



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Dolusavak Mansabında Oluşan Hidrolik Sıçramanın Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi

Determination of Surface Profile of Hydraulic Jump in the Downstream of Spillway

Yazar(lar) (Author(s)): Oğuz ŞİMŞEK, M. Sami AKÖZ, N. Göksu SOYDAN, Veysel GÜMÜŞ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şimşek O., Aköz M. S., Soydan N. G. ve Gümüş V., “Dolusavak Mansabında Oluşan Hidrolik Sıçramanın Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 31-37, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Dolusavak Mansabında Oluşan Hidrolik Sıçramanın Su Yüzü Profiline Belirlenmesi

Oğuz Şimşek¹, M. Sami Aköz², N. Göksu SOYDAN², Veyssel GÜMÜŞ¹

¹Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

²Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

e-posta: oguzsimsek@harran.edu.tr, msa@cu.edu.tr, soydang@cu.edu.tr, gumus@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.11.2018

Kabul Tarihi: 29.12.2018

Özet

Dolusavak mansabında oluşan hidrolik sıçramanın su yüzü profilleri altı farklı akım ve üç farklı yapı koşulu için deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Deneysel akım profili limnometre ile ölçülmüş ve deney ile aynı koşullardaki akım için temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent paket programı ile iki boyutlu olarak çözülmüştür. Sayısal hesaplamalarda, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerine dayalı Standart k-ε, Renormalization Group k-ε, Realizable k-ε, Modified k-ω, Shear Stress Transport k-ω ve Reynolds Stress Model türbülans kapatma modelleri kullanılmış, su yüzü profili Akışkan Hacimleri Yöntemi ile hesaplanmıştır. Sayısal modellerden elde edilen su yüzü profilleri deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Su yüzü profillerini belirlemede Reynolds Stress Model diğer modellerden daha başarılı olmuştur.

Anahtar kelimeler: Hidrolik Sıçrama, Sayısal Analiz, Su Yüzü Profili, Türbülans Modelleri

Determination of Surface Profile of Hydraulic Jump in the Downstream of Spillway

Abstract

The surface profiles of hydraulic jump in the downstream of spillway are investigated for six different flow and three sill cases. Limnimeter is used for surface profile in experiments. Basic equations of the problem are solved by ANSYS-Fluent program package based on finite volume method for the flow case having the same experimental conditions. In the numerical simulations, Standart k-ε, Renormalization Group k-ε, Realizable k-ε, Modified k-ω, Shear Stress Transport k-ω ve Reynolds Stress Model based on the Reynolds Average Navier Stokes Equations are used for the simulation of turbulence, and the flow profile. Numerical surface profiles are compared with experimental results. Reynolds Stress model is the most successful among the six turbulence models.

Keywords: Hydraulic Jump, Numerical Model, Surface Profile, Turbulence Models

1. Giriş

Barajlar, sulama ve içme suyu temin etmek, enerji üretmek, taşkınları kontrol etmek gibi çeşitli amaçlar için akarsu yatağını tamamen kapatmak suretiyle inşa edilen mühendislik yapılarıdır. Geçirimsiz gövde, baraj haznesi, dolusavak, dip savak, su alma yapısı, su çevirme yapısı ve balık geçidi barajların başlıca kısımlarıdır. Barajın güvenlik elemanı olan dolusavaklar, baraj haznelerindeki fazla suyu veya taşkın anında aniden gelen suyu güvenli bir şekilde mansaba aktarmak için baraj gövdesi üzerinde veya baraj gövdesinden ayrı olarak inşa edilirler [1].

Barajlarda dolusavaktan veya dip savaktan akarsuya bırakılan su, memba ve mansap kot farkından dolayı

büyük bir hidrolik enerjiye sahiptir. Bu hidrolik enerji, membadan mansaba bırakılan akımda yüksek hızlar meydana getirir. Bu yüksek hızlar, büyük basınç ve sürtünme kuvvetleri oluşturarak mansap kısmında oyulma ve aşınma gibi birçok soruna yol açar. Yapısal sorunların oluşmaması için su yapılarından yüksek hızla bırakılan suyun enerjisini kırarak, baraj yapısına ve çevredeki tesislere zarar vermeden mansaba aktarılması için suyun hidrolik sıçrama sürecinden geçmesi gerekmektedir. Hidrolik sıçramanın meydana gelmesi için enerji kırıcı tesis ve enerji kırıcı havuzların inşa edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür yapıların tasarımı için dolusavak tasarım debisi, hız büyüklükleri, mansap akım şartları ve düşüm yüksekliği gibi

parametrelerin doğru bir şekilde bilinmesine gereksinim vardır [1].

Dolusavak sonrasında inşa edilecek enerji kırıcı yapının boyutlarının belirlenmesinde hidrolik sıçrama sonrasında meydana gelen akım profilinin doğru belirlenmesi gereklidir. Enerji kırıcı yapı yan duvarlar yüksekliğinin hidrolik sıçrama sonrası oluşan su derinliğinden düşük olması durumunda su yan duvar üzerinden aşarak etrafa taşacak ve enerji kırıcı yapıya hatta ilerleyen zamanlarda dolusavak ve baraj yapısına zarar verebilecektir. Bu gibi olumsuzlukların yaşanmaması ve yapılan yatırımın doğru ve işlevsel olabilmesi için akım profilinin doğru belirlenmesi oldukça önemlidir [1].

Bu çalışmada dolusavak mansabında bulunan enerji kırıcı tesis üzerindeki akım profilleri farklı Froude sayılarında ve yapı koşulunda deneysel olarak elde edilmiş olup, deneyler ile aynı akım koşullarda sayısal modelleme yapılmıştır. Sayısal modellemede en yüksek enerji kaybının yaşandığı akım ve yapı koşuluna ait akım durumunda hız profillerini kullanılan diğer türbülans modellerine kıyasla daha başarılı tahmin eden Reynolds Stress Modeli (RSM) diğer akım ve yapı koşullarında su yüzünün belirlenmesi için kullanılmıştır. Akım profilinin sayısal olarak belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yönteminden (Volume of Fluid-VOF) yararlanılmıştır. Deneysel ve sayısal akım profilleri farklı akım ve yapı koşullarında karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneyler

Deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında Şekil 1'de görülen yuvarlak başlıklı bir dolusavak şüt kanalı mansabında yer alan yatay enerji kırıcı havuzda gerçekleştirilmiştir. Dolusavak şüt kanalının ve enerji kırıcı havuzun yan duvarları ve tabanı camdan imal edilmiştir. Dikdörtgen kesitli şüt kanalının boyutları 180x20x20 cm ve enerji kırıcı havuzun boyutları ise 150x20x20 cm'dir. Laboratuvar kanalı, kapalı çevrim olarak çalışan bir sistem olup, suyun sirkülasyonu bir santrifüj pompa ile haznedenden, debi ayarı ise pompa mansabındaki vana ile yapılmaktadır. Deney modeli olarak, şekildeki gibi dolusavak mansabında yer alan

enerji kırıcı havuza yerleştirilmiş, üç farklı yüksekliğe sahip, tek sıralı ve sürekli eşik kullanılmıştır. Su derinliğini kontrol etmek amacıyla enerji kırıcı havuzun sonuna keskin kenarlı kapak yerleştirilmiş ve bu kapak yardımıyla hidrolik sıçramanın yeri kontrol edilerek hidrolik sıçramanın enerji kırıcı havuzun içerisinde kalması sağlanmıştır [1].

Deneylerde su yüzü değişimleri limnometre kullanılarak ölçülmüştür. Hidrolik sıçramanın meydana geldiği şüt kanalının sonu ile enerji kırıcı havuz giriş bölgesinde akımın aşırı türbülanslı ve düzensiz olmasından dolayı bu bölgedeki su yüzü profilinin belirlenmesinde, çok sayıda su yüzü okuması alınarak bu okumaların ortalaması kullanılmıştır. Deneylerde debi, ultrasonik debi metre yardımıyla ölçülmüş ve debi metre, enerji kırıcı havuzun sonunda bulunan kapaktan sonra suyun serbest olarak döküldüğü depo ile sisteme suyu veren pompa arasında bulunan boru üzerine bağlanmıştır. Ultrasonik debi metrenin debi değerini doğru bir şekilde hesaplayabilmesi için üzerine bağlandığı borunun malzeme tipinin, boru et kalınlığının, boru iç çapı gibi özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Deneylerde kullanılan akım özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda yer alan α şüt kanalı eğimini, Q akım debisini ve Fr_1 hidrolik sıçrama öncesi kesitte Froude sayısını ($Fr_1=V/(gh)^{1/2}$, V ortalama akım hızı, g yer çekim ivmesi, h su derinliği) ifade etmektedir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan akım özellikleri

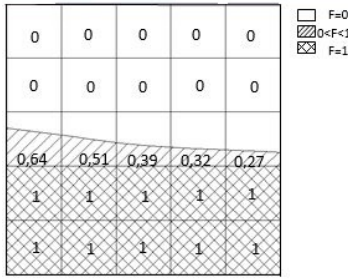
Şüt Kanalı Açısı	$\alpha=30^\circ$			$\alpha=12^\circ$		
	Debi (l/s)	2.3	1.3	1.0	2.9	1.9
Fr_1	12.0	10.0	9.0	8.0	7.5	7.0

2.2. Temel Denklemler

Üç-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı açık kanal akımının hareketini idare eden temel denklemler, kütle ve momentumun korunumu (Reynolds-ortalama Navier-Stokes) denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$



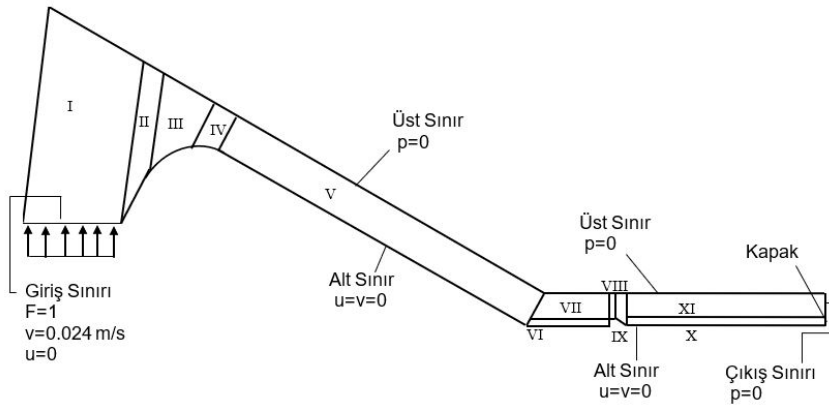
Şekil 2. Ağ elemanlarının doluluk oranı

2.5. Çözüm Bölgesi, Sınır ve Başlangıç Şartları

Şekil 3, dolusavak mansabında içerisinde hidrolik sıçrama oluşan açık kanal akımının sayısal modeli için kullanılan çözüm bölgesini, sınır şartlarını ve alt bölgeleri göstermektedir. Çözüm bölgesi 11 alt bölgeye ayrılarak sayısal modellemede kullanılacak çözüm ağı elemanlarının dikdörtgen elemanlardan oluşması sağlanmıştır. Kullanılan koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Şekil 3’de verilen çözüm bölgesinin üst sınırı ve çıkış bölgesi sınır şartı sıfır basınç ($p=0$), kanal tabanında ve savak alt

tabanında sıfır hız sınır şartı, yani $u=0$, $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Akım durumunda sayısal modelde giriş sınır şartı olarak yatay hız bileşeni için deneysel hız profilleri kullanılmıştır. Düşey hız bileşeni ise $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Zamana bağlı çözüm sürecinde, başlangıç şartı olarak, çözüm bölgesinin giriş sınırında doluluk oranı $F=1$, diğer bölgeler ve çözüm bölgesinin çıkış sınırında ise $F=0$ alınmıştır.

Sayısal modellemede kullanılan tüm türbülans modelleri için zaman adımı $\Delta t=0.001$ s olarak seçilmiş ve sayısal çözümün kararlı hale geldiği 50 s kadar çözüm yapılmıştır. (1) ve (2) temel denklemlerinin, Şekil 3’te görülen sınır şartlarına göre \bar{u} , \bar{v} ve \bar{p} için sayısal çözümü, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent® v.12.1 paket programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Çözüm bölgesi, başlangıç ve sınır şartları, alt bölgeler

3. Bulgular ve Tartışma

Enerji kırıcı yapı ve sonrasında oluşan su derinliği, yan duvar boyutlarını doğrudan etkilediği için, bu tür yapıların tasarımında ve maliyetinde önemli bir faktördür. Yeterli yan duvar yüksekliğinin olmaması halinde, duvar üzerinden aşan su, yapı güvenliğini tehlikeye atacak şekilde oyulmalara ve hasarlara neden olabilmektedir.

En fazla enerji kaybının olduğu akım ve yapı koşullarındaki ($Fr_1=12$, $h_e=3$ cm) hidrolik sıçrama, ANSYS-Fluent paket programı ile sayısal olarak modellenmiştir. Niceliksel karşılaştırmada, 6 farklı türbülans modeli için elde edilen sayısal hız profilleri

deneysel hız profilleri ile karşılaştırılmış ve kriteri olarak Denklem (4)’de verilen Ortalama Karesel Hata (OKH) değeri kullanılmıştır.

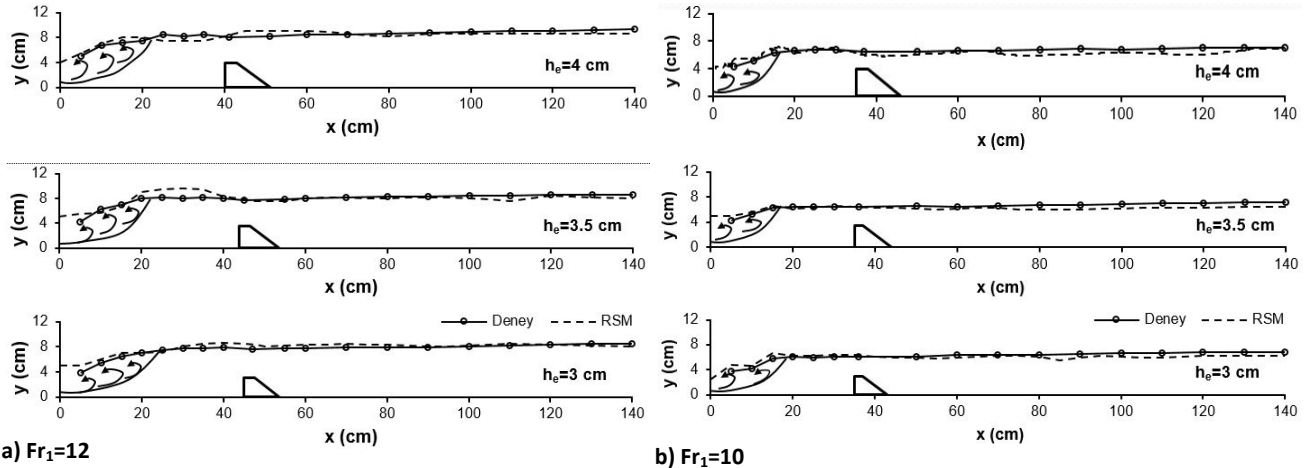
$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (u_d - u_h)^2 = 0 \quad (4)$$

Burada, u_d ve u_h sırasıyla deneysel ve hesaplanan hız değerlerini, N ise hız profilinde derinlik boyunca kullanılan nokta sayısını ifade etmektedir.

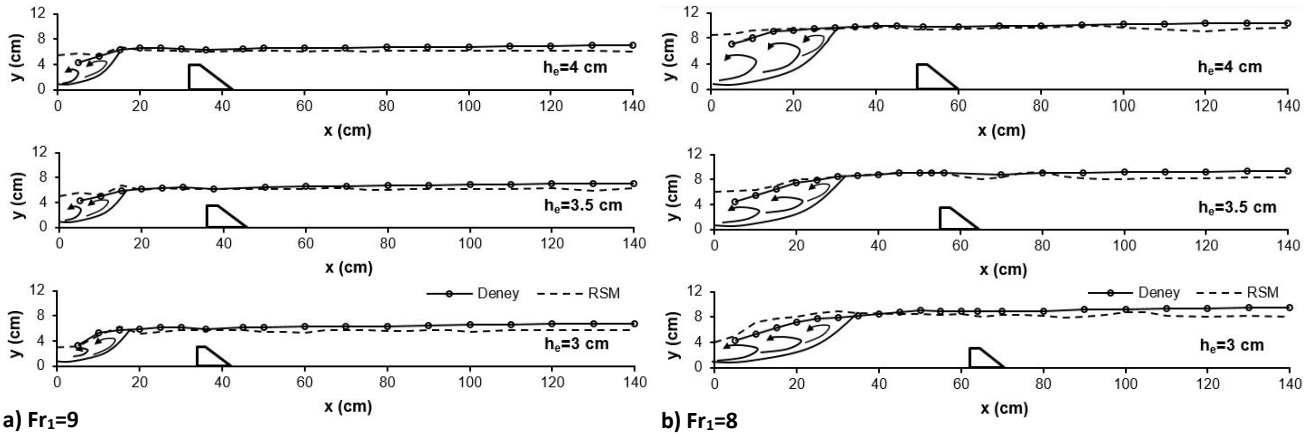
Tablo 2’de 6 farklı türbülans modeline ait 14 farklı kesitte elde edilen OKH değerlerinin ortalaması verilmiştir. OKH değerleri üzerindeki rakamlar türbülans modelinin başarısı sırasını göstermektedir. OKH

değerlerinden, RSM modelinin diğer türbülans modellerine kıyasla daha iyi tahminde bulunduğu açıkça görülmektedir. $\alpha=12^\circ$ ve 30° şüt kanalı eğimleri için, farklı akım ($Fr_1=12, 10, 9, 8, 7.5$ ve 7) ve yapı koşullarında ($h_e=4, 3.5$ ve 3 cm) limnometre kullanılarak elde edilen deneysel su yüzü profilleri ile

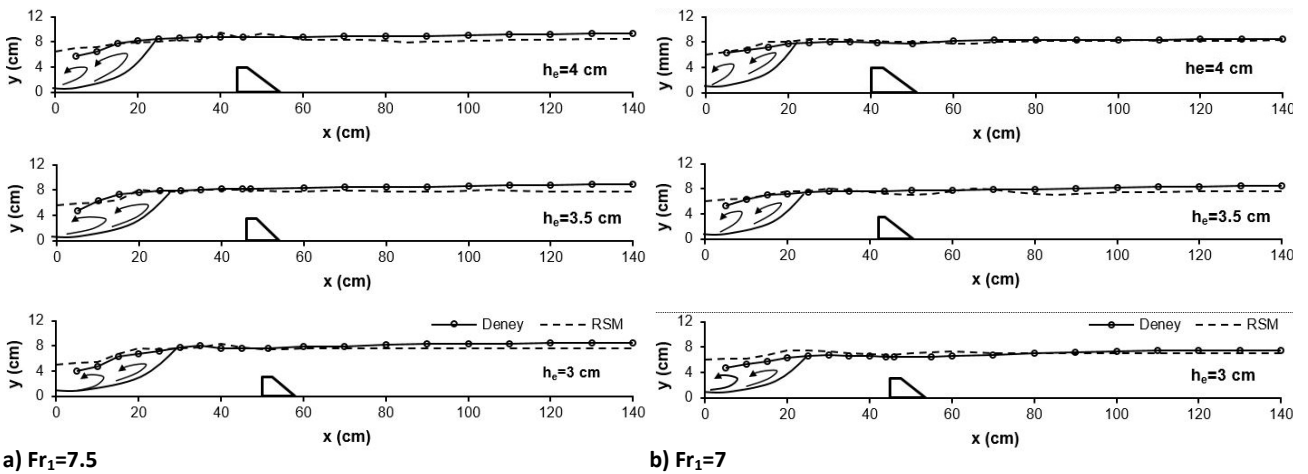
RSM türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Enerji kırıcı havuzun girişinde, yoğun hava karışımı ve hidrolik sıçramanın dinamik özelliği nedeniyle, sıçrama bölgesindeki akım profilleri ortalama olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Deneysel ve sayısal akım profilleri, a) $Fr_1=12$ ve b) $Fr_1=10$,



Şekil 5. Deneysel ve sayısal akım profilleri, a) $Fr_1=9$ ve b) $Fr_1=8$.



Şekil 6. Deneysel ve sayısal akım profilleri, a) $Fr_1=7.5$ ve b) $Fr_1=7$.

Tablo 2. Farklı türbülans modelleri için elde edilen OKH değerleri (m^2/s^2)

Türbülans modeli	SKE	RNG	RKE	MKW	SST	RSM
------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Ortalama OKH değeri	0.0424 ⁽⁴⁾	0.0205 ⁽²⁾	0.0253 ⁽³⁾	0.0728 ⁽⁵⁾	0.0800 ⁽⁶⁾	0.0128⁽¹⁾
----------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------------

Şekil 4, 5 ve 6'da verilen deneysel ve sayısal akım profillerinin karşılaştırıldığı şekiller incelendiğinde, bu çalışmada ele alınan deney koşullarında, eşik yüksekliğinin azalması ile birlikte su derinliği ve eşik yapısının hemen membasında meydana gelen kabarma miktarı da azalmaktadır. Eşik mansabında ise hemen hemen üniform bir derinlik söz konusudur. Sabit eşik yapısı yüksekliğinde, Froude sayısının azalmasıyla birlikte hidrolik sıçramanın uzunluğu azalmakta ve sıçrama zayıflamaktadır. Kanal eğimi $\alpha=30^\circ$ için Froude sayısı azalınca, sıçrama uzunluğu azalmakta ve sıçrama şüt kanalı üzerine doğru kaymakta, Kindsvater (1944) tarafından verilen sınıflandırmaya göre A tipi sıçramadan B tipi sıçramaya geçiş yapmaktadır. $\alpha=12^\circ$ için ise bütün Froude sayılarında ise B tipi hidrolik sıçrama gerçekleşmektedir. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılmasından deneysel modellere göre daha ekonomik, pratik ve kısa sürede akım hakkında detaylı bilgi edinme imkânı veren sayısal modellenin bu tür akımların modellemesinde kullanılabileceği görülmüştür.

4. Sonuçlar

Dolusavak şüt kanalı mansabında bulunan enerji kırıcı havuz içerisinde meydana gelen hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal analizi, farklı akım ve yapı koşulları altında gerçekleştirilmiştir. $\alpha=12^\circ$ ve 30° şüt kanal eğimleri için gelen akımın Froude sayısının 12, 10, 9, 8, 7.5 ve 7 olduğu akım koşullarında, $h_e=4, 3.5$ ve 3 cm eşik yükseklikleri kullanılarak hidrolik sıçramanın akım profili incelenmiştir. Deneylerde kullanılan akım ve yapı koşulları için temel denklemler sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent programı yardımıyla, Standard k- ϵ (SKE), Renormalization group k- ϵ (RNG), Realizable k- ϵ (RKE), Modified k- ω (MKW), Shear Stress Transport (SST) ve Reynolds Stress Model (RSM) türbülans kapatma modelleri kullanılarak iki boyutlu çözülmüştür. Sayısal modellemede kullanılan türbülans kapatma modellerin başarısının belirlenmesi için niceliksel kriter olarak Ortalama Karesel Hata (OKH) değeri, sayısal çözümlerde su yüzü profilinin hesaplanmasında Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid-VOF) kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal akım profillerinin karşılaştırılması sonucunda akım alanını kullanılan diğer türbülans modellerine göre daha başarılı

tahmin eden RSM modelinin gerçeğe daha yakın tahmin ettiği belirlenmiştir. Froude sayısının azalmasıyla birlikte hidrolik sıçrama sonrası oluşan su derinliğinin de azaldığı, hidrolik sıçramanın düzensiz ve değişken akım yapısına sahip olmasından dolayı deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bu bölgede çok azda olsa farklılıklar görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan sayısal modellemenin bu tip akım yapı etkileşim problemlerinin çözümünde ve hidrolik sıçrama gibi karmaşık akım yapısına sahip akım türlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın birinci yazarı TÜBİTAK tarafından doktora bursiyeri olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] O. Şimşek, "Enerji kırıcı yapı üzerindeki akımın sayısal ve deneysel analizi," Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2017, 247 sayfa.
- [2] B. E. Launder, and D. B. Spalding, "Lectures in mathematical models of turbulence", *New York. Academic Press*, 1972.
- [3] V. Yakhot, and S. A. Orszag, Renormalization-group analysis of turbulence. *Physical Review Letters*, vol: 57(14), pp. 1722-1724, 1986.
- [4] T.H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, and J. Zhu, "A new k- ϵ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows", *Computers & Fluids*, vol:24(3), pp. 227-238, 1995.
- [5] D.C. Wilcox, "Turbulence Modeling for CFD (Third Edition)", *California, DCW Industries Inc*, 2006.
- [6] F.R. Menter, "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications", *AIAA journal*, vol.32(8), pp. 1598-1605, 1994.
- [7] B. Launder, G. J.Reece, and W. Rodi, "Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure", *Journal of fluid mechanics*, vol:68(03),pp. 537-566, 1975.
- [8] M.M. Gibson, and B. E. Launder, "Ground effects on pressure fluctuations in the atmospheric boundary layer", *Journal Fluid Mechanic*,vol: 86,pp. 491-511 1978.
- [9] B. E. Launder, "2nd-moment closure and its use in modeling turbulent industrial flows", *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol:9(8), pp.963-985, 1989.
- [10] C.W. Hirt, and B.D. Nichols, "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries", *Journal of Computational Physics*, vol:39(1), pp. 201-225, 1981.

- [11] ANSYS, "FLUENT Theory Guide", USA, *ANSYS Inc*, 2012.
- [12] C. E. Kindsvater, "The hydraulic jump in sloping channels", *Trans. ASCE*, 109:1107-1154, 1944.