)^{3/2} \right] \quad (6)$$

$$q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (7)$$

Birim debi değeri elde edilir. Her iki taraf kret uzunluğu ile çarpılırsa Poleni eşitliği elde edilmiş olur [3].

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{3/2} \quad (8)$$

3. SAYISAL MODEL

Flow3D genel amaçlı olarak kullanılabilen CFD yazılımıdır. Bu program, akışkanın kısa süreli hareketini, üç boyutlu ve birden fazla fazlı akım durumunu çözebilmek için özel sayısal teknikler kullanmaktadır. Akışkan hareketi, lineer olmayan ikinci dereceden diferansiyel eşitlik olarak tanımlanmaktadır. Akışkan hareketi çözebilen bu metod hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) olarak adlandırılmıştır. Bu tarz yazılımlar denklemlerin çözümü için cebirsel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, gerçekteki sonuçlara yakın olacak şekilde iterasyonlar oluşturarak çalışmaktadır. Bu sürece simülasyon denmektedir [4].

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

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \text{ (Süreklilik denklemi)} \quad (9)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + X + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + Y + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + Z + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (12)$$

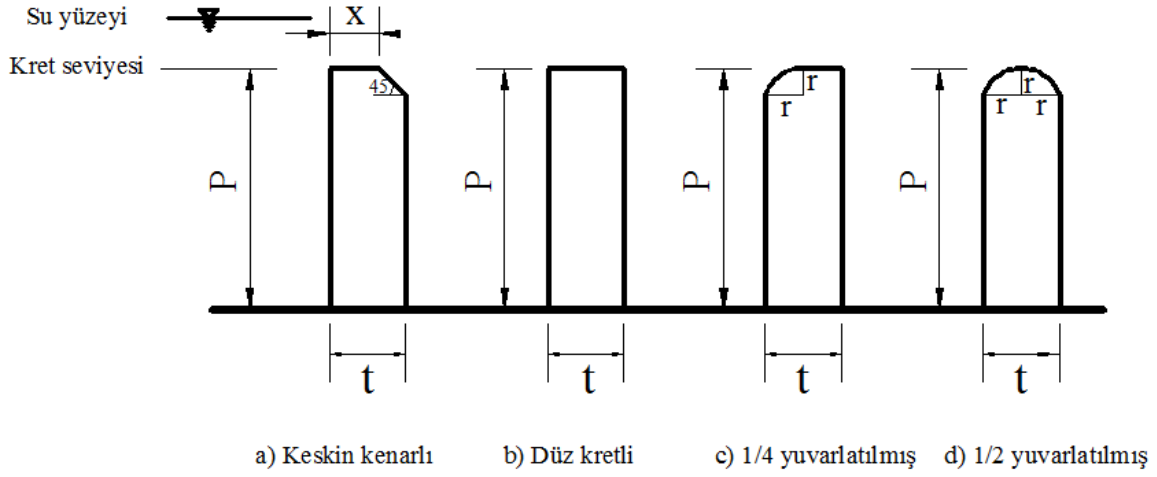
burada u , v , w değerleri x , y ve z koordinat sistemindeki hız bileşenlerini, ρ akışkan yoğunluğunu, p basıncı, t zamanı, ν dinamik viskoziteyi ve X , Y , Z Kartezyen koordinat sistemindeki ivme kuvvetlerini temsil etmektedir (Örnek olarak $Y=9.81$ yerçekimi ivmesi).

Maliyet ve zaman tasarrufu açısından, sayısal analiz birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Wang ve Adeff [5] üç boyutlu modeller için sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir metod geliştirmiştir. Van Rijin [6] tedrici değişen açık kanal şartlarında sediment taşınımını üç boyutlu olarak hesaplamıştır. Demuren ve Rodi [7] kıvrımlı kanal için üç boyutlu türbülans modelini kullanmıştır. Lin ve Falconer [8] askıda kalan sediment miktarını hesaplayabilmek için Kartezyen modelini kullanarak üç boyutlu bölme duvarlar geliştirmişlerdir. Olsen ve Kjellesvig [9] dolu savakların debi katsayılarını tahmin etmek için iki ve üç boyutlu modeller oluşturmuşlardır. Araştırmacılar türbülans modeli için Navier-Stokes denklemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu savunmuşlardır. Savage ve Johnson [10] oge kretli dolu savaklar üzerine çalışmışlardır. Araştırmacılar CFD üzerinden iki farklı fiziksel durumu karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde sayısal veriler araştırmacıları memnun etmiştir. Yoo vd. [11] taşkın barajların hidroliğini incelemek için Flow3D programını kullanmışlardır. Simülasyon sonucunda elde edilen sonuçların deney verileri ile paralel olduğu vurgulanmıştır. Amorim vd. [12] Porto Colombia hidroelektrik santralının 1/100 ölçekli modelini ve aynı barajın CFD modelini incelemişlerdir. Araştırmacılar, türbülans modeli için Navier-Stokes eşitliğini ve akışkan hacmi metodunu (Volume of Fluid) kullanmışlardır. Elde edilen sonuçların memnun edici olduğunu savunmuşlardır. Vasquez ve Walsh [13] gel git akım şartlarında köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulma miktarını CFD modelini kullanarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, üç boyutlu çözüm sonuçlarının kullanılabilir alternatif sonuçlar olduğunu savunmuşlardır. Rady [14] 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. [15] 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.[16] 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.

4. SAYISAL ANALİZ

Bu çalışma kapsamında dört farklı savak kreti ve üç farklı nap yükü Flow3D programında modellenerek simülasyonlar yapılmıştır. Test edilen savak kreti çeşitleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



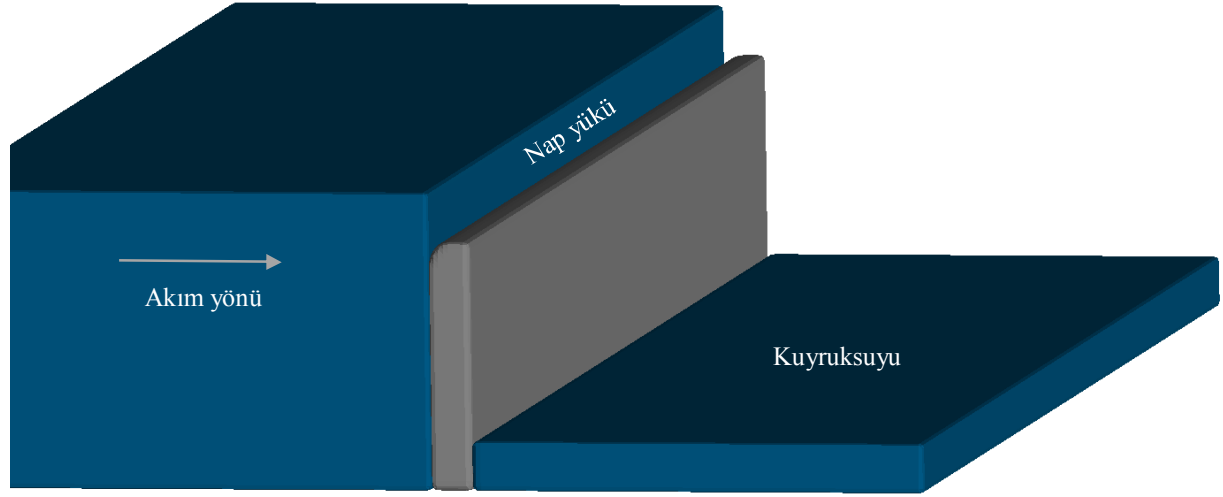
Şekil 3. Analizlerde kullanılan kret çeşitleri

Çalışmada kullanılan savak boyutları Tullis vd. [17] çalışmalarına göre tasarlanmıştır. Burada P savağın kret yüksekliğini, t savak kalınlığını, r kret eğrilik yarıçapını ve x keskin kenarlı savağın kretteki düz mesafesini göstermektedir. Nümerik analizde kullanılan savak boyutları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan değişkenler

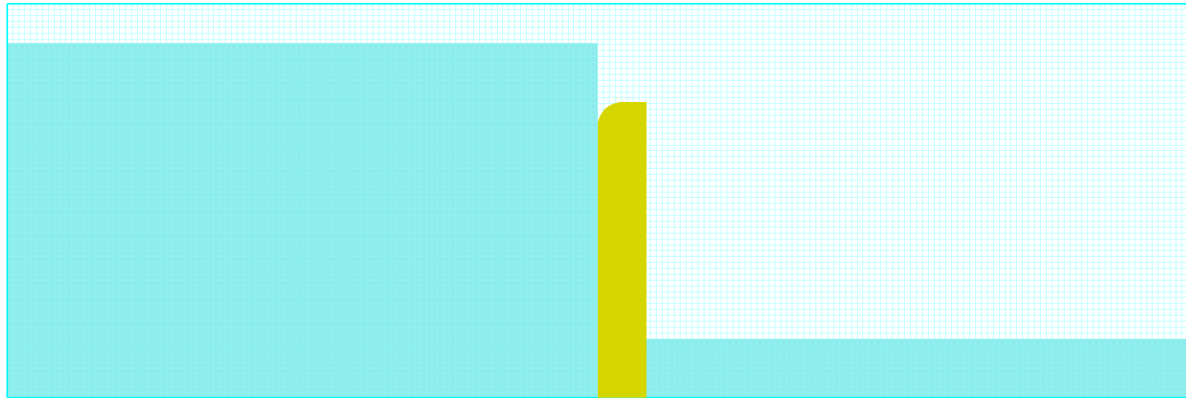
Değişkenler	Değerler (cm)
Kret uzunluğu, L	100
Kret yüksekliği, P	15
Savak kalınlığı, t	2.50
Kret eğrilik yarıçapı, r	1.25
Keskin kenarlı savakta kretteki düz mesafe, x	1.25
Nap kalınlığı, h	3.00-4.00-5.00

Analizler için 20°C’de tek tip akışkan kullanılmıştır. Kuyruksuyu derinliği bütün analizler için 0.03 m olarak tasarlanmıştır. Türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) modeli seçilmiştir. Savaklanan debinin sabitlenmesi için gerekli analizler yapıldıktan sonra 20 saniyelik çözümlerin yeterli olduğu gözlenmiştir. Çalışmada birim debi dikkate alındığı için çözümler iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. ¼ yuvarlatılmış kretli savak modeli

Sayısal analizin doğru sonuçlar verebilmesi için çözüm ağı (mesh) boyutları ve sınır koşulları oldukça önemlidir. Bir modelde mesh aralıkları ne kadar küçükse elde edilecek sonuçlar da o denli gerçeğe yakın olacaktır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan model için dikdörtgen meshleme yapılmış ve her bir dikdörtgen boyutu 0.003 m olarak tasarlanmıştır (Şekil 5).

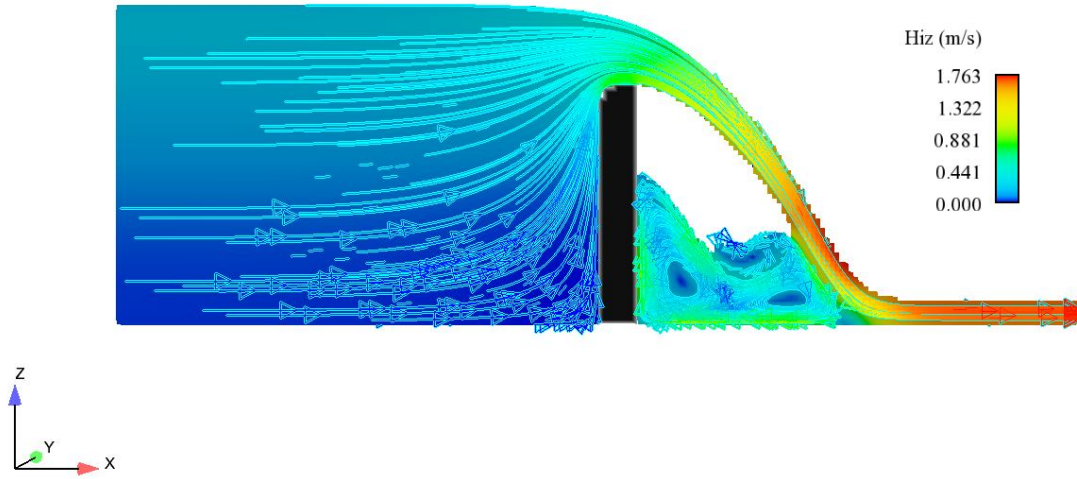


Şekil 6. ¼ yuvarlatılmış kretli savak için oluşturulan çözüm ağı

Sayısal analizde sınır koşulları, simülasyonun yol haritasının belirlendiği kısımlardan biridir. Simülasyonun başladığı andan bitimine kadar takip edeceği her bir kısım sınır şartları ile belirlenmektedir. Programın, savağın memba kısmını havza olarak algılayabilmesi için X_{min} sınırı sabit bir yükseklik olarak tanımlanmıştır. Savağın mansap kısmında su birikmemesi için de X_{maks} sınırı çıkış olarak tanımlanmıştır. Birim debi üzerinde çalışıldığı için Y yönünde tek bir çözüm ağı tasarlanmıştır.

5. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamın dört farklı kret şekli ve üç farklı nap yükü için toplam 12 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Her bir kret şekli için hız ve basınç profilleri ve debi değerleri sayısal olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. 1/4 yuvarlatılmış kretli savak için elde edilen hız profili

Tablo 2'deki sonuçlara göre nap yükü arttıkça debi değerinde de artış olduğu gözlenmiştir. En yüksek debi değerine keskin kenarlı kret şeklinde, 5.00 cm nap yüksekliğinde ulaşılırken en düşük debi değerine düz kretli savaklarda, 3.00 cm nap yüksekliğinde ulaşılmıştır.

Tablo 2. Analiz Sonuçları

Kret Şekli	Maksimum Debi Değerleri (L/s)		
	$h=3.00$ cm	$h=4.00$ cm	$h=5.00$ cm
Keskin Kenarlı	12.122	19.935	30.000
Düz Kretli	10.177	16.247	23.975
1/4 Yuvarlatılmış	10.979	17.561	25.498
1/2 Yuvarlatılmış	12.517	19.641	28.272

Sayısal analiz ile elde edilen debi değerleri kullanılarak, Poleni eşitliği (Eşitlik 8) yardımıyla, debi katsayıları tahmin edilmiştir. Elde edilen debi katsayıları, Emiroğlu vd. (2010) [2] çalışmasında ölçülen

debi katsayıları ile kıyaslandığında sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Analiz sonuçlarıyla deneysel sonuçların karşılaştırılması

Nap Yüksekliği (cm)	Debi (Analiz sonuçları) (L/s)	Debi (Emiroğlu) (L/s)	Cd (Sayısal analiz)	Cd (Emiroğlu)	Bağıl Hata (%)
3.00	10.979	12.880	0.716	0.777	8.520
4.00	17.561	18.910	0.800	0.788	1.500
5.00	25.498	26.660	0.772	0.789	2.202

6. SONUÇ

Mevcut çalışma kapsamında ince kenarlı ve karşıdan alışı savakların farklı nap yüksekliklerinde ve farklı kret şekillerindeki hidrolik karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Keskin kenarlı olarak tasarlanan savakların diğer savaklara göre daha fazla debi deşarj edebildiği, yuvarlatılmış savakların da düz kretli savaklara kıyasla daha fazla debi deşarj edebildiği gözlenmiştir. Nap yüksekliği arttıkça deşarj edilebilen debi miktarı da artış göstermektedir. Sayısal analiz sonucunda tahmin edilen debi katsayılarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Bu çalışmada kullanılan Flow3D yazılımı TÜBİTAK (MAG 115M478) projesi kapsamında temin edilmiştir. Deneysel çalışmadaki katkılarından dolayı Yusuf DOĞAN'a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- [1] Özbek, T., (2009). Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar, Teknik Yayınevi, Ankara
- [2] Emiroglu, M. E., Kaya, N. and Doğan, Y. (2010). Savaklarda Kret Şeklinin Debi Katsayısına Etkisi, DSI Teknik Bülteni, 108 (Temmuz), 57-70.
- [3] Sümer, M., Ünsal, İ., Bayazıt, M., (2007). Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] /flow3d/v11.2/help/theory.html#overview
- [5] 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.
- [6] Van Rijn, L. C. (1987). "Mathematical modeling of morphological processes in the case of suspended sediment transport." Delft Hydr. Communication No. 382.
- [7] 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.
- [8] Lin B. L. and Falconer, R. (1996). "Numerical modeling of three-dimensional suspended sediment for estuarine and coastal waters." J. Hydraulic Research, 34:1, pp. 435-455.
- [9] Olsen, N.R.B., Kjellevig, H.M., (1998). "Three-Dimensional Numerical Flow Modeling For Estimation Of Spillway Capacity." Journal of Hydraulic Research, 36:5, 775-784.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.

- [14] Wu, W., Rodi, W., & Wenka, T. (2000). 3D numerical modeling of flow and sediment transport in open channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(1), 4-15.
- [15] 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.
- [16] 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.