



GENİŞ BAŞLIKLİ SAVAKLARDAKİ SAVAK YÜKLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ

¹Murat Can YILDIZ, ²Alpaslan YARAR

¹Devlet Su İşleri, 20. Bölge Müdürlüğü, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

¹muraticanyildiz91@gmail.com, ²ayarar@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 18.06.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 31.07.2019)

ÖZ: Açık kanallarda akışın kontrol edilebilmesi ve ölçülebilmesi maksadıyla kanalın enkesiti bir engel yerleştirilerek kapatılır. Bu amaçla inşa edilen hidrolik yapılardan birisi de savaklardır. Akış, savak yapısı üzerinden mansaba geçer. Savaklar keskin kenarlı, geniş tepeli ve ogee savakları olarak sınıflandırılabilir. Geniş başlıklı savakların memba kısmındaki akım şartlarına bağlı olarak kret genişliği tasarlanmakta olup kret boyunca kritik akımın oluşması sağlanır. Bu çalışmada farklı şev açlarına sahip geniş başlıklı savak modellerinin akım üzerindeki etkileri deney ortamında incelenmiştir. Üç farklı geniş başlıklı savak modeli oluşturulmuş ve her bir modelde 41 farklı debi için savak yükü okuması yapılmıştır. Yapılan deneylerle aynı şartları sağlayan sayısal modeller, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS-FLUENT ile çözülmüştür. Deneysel ve sayısal modellerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Geniş başlıklı savak, açık kanal akışı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ANSYS- FLUENT

Experimental and Numerical Modeling of Head Over Broad Crested Weirs

ABSTRACT: The cross section of an open channel is closed by a barrier, in order to measure and control to the flow. Weirs are one of the hydraulic structures, constructed for this aim. Flow pass over the weir to the downstream. Weirs can be classified as sharp crested weirs, broad crested weirs and ogee spillways. Crest width of the broad crested weir is designed according to flow conditions on upstream, so, critical flow can be obtained throughout the crest. In this study, the effect of the broad crested weirs models, having different slopes, on the flow conditions, by experimental. Three different broad crested weirs were made and 41 head were measured for different discharge on each model. Numerical models, having the same conditions with the experimental models, were also done by ANSYS-FLUENT, computational fluid dynamics (CFD) software. Results of the experimental and numerical models were compared and it was seen that the results are consistent with each other.

Keywords: Broad crested weir, open channel flow, computational fluid dynamics, ANSYS-FLUENT

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Açık kanal akımlarında akışın kontrol altına alınabilmesi, debinin ölçülebilmesi ve kanal enkesitinden geçen akışkanın derinliğinin ayarlanabilmesi maksadıyla akışkanı üzerinden akıtarak mansaba geçiren ve savak adı verilen engeller inşa edilir. Uygulamada kullanılan birçok savak tipi

mevcuttur. Bunlar keskin kenarlı savak, geniş başlıklı savak ve ogee savağı olarak sınıflandırılabilir. Geniş başlıklı savaklar, kret genişliği boyunca kritik akış şartını sağlamaya yararlar. Bu itibarla geniş başlıklı savakların tasarımında kanala gelecek suyun debisinin hangi aralıklarda olduğu bilinmeli ve göz önüne alınmalıdır (Çengel ve Cimbala, 2015).

Tüm su yapılarında olduğu gibi geniş başlıklı savakların bulunduğu akım sistemlerinde de sağlıklı bir tasarım yapabilmek için su ile yapı arasındaki etkileşim doğru analiz edilmelidir. Bu analizler deneysel ve sayısal modelleme olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Deneysel çalışmalar esnasında tasarlanmak istenen su yapısı fiziksel olarak laboratuvar ortamında modellenmekte, yapı ile etkileşim halinde olan akımın analizi yapılabilmektedir. Teknolojik gelişmelerin getirdiği imkânlar dâhilinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tabanlı paket yazılım programları sayesinde akım analizleri sayısal olarak bilgisayar ortamında modellenerek deneysel çalışmalara kıyasla çok daha hızlı ve ekonomik olarak çözülebilmektedir. Deneysel çalışmalar esnasında insan ve ölçek kaynaklı hataların elde edilen sonuçları etkilemesi tasarımcıların HAD yazılımlarını tercih etmesine neden olan önemli etkenlerden birisidir.

Geniş başlıklı savak akımları üzerine birçok deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Hager ve Chwalt (1994), geniş başlıklı savak üzerindeki akımı farklı debiler kullanarak deneysel olarak incelemiştir. Savak üzerindeki akım ve basınç dağılımlarının benzer özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Chanson ve Montes (1998), laboratuvar ortamında modelledikleri dairesel savak üzerinden geçen akım ile ilgili deneysel çalışmalar yapmıştır. Savak yarıçapı ve yüksekliği gibi modele ait ebatlar ile memba su derinliğinin, akım karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sarker ve Rhodes (2004), dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savak üzerindeki açık kanal akımını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. HAD tabanlı Fluent programıyla akımı idare eden temel denklemleri sayısal olarak çözmüştür. Çalışmalardan elde edilen bulgular kıyaslanmış olup birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Kırkgöz ve diğ. (2006), üçgen ve dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savaklar ile etkileşim halindeki serbest yüzeyli iki boyutlu akım üzerinde PIV tekniği ile ölçümler olarak deneysel çalışmalar yapmıştır. Akımı idare eden denklemleri, standart $k-\epsilon$ ve $k-\omega$ türbülans modellerini kullanarak sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS-Flotran ile çözmüşlerdir. Öner ve diğ. (2007), dikdörtgen kesitli geniş başlıklı savakla etkileşim halindeki serbest yüzeyli akımın hız alanını PIV tekniği ile ölçerek deneysel olarak irdelemiştir. Bal (2011), geniş başlıklı dikdörtgen bir savak modeli üzerinde LDA tekniği ile farklı iki debi durumunu deneysel olarak incelemiştir. ANSYS-Fluent programı yardımıyla geniş başlıklı savak akımını idare eden denklemleri, SKE, RNG, RKE, MKW, SST ve RSM türbülans modellerini kullanarak çözmüştür. Su yüzü profilini akışkan hacimleri (VOF) yöntemini kullanarak teorik olarak hesaplamıştır. Çalışmış olduğu her iki debi durumu için kullandığı altı türbülans modellerinin başarı sıralamasını yapmıştır. Felder ve Chanson (2012), açık kanal içerisine yerleştirilen geniş başlıklı savak üzerinde deneysel çalışmalar yaparak su yüzü profilleri, hız ve basınç dağılımlarını ölçmüşlerdir. Elde edilen bulguların pürüzsüz türbülans sınır tabaka teorisinden farklı olmasına rağmen sonuçların önceki çalışmalarla tutarlı olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada farklı şev eğimlerine sahip geniş başlıklı savaklar, laboratuvar ortamında fiziksel olarak modellenerek savak yükleri ölçülmüştür. Aynı savaklar ayrıca ANSYS-Fluent programında da sayısal olarak modellenmiş ve ölçümler alınmıştır. Fiziksel model ile sayısal modelin sonuçları karşılaştırılarak sonuçların tutarlılığı incelenmiştir. Ayrıca savaklardaki şev eğiminin savak yükleri üzerine etkisi de araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma kapsamındaki deneyler Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne ait Hidrolik Laboratuvarında mevcut bulunan $L=6\text{m}$, $b=0,3\text{ m}$, $y=0,5\text{ m}$ boyutlarındaki açık kanal düzeneğinde yapılmıştır. Şekil 1.'de gösterilen kanalın taban ve yan yüzeyleri cam malzemeden teşkil edilmiştir. Kanalın memba ve mansabında bulunan haznelere çelik boru ile birbirine bağlanmış olup çelik boru üzerindeki iki adet pompa yardımıyla kanaldan akan suyun devir-daimi sağlanmaktadır. Çelik boru üzerindeki iki adet pompanın kumanda paneli yardımıyla frekansları ayarlanabilmekte ve bu

sayede farklı debi akışları sağlanmaktadır. Ultrasonik debimetre yardımıyla debi okunması yapılmaktadır.



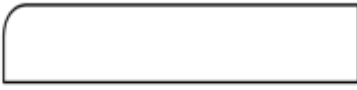
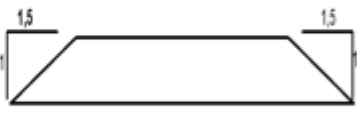
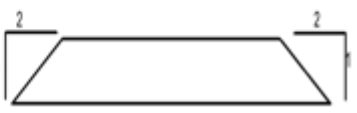
Şekil 1. Açık kanal deney düzeneği genel görünümü

Figure 1. General overview of open channel

Çalışma kapsamındaki deneylerde üç farklı geniş başlıklı savak modeli üzerinde çalışılmıştır (Çizelge 1.). İlk ölçümler, Romijin (1932) tarafından tasarlanan model üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan geniş başlıklı savak modellerinin özellikleri

Table 1. Properties of broad crested weir models used in experiments

Model No	Kret Yüksekliği	Kret Genişliği	Şekil
1	10 cm	65 cm	
2	10 cm	65 cm	
3	10 cm	65 cm	

Fiziksel modeller pleksiglas malzemeden levhalar kullanılarak oluşturulmuştur. Pleksiglas hafif, işlenmesi kolay ve sağlam yapılı bir plastik camdır. Renkli ve renksiz çeşitleri bulunmaktadır. Kesilmeye müsait yapısı sayesinde istenilen model ebatları rahatlıkla elde edilebilmektedir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan iki farklı geniş başlıklı savak modeli

Figure 2. Two different broad crested weir models used in experiments

Deneysel her bir modelde 41 farklı debi kullanılmıştır. Her debi için limnometreler yardımıyla memba savak yükü okuması yapılmıştır.

TEMEL DENKLEMLER VE SAYISAL MODELLEME (BASIC EQUATIONS AND NUMERICAL MODELING)

Temel Denklemler (Basic Equations)

Çalışma kapsamında üzerinde çalışılan geniş başlıklı savaklar açık kanal akımı ile etkileşim halindedir. İncelenen bu akım türbülanslı, iki boyutlu, sıkışmayan, düzenli akımlardır.

Süreklilik denklemi (Continuity equation)

Kütlenin korunumu prensibinin akış akımlarında uygulanması ile türetilir:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

u_i terimi x_i doğrultusundaki hız bileşenini temsil eder.

Hareket denklemi (Motion equation)

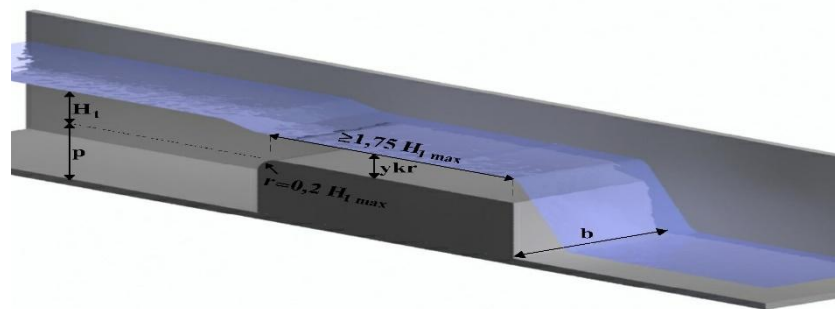
Belirli bir kontrol hacimden geçen akıma momentumun korunumu prensibinin uygulanması ile hareket denklemleri elde edilir. Türbülanslı akımlarda Navier- Stokes denklemlerinden türetilen Reynolds denklemleri akımı idare eden hareket denklemleridir.

$$\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right) = \rho X - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{u'w'}) \quad (2)$$

Enerji denklemi (Energy equation)

Gerçek akışkanlar için en genel hali ile enerji denklemi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H \quad (3)$$



Şekil 3. Yuvarlanmış burunlu geniş başlıklı savak

Figure 3. Broad crested weir with a rounded nose

(3) no.lu denklem sürtünmenin ihmal edildiği Şekil 3.'de gösterilen geniş başlıklı savak için uygulandığında kritik yükseklik ve savak yükü arasındaki bağıntı:

$$y_{kr} = \frac{2}{3} \left(H + \frac{v_{kr}^2}{2g} \right) \quad (4)$$

elde edilir.

HAD İle Sayısal Model Oluşturulması (Creating a Numerical Model with CFD)

Deneyisel çalışmalarda kullanılan fiziksel modeller ANSYS-FLUENT paket programı aracılığıyla sayısal olarak modellenmiş ve çözülmüştür.

Sonlu Hacimler Yöntemi (Finite Volumes Method)

Sonlu hacimler yöntemi, korunum prensiplerinden hareketle türetilen kısmi diferansiyel denklemleri sonlu hacimler üzerindeki ayrık cebirsel denklemlere dönüştürerek çözmeyi sağlar. Çözüm bölgesi sonlu hacimlere bölünerek ayrıklaştırılır. Her bir sonlu hacim üzerine kısmi diferansiyel denklemler entegre edilerek cebirsel denklemlere dönüştürülür. Daha sonra elde edilen cebirsel denklemler, sonlu hacimlere ait bağımlı değişken değerlerini hesaplamak amacıyla çözülür (Moukalled ve diğ., 2016).

Kontrol hacim dengesini gösteren denklemler:

$$\int_{KH} \text{div } \underline{a} dV = \int_A \underline{n} \underline{a} dA \quad (5)$$

$$\int_A \underline{n} (\rho \Phi \underline{u}) dA = \int_A \underline{n} (\Gamma \text{grad} \Phi) dA + \int_{KH} S_\Phi dV \quad (6)$$

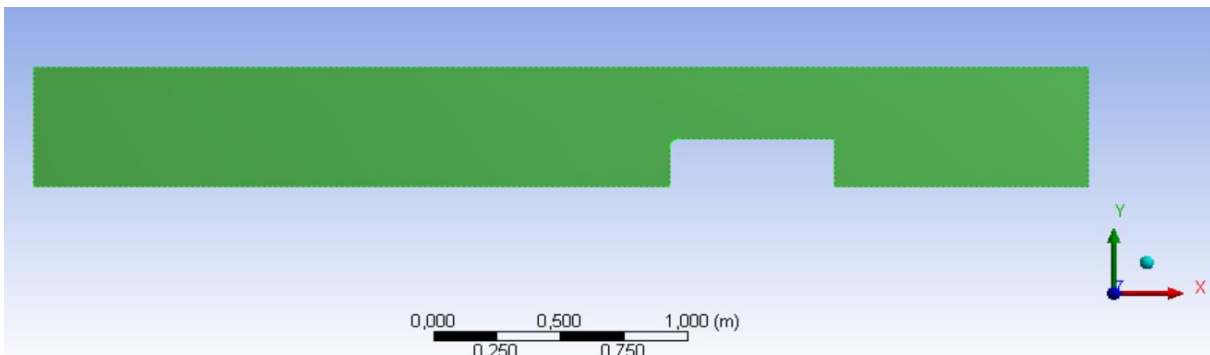
şeklinde olup (4) no.lu denklemin sol kısmı net konveksiyona bağlı akımı, sağ kısmı net difüzyon akışı ve kontrol hacimdeki Φ özelliğinin değişimini gösterir (Filinte, 2006).

Akışkan Hacmi Yöntemi (Fluid Volume Method)

Su ve hava gibi birbirine karışmayan akışkanlar arasındaki ara kesit yüzeyin şekli ve oluşumu, sabit bir Eulerian ağına uygulanabilen akışkan hacmi yöntemi kullanılarak incelenebilir (Hirt ve Nichols, 1981). Bu yöntem sayesinde çözüm bölgesinde su ve havayla dolu olan kısımlar belirlenir. Modelleme çalışması esnasında oluşturulan çözüm bölgesinde hacimsel doluluk oranını gösteren akışkan hacmi tanımlanır. Çözüm bölgesi içerisindeki hesaplama ağındaki eleman tam dolu ise $F=1$, boş yani hava ile doluyken $F=0$ değerini almaktadır.

Hesaplama Bölgesi, Çözüm Ağları ve Sınır Şartları (Solution Area, Meshing and Boundary Conditions)

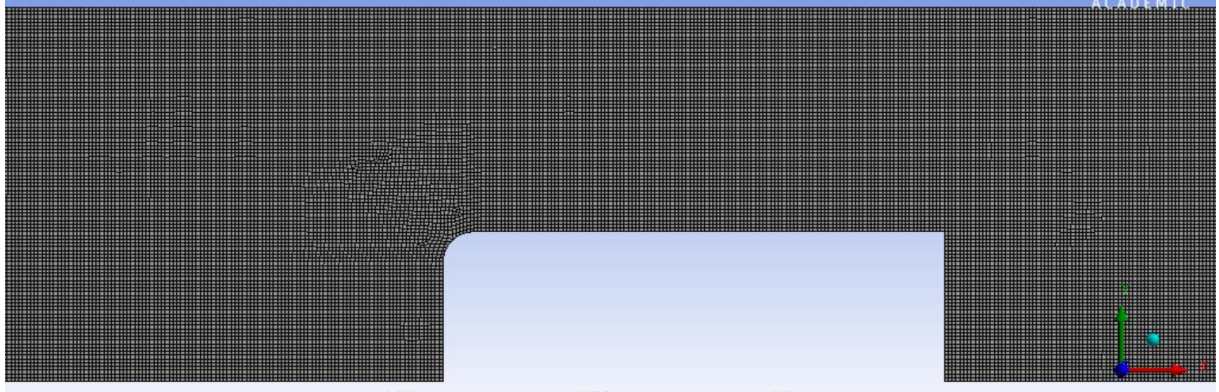
Hesaplama bölgesi yani model geometrisi oluşturulurken Ansys- Fluent programına entegre olarak kullanılabilen programlardan faydalanılabilmektedir. Sayısal çalışma kapsamında 2 boyutlu modeller, Autocad programı ile oluşturularak Ansys- Fluent'e aktarılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. İki boyutlu olarak belirlenen hesaplama bölgesi

Figure 4. Solution area determined in two dimensions

Aktarılan model geometrisi üzerinde mesh ızgaraları oluşturulmuştur. Mesh ebat ve şekilleri belirlenirken deneme yanılma yoluna gidilmiştir. Elde edilen tecrübeler neticesinde 5 mm boyutlarında üçgen ağlar ile çalışılmasının uygun olduğu görülmüştür (şekil 5). İki boyutlu model de sınır şartları tanımlanırken programın çalışma mantığına uygun olarak giriş kısmı inlet, çıkış kısmı outler, üst sınır ve kanal tabanı wall , çözümlenilecek alan akış bölgesi interior olarak belirlenmiştir.



şekil 5. Sayısal model mesh görünümü

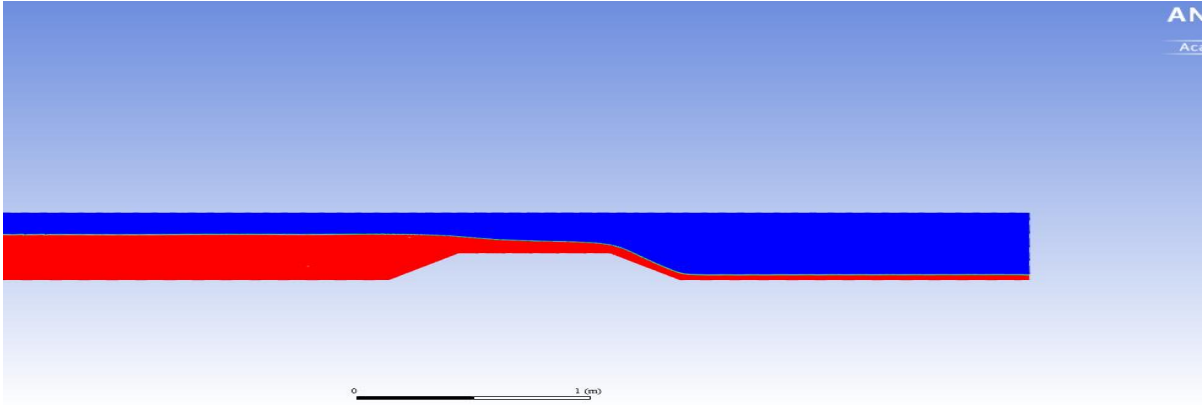
Figure 5. Mesh view of numerical model

Modelin Çözülmesi ve Sonuçların Alınması (Solving the Model and Getting Results)

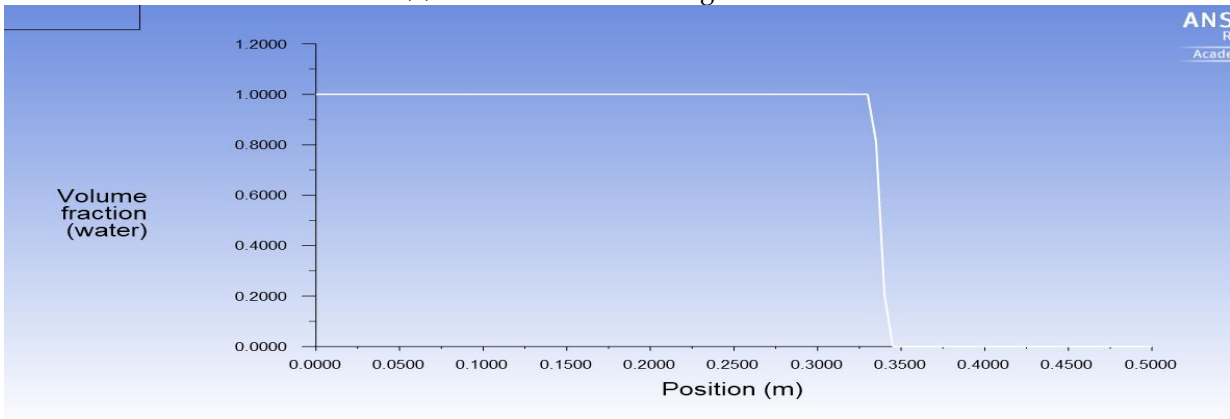
Model geometrisi üzerinde mesh ızgaraları oluşturulup sınırlar belirlendikten sonra Fluent'in çözümlenilecek bölüme geçilir. Bu aşamada ilk olarak yer çekimi ivmesi, yüzey gerilimi ve açık hava basıncı gibi çözüme etki eden fiziksel parametreler girilir. Modelin çözümünde yukarıda bahsedildiği üzere kullanılan Volume of Fluid yöntemi tanımlanır. Daha sonra fazlar belirlenir ve çözümlenilecek bölgedeki kütle akış değeri girilir. Sayısal model çözümlerinden türbülans k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Model çözümünün son aşaması iterasyon sayısının ve zaman adımının girilmesidir. Deneme yanılma yöntemi sonucunda, sağlıklı sonuçlara $\Delta t = 0.003$ sn. zaman adımında 8000 iterasyon sayısı ile çözümlenilebildiği görülmüştür.

Hesaplamanın tamamlanması sonrasında hava ve su fazlarının görünümü üzerinde su yüksekliği okuması yapılacak yerlerin tespiti yapılır ve grafik şeklinde sonuçlar elde edilir (şekil 6).



(a) Hava ve su fazlarının görünümü



(b) Su yüksekliğini gösteren grafik

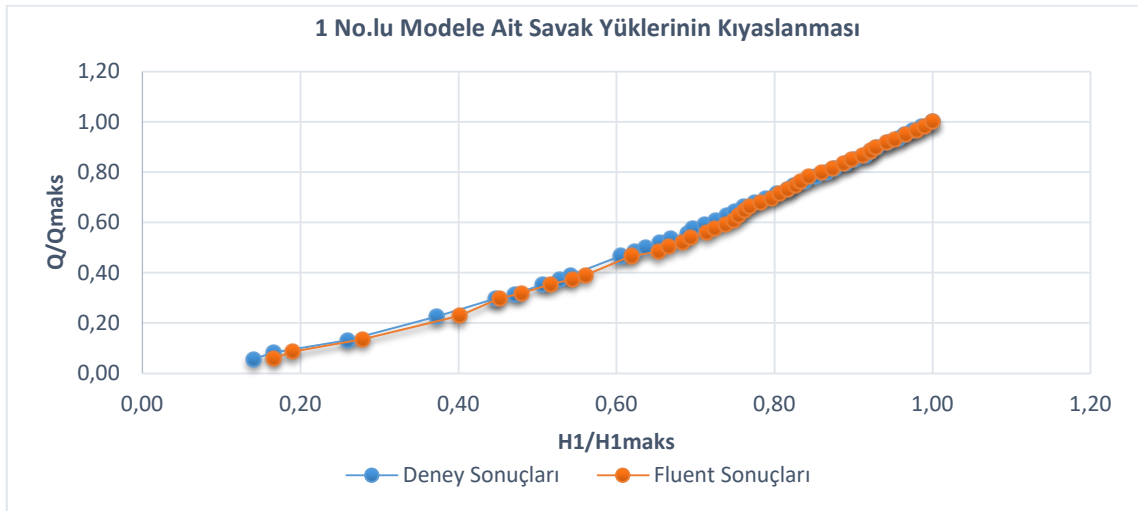
Şekil 6. Ansys-Fluent'den sonuçların alınması

Figure 6. Getting results from Ansys-Fluent

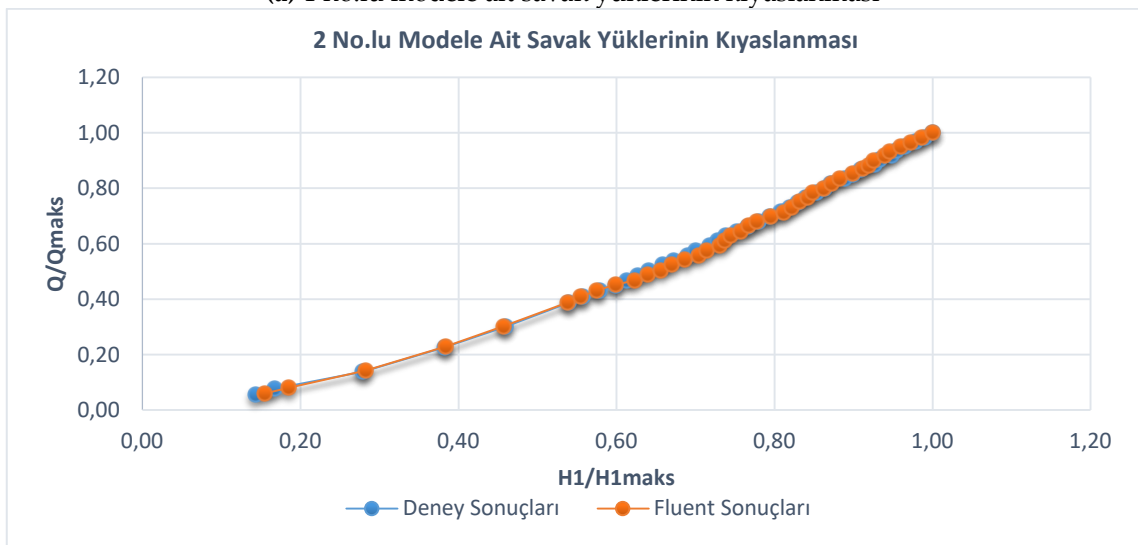
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

Deneysel ve Sayısal Savak Yüklerinin Kıyaslanması (Comparison of Experimental and Numerical Total Heads)

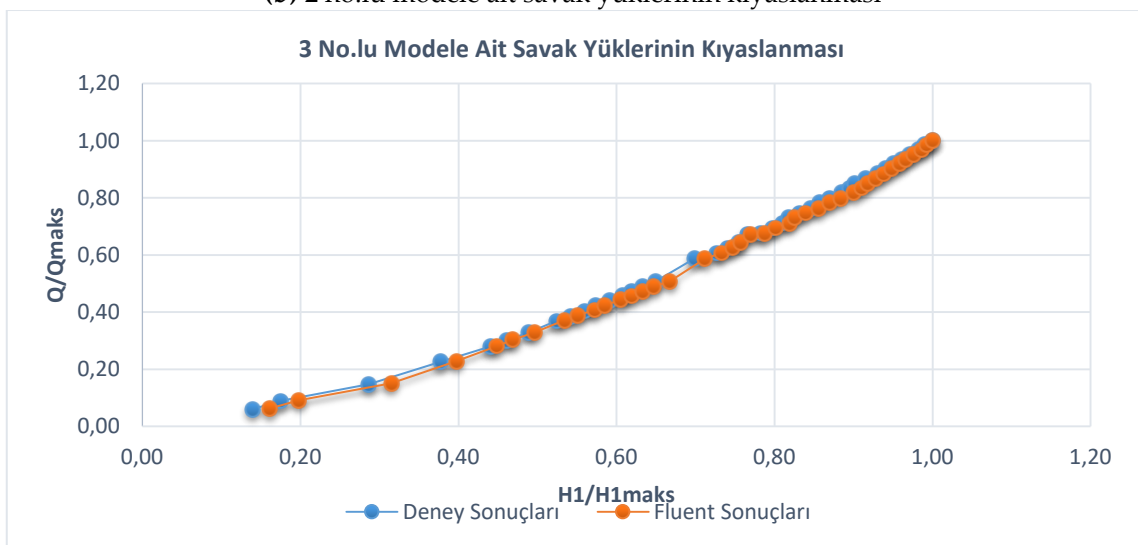
Çalışma kapsamında 41 farklı debi için hem deneysel hem sayısal modeller üzerinde savak yükü okuması yapılmıştır. Deneysel ve sayısal modellerden elde edilen sonuçlar Q/Q_{maks} - H_1/H_{1maks} grafikleri çizdirilerek sonuçlar kıyaslanmıştır. Grafikler incelendiğinde sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Üç farklı geniş başlıklı savak modelinde yapılan karşılaştırmalar Şekil 7'de verilen grafiklerde gösterilmiştir.



(a) 1 no.lu modele ait savak y¼klerinin kıyaslanması



(b) 2 no.lu modele ait savak y¼klerinin kıyaslanması

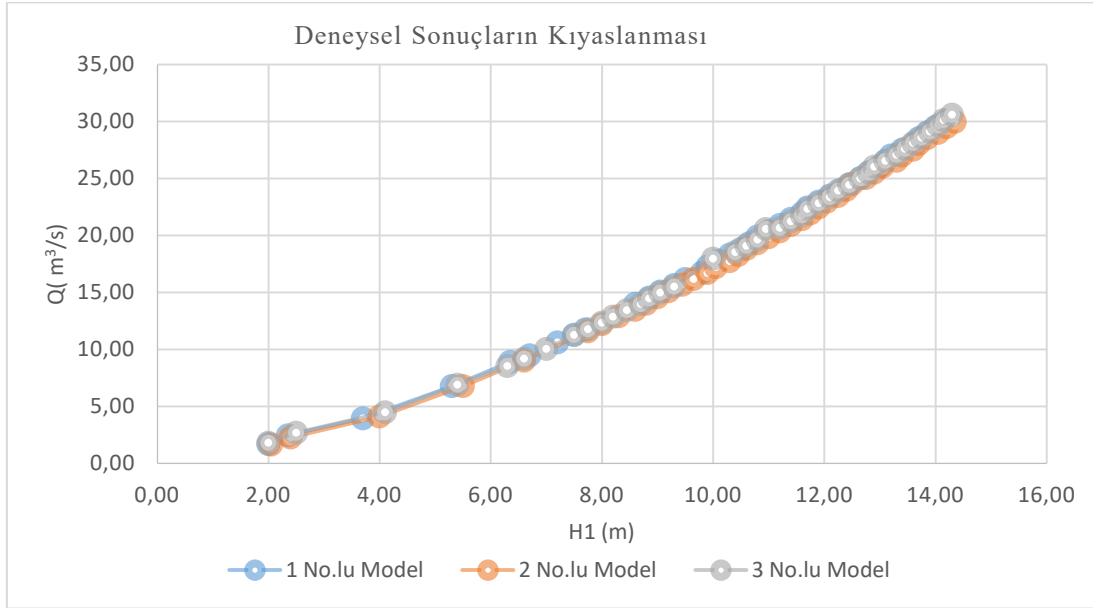


(c) 3 no.lu modele ait savak y¼klerinin kıyaslanması

şekil 7. Sonuçların kıyaslanması*Figure 7.* Comparison of the results

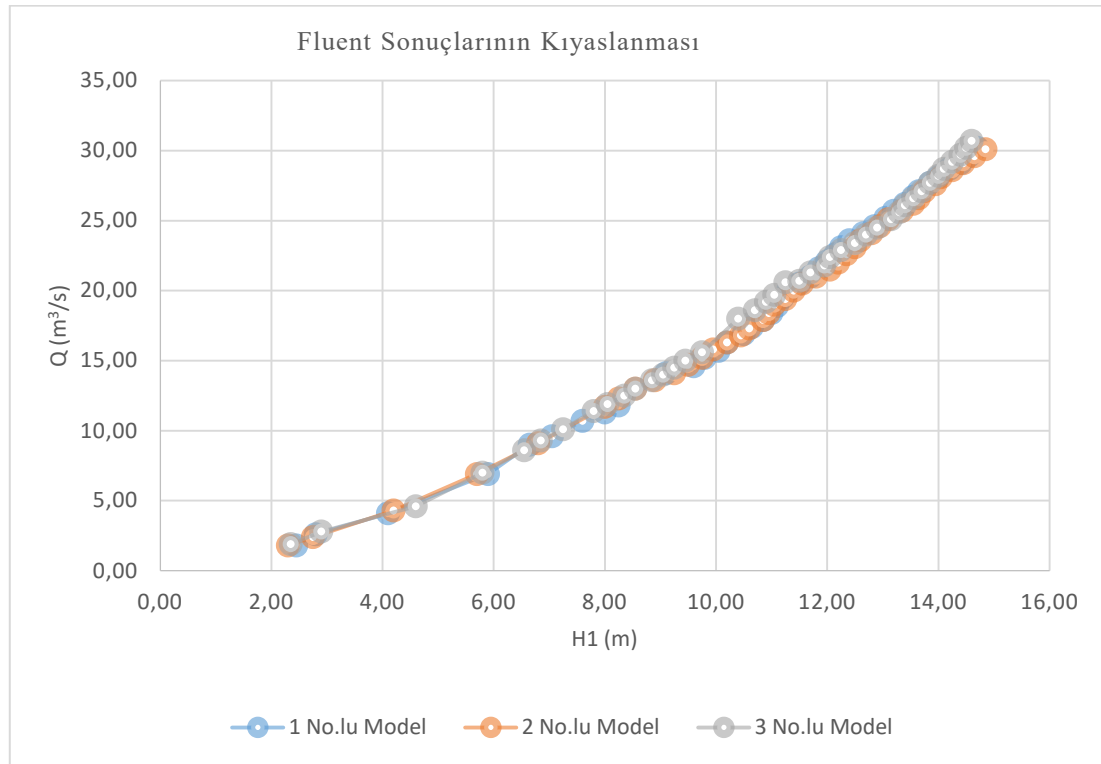
Farklı Şev Eğimlerine Sahip Modellerin Deneysel ve Sayısal Savak Yükleri (Experimental and Numerical Total Heads of Models with Different Slopes)

Çalışma kapsamındaki bir diğer araştırma konusu modelde şev olmasının ya da farklı eğimli şevlerin savak yükleri üzerinde etkisi olup olmadığıdır. Bu nedenle üç modelden elde edilen deneysel ve sayısal bulgular Q-H₁ grafiği çizdirilerek kıyaslanmış olup neticede sonuçlara ciddi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. 1, 2, 3 no.lu modellere ait savak yüklerinin kıyaslandığı Q- H₁ grafikleri Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. 1, 2, 3 no.lu modellerde yapılan deneylerden elde edilen savak yükü değerlerinin kıyaslanması

Figure 8. Comparison of total head values obtained from experiments performed on models 1, 2, 3



Şekil 9. 1, 2, 3 no.lu modellere ait Fluent sonuçlarının kıyaslanması

Figure 9. Comparison of Fluent results for models 1, 2, 3

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Farklı Şev eğimine sahip geniş başlıklı savak modelleri üzerinde 41 farklı debi durumu için deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Üç farklı model fiziksel ve sayısal olarak oluşturulmuştur. Fiziksel modellerde, savak yükü okumaları limnometre yardımıyla yapılmıştır. Nümerik çalışmalarda akışı temsil eden temel denklemler HAD tabanlı Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmüştür. Sayısal modelin su yüzü profili akışkan hacmi yöntemi (VOF) ile hesaplanmıştır. Türbülans modeli olarak k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Mesh sayısı ve Şekli ile çözüm için uygulanacak iterasyon sayısı deneme yanılma yolu ile elde edilen tecrübeler neticesinde belirlenmiştir. Deneysel ve Ansys-Fluent sonuçları grafiksel olarak kıyaslanmış, birbiriyle uyumlu sonuçlar elde edildiği gör¼lmüřtür. Sonuçlar arasındaki uyumun yüksek debilerde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Modellere Şev eklenmesinin veya farklı Şev eğimlerinin savak yüklerine olan etkisi araştırılmış olup sonuçlara kayda değer bir etkisi olmadığı kanaatine varılmıştır.

Bilgi: Bu çalışma Murat Can YILDIZ'ın " Farklı Şev Eğimlerine Sahip Geniş Başlıklı Savakların Deneysel ve Sayısal Olarak Modellenmesi" isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasından yararlanılarak yapılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Bal, H., Geniş Başlıklı Savak İçeren Açık Kanal Akımının Sayısal Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 2011.
- Chanson, H., Montes, J. S., 1998. Overflow characteristics of circular crested weirs: Effects of inflow conditions. J. Irrig. Drain Eng. 124(3), 152 –162.

- Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., 2015, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Palme Yayıncılık, Ankara, 766-767.
- Felder, S, Chanson, H. "Free-surface Profiles, Velocity and Pressure Distributions on a Broad-Crested Weir: a Physical study", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138, 1068–1074, 2012.
- Filinte, E.G., Konveksiyon-Difüzyon Problemlerinin Sonlu Hacim Yöntemi ile Analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 2006.
- Hager, M.W.H., Chwalt, M., "Broad Crested Weir", Journal of Irrigation and Drainage Engineering ,43-85, 1994.
- Hirt, C.W., Nichols, B.D., Volume of Fluid Method for The Dynamics of Free Boundaries, Journal Of Computational Physics 39:201-225, 1981.
- Kırkgöz, M. S., Öner, A. A., Yatay Bir Dairesel Silindir Etrafındaki Akımda Hız Alanının Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21:85-98, 2006.
- Moukalled, F., Magani, L., Darwish. M., 2016, The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics, Springer International Publishing, Switzerland, 4-5.
- Öner, A.A., Kırkgöz, M.S., Aköz, M.S., "Geniş Başlıklı Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Yöntemle İncelenmesi", III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 3-12, İzmir, Türkiye, 2007.
- Romijin, D. G. Een regelbare mmetoverlaat als tertiaire aftapsluis. (A movable mesuring weir turnout structure.) De waterstaatsingenieur, nr. 9, 1932.
- Sarker, M. A., Rhodes, D. G., 2004. Calculation of free-surface profile over a rectangular broad-crested weir, Flow measurement and Instrumentation 15 ,215–219.
- Yıldız, M. C., 2019. Farklı Şev Eğimlerine Sahip Geniş Başlıklı Savakların Deneysel ve Sayısal Olarak Modellenmesi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.