

Dolusavak Üzerinden Geçen Akımın Sayısal Analizi: Mersin Dereyurt Göleti Dolusavak Örneği

M. Nihat TELKIRAN¹, M. Sami AKÖZ^{*2}, Oğuz ŞİMŞEK³, N. Göksu SOYDAN⁴

¹NT Proje Mühendislik İnşaat ve Ltd. Şti., Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

⁴Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 17.01.2019

Kabul tarihi: 27.03.2019

Öz

Bu çalışmada, Dereyurt Göleti dolusavağı üzerinden geçen türbülanslı akım sayısal olarak modellenmiştir. Akımın hareketini idare eden temel denklemler sonlu hacimler yöntemine dayalı Ansys-Fluent program yardımıyla Standart k-ε, Modifiye k-ω, Kayma Gerilmesi Taşınımı (Shear Stress Transport) ve Reynolds Gerilmeleri Modeli (Reynolds Stress Model) türbülans modelleri kullanılarak çözülmüştür. Su yüzü profilinin hesabında Akışkan Hacimler Yöntemi (VOF) kullanılmıştır. Sayısal olarak elde edilen su yüzü profilleri, standart adım yöntemiyle hesap edilen su yüzü profili ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm türbülans modellerinin dolusavak ve şüt kanalı üzerindeki akım profilini belirlemede oldukça başarılı oldukları belirlenmiştir. Bununla birlikte ortalama karesel hata kriteri kullanılarak yapılan niceliksel karşılaştırmalarından, Reynolds Gerilmeleri Modeli (RSM) türbülans modelinin akım profilini belirlemede diğer türbülans modellerine göre az da olsa daha başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yaklaşım kanalı, dolusavak ve şüt kanalı üzerindeki hız, basınç ve türbülans şiddetlerinin sayısal dağılımları sunulmuş, dolusavak üzerinden geçen türbülanslı akım analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dolusavak, Sayısal modelleme, Su yüzü profili, Türbülans modelleri, VOF

Numerical Analysis of Spillway Flow: Mersin Dereyurt Pond Spillway Example

Abstract

In this study, the turbulent flow over Mersin Dereyurt pond spillway are modelled numerically. The governing equations of flow over the spillway are solved numerically by ANSYS-Fluent based on finite volume method using Standard k-ε, Modified k-ω, Shear Stress Transport and Reynold Stress turbulence models. The volume of fluid (VOF) method is used to determine the free surface profile. The numerical

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Mevlüt Sami AKÖZ, msa@cu.edu.tr

results for the flow profile are compared with the standard step method and all the turbulent closure models used in the present study are found to be successful in determining free surface profile over the spillway and chute channel. However, Reynolds Stress Model is slightly more successful than the other turbulence models according to the quantitatively comparison using the mean square error index. In addition, the numerical distributions of velocity, pressure and turbulence intensity on the approach channel, spillway and chute channel are presented and the turbulent flow over the spillway was analyzed numerically.

Keywords: Numerical modelling, Spillway, Turbulance models, VOF, Water surface profile

1. GİRİŞ

Barajlar enerji üretimi, içme suyu temini, sulama suyu temini ve taşkın kontrolü gibi çeşitli amaçlar için yapılan su yapılarıdır. Barajlar farklı kriterler göz önünde bulundurularak çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Büyüklüklerine göre barajlar büyük baraj ve küçük baraj (gölet) şeklinde ikiye ayrılır. Göletler, büyük baraj tanımının dışında kalan projesi daha basit ve genellikle de sulama amaçlı inşa edilen küçük barajlardır. Barajları oluşturan elamanların tipleri ve tasarımları yapım amaçlarına göre farklılık gösterse de baraj yapısı vadiyi kapatan esas yapı, işletme tesisleri ve yardımcı tesislerden oluşur.

Dolusavaklar, taşkın sularının baraj yapısına zarar vermeden mansaba güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan yapılardır. Serbest alışlı (kontROLSÜZ) ve kapaklı (kontrollü) olmak üzere iki farklı şekilde inşa edilebilmektedir. Serbest akışlı dolusavaklar karşıdan alışlı, yandan alışlı, kuyulu, sifonlu, labirent, basamaklı ve tehlike savakları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kontrollü dolusavaklar kullanıldığı kapak türüne göre silindir kapak, radyal kapak, düşey düz kapak, çatı kapak ve sektör kapaklı dolu savaklar şeklinde isimlendirilmektedir. Kapaklı dolu savaklar kapaksızlara göre daha ekonomik olmasının yanında, membadaki su seviyesini daha hassas ayarlama ve daha yüksek deşarj kapasitesine sahip olma gibi avantajlara sahiptir [1].

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği-HAD (CFD-Computational Fluid Dynamics) teknikleri, su yapıları ile etkileşim halinde bulunan serbest yüzeyli akımların analizinde daha yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır [2-6]. Hesaplamalı

Akışkanlar Dinamiği tekniklerinin kullanılması, hidrolik yapıların tasarımında, laboratuvarla gerçekleştirilen model çalışmalarına göre daha ekonomik ve zaman bakımından daha hızlı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Ashgriz ve arkadaşları [7], laboratuvar kanalına yerleştirilmiş yarı silindirik bir yapı üzerinden geçen türbülanslı akımı sayısal olarak analiz etmişlerdir. Türbülanslı akımın hareketini idare eden temel denklemler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS paket programı kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Su yüzü profillerinin hesabı için Akışkan Hacimleri yöntemi kullanılmıştır. Silindirik savak üzerinden geçen akımın basınç ve hız alanları ile ilgili bulgular grafiksel olarak sunulmuştur. Öner ve arkadaşları [8], dikdörtgen kesitli geniş başlıklı bir savak üzerinden geçen türbülanslı açık kanal akımının hız alanını PIV ile ölçmüşlerdir. Temel denklemlerin sayısal çözümleri üç farklı türbülans kapatma modeli kullanılarak ANSYS-Flotran yardımıyla elde edilmiştir. Standart k- ϵ , Standart k- ω ve Shear Stress Transport modellerinin kullanıldığı hesaplamalarda akım profili VOF ile hesaplanmıştır. Farklı yoğunluklara sahip ağ yapıları kullanarak ağ yapısının sayısal sonuçlar üzerindeki etkisinin de incelendiği sayısal hesaplamalardan elde edilen akım hızları ve su yüzü profilleri deneysel bulgularla karşılaştırılmış ve standart k- ω modelinin diğer iki modele göre daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gümüş ve Kırkgöz [9], bir dolusavak mansabında yer alan şüt kanalı üzerinden geçen akımın hareketini idare eden temel denklemleri, ANSYS-Fluent programı yardımıyla k- ϵ tabanlı türbülans modelleri kullanarak sayısal olarak çözmüşler, savak üzerindeki akımın profilini VOF yöntemi ile hesaplamışlardır. Ağ Yakınsama İndeksi kullanılarak ağ yapısının sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmış ve hesaplama hatasının kabul edilebilir değer olan %2'nin altında kaldığı görülmüştür.

Deneyssel ve sayısal sonuçların karşılaştırılmasından, Re-normalization Group k-ε ve Realizable k-ε modellerinin Standart k-ε modeline göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Tiğrek ve arkadaşları [10], Fluent programı yardımıyla; i) dolu savak havalandırıcıları ii) derivasyon tüneli ve dinlendirici havuz ve iii) dip savak yapıları ile etkileşime giren akım ile ilgili üç farklı hidrolik probleminin sayısal modellemesini gerçekleştirmiştir. Her üç örnekte de akım profilinin hesabı için akışkan hacimleri yöntemini kullanmıştır. Sayısal çözümlerden elde ettikleri bulguları kullanarak, bilinen ve kabul edilmiş tasarım yöntemleriyle boyutlandırılan yapıların hidrolik koşullarını sayısal benzetim yöntemiyle incelemişler; ele aldıkları hidrolik yapıların şekilsel ve boyutsal olarak yeniden tasarlanması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada, karşıdan alıslı ve kontrolsüz dolusavak yapısına sahip Mersin-Mut-Dereyurt Göletinin dolusavağı üzerinden geçen akımın profili sayısal olarak hesap edilmiş ve standart adım yöntemiyle elde edilen profille karşılaştırılmıştır. Sayısal hesaplamalarda akımı hareketini idare eden temel denklemler sonlu hacimler yöntemine dayalı

ANSYS-Fluent paket programı kullanılarak çözülmüş; savak üzerinden geçen akımın profili Akışkan Hacimler Yöntemi (Volume of Fluid-VOF) ile hesap edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Mersin-Dereyurt Göleti

Mersin Dereyurt Gölet'i Mersin ilinin Mut ilçesinde 4.230 dekar zirai arazinin sulamasını sağlamak üzere inşa edilen bir hidrolik yapıdır (Şekil 1). Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tipindeki göletin temelden yüksekliği 36,65 m, talvegten yüksekliği 31,58 m'dir. Dereyurt göleti karşıdan alıslı ve kontrolsüz bir dolusavağa sahiptir. Dolusavak proje hesap debisi 55,55 m³/s'dir. Dolusavak boşaltım kanalının uzunluğu 112 m, genişliği ise 15 m'dir. İnşaatına başlanan projede memba batardosu ile 149 metre uzunluğunda derivasyon-dipsavak kondivisine ait tüm imalatlar tamamlanarak suyun derivasyonu sağlanmıştır. Dolusavak üzerinden geçen akım profilinin hesabı, yaygın olarak kullanılan Standart Adım Yöntemi (SAY) ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Dereyurt göleti

2.2. Temel Denklemler

Sıkışmayan, türbülanslı dolusavak akımının hareketini idare eden temel eşitlikler, kütle ve

momentumun korunumu (Reynolds-ortalama Navier-Stokes) Eşitlik 1 ve 2'de verilmiştir:

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

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

Eşitlik 1 ve 2’de u_i , x_i doğrultusundaki hız bileşeni, g yer çekimi ivmesi, p basınç, μ dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu ve τ_{ij} türbülans (Reynolds) gerilmeleridir. Üç boyutlu akımı idare eden yukarıdaki 4 adet eşitlik 10 adet bilinmeyen içermektedir, bunlar: üç hız bileşeni \bar{u}_i , basınç \bar{p} ve 6 bağımsız Reynolds gerilmesidir ($\overline{\rho u_i u_j}$).

Böylece, denklem sisteminin çözülebilmesi için türbülans gerilmelerinin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sorun, yukarıdaki zamansal-ortalama denklemlerin sayısal çözümü sürecinde, denklemlerde yer alan türbülans gerilmelerinin uygun türbülans kapatma modelleriyle tanımlanmasını gerektirmektedir. Türbülans viskozitesinin doğrusal olarak ifade edilmesini esas alan Boussinesq yaklaşımına göre Eşitlik 2’deki türbülans kayma gerilmeleri bünye denklemi ile, sıkışmayan akımlar için aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

burada u_i ve u_j yatay ve düşey türbülans hız sapınçları, μ_t türbülans viskozitesi, k ($=\overline{u_i u_i}/2$) türbülans kinetik enerjisi ve δ_{ij} Kronecker deldadır.

2.3. Sayısal Modeller

Eşitlik 3’te görülen μ_t türbülans viskozitesinin hesaplanmasında birçok türbülans kapatma modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada, μ_t ’nin hesabında Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemlerinin (RANS) çözümüne dayalı

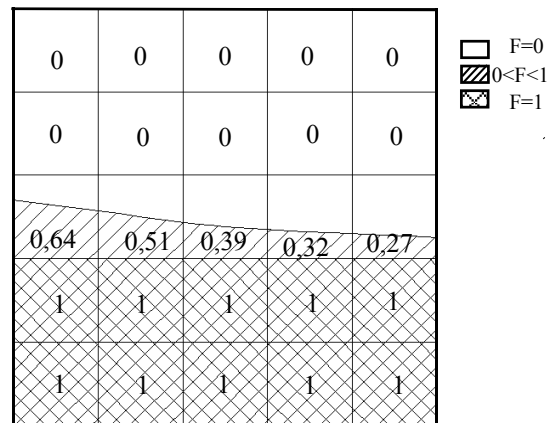
- $k-\varepsilon$ tabanlı; *Standart $k-\varepsilon$ (SKE)* [11],
- $k-\omega$ tabanlı; *Shear Stress Transport (SST)* [12] ve *Modified $k-\omega$ (MKW)* [13],
- Reynolds Stress Model (RSM)* [14]

türbülans modelleri kullanılmıştır.

2.4. Akışkan Hacimleri Yöntemi (VOF)

Birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki fazlar arası ara yüzeyin şekli ve oluşumu incelenmek istendiğinde genellikle sabit bir Eulerian çözüm ağına uygulanabilen VOF modeli kullanılmaktadır [15]. Bu çalışmada su-hava ara kesitinin hesabında akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır. VOF yöntemi hücrelerin boş, kısmen ya da tam suyla dolu olduğunu belirlemede kullanılmaktadır. Hacimsel doluluk oranını temsilen bir akışkan hacmi (F) tanımlanır. $F=1$ için ağ elemanı tam dolu, $F=0$ için boş (hava ile dolu) ve $0 < F < 1$ için ağ elemanı kısmen dolu olmaktadır. Akışkan Hacimleri Yöntemi ile serbest su yüzünün hesaplanmasında “Geo-Reconstruct” yaklaşımı kullanılmıştır [16]. Bu yaklaşıma göre, öncelikle, kısmen dolu her bir hücrenin, doluluk oranı ve onun türevleri ile ilgili bilgilere dayanılarak, hava-su doğrusal ara yüzünün hücre ağırlık merkezine göre yeri belirlenir. Bir sonraki adımda, hesaplanmış doğrusal ara yüzün yeri ve eleman yüzeylerinde hesaplanmış normal ve teğetsel hız bilgileri kullanılarak her bir eleman yüzeyinden taşınan akışkan miktarları hesaplanır. Son olarak, bir önceki adımda hesaplanan akışkan miktarları göz önüne alınarak, süreklilik denklemi ile her bir hücrenin hacimsel doluluk oranı belirlenir.

Şekil 2, bir bölgedeki su-hava arakesitinin doluluk oranına örnek teşkil etmektedir. Şekil üzerindeki sayısal değerler, o kesitteki F doluluk oranlarının sayısal değerlerini göstermektedir.



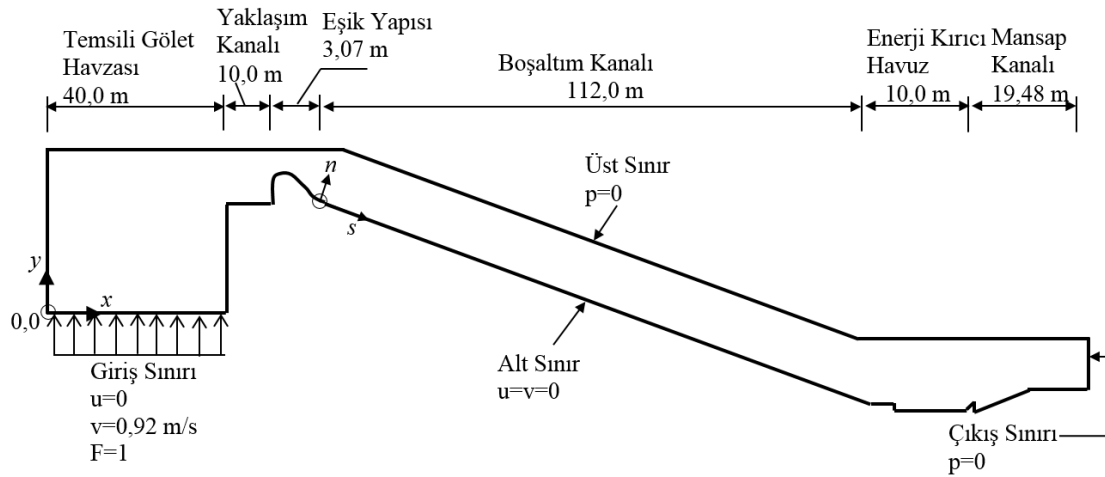
Şekil 2. Ağ elemanlarının doluluk oranı

2.5. Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları

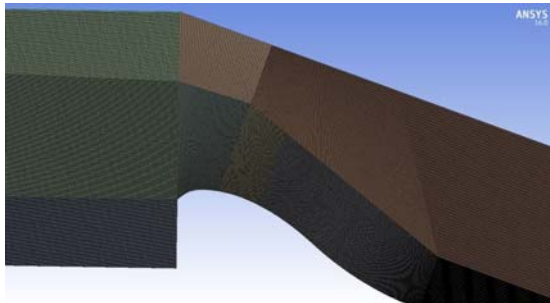
Mersin Mut Dereyurt Göleti dolusavağı üzerinden geçen akımın sayısal modellemesi için belirlenen çözüm bölgesi Şekil 3'te sunulmuştur. Kullanılan koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Çözüm bölgesinin üst sınırı, yaklaşım kanalı, eşik yapısı, boşaltım kanalı ve enerji kırıcı yapının duvar üst kotu; alt sınırı ise dolusavak yapısı taban kotları olarak belirlenmiştir. Alt sınırda sıfır-hız duvar sınır şartı, yani $u=v=0$ kabulü yapılmıştır. Taşkın öteleme sonucunda bulunan debi değeri $Q=55,55 \text{ m}^3/\text{s}$ kullanılarak hesap edilen $v=0,92 \text{ m/s}$ hız değeri sayısal modelde giriş sınır şartı olarak kullanılmıştır. Çözüm bölgesinin üst sınırında ve boşaltım kanalının sonunda yer alan mansap kanalındaki serbest dökülme kesitinde basınç şartı $p=0$ alınmıştır.

2.6. Sonlu Hacimler Hesap Ağı

Su-yapı etkileşiminin söz konusu olduğu akım problemlerinin sayısal hesaplamalarında, hesaplama ağı yapısının sonuçlar üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmadaki probleme uygun hesaplama ağının oluşturulmasında, Dereyurt dolusavak boşaltım kanalının 1/1 ölçekteki boyutları kullanılmış ve geçmiş tecrübelerle dayalı olarak hesap ağı belirlenmiştir. Her bir dörtgen elemanın boyutları 0,05 m olacak şekilde oluşturulan yaklaşım kanalı ve eşik yapısına ait hesap ağı Şekil 4'te görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katı sınıra yakın bölgelerde yani yaklaşım kanalı, eşik yapısı ve boşaltım kanalı tabanında ağ sıklaştırılması yapılmıştır.



Şekil 3. Sayısal hesaplama bölgesi ve sınır şartları



Şekil 4. Yaklaşım kanalı ve eşik yapısı hesap ağı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Dolusavak Boşaltım Kanalı Su Yüzü Hesabı

3.1.1. Standart Adım Yöntemi (SAY)

Boşaltım kanalındaki su yüzü profilinin bulunması ve buna bağlı hava payının hesaplanması kanal boyutlarının teşkil edilmesinde önem arz etmektedir.

Mersin-Dereyurt göletinin boşaltım (şüt) kanalı uzunluğu, savağın bulunduğu sol yamacın topografik özellikleri göz önüne bulundurularak 112 m olarak tasarlanmıştır. Kanalın genişliği 15 m, eğimi 0,35 olarak belirlenmiştir. Bu yapısal özellikler kullanılarak Standart Adım Yöntemi ile kanalın farklı kesitleri için hesap edilen su derinlikleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Çizelgede d, kanal tabanına dik doğrultudaki su derinliğini; d_n, kanalın y eksenine doğrultusundaki su derinliğini göstermektedir. Ayrıca Çizelge 1’de yaklaşım kanalı, savak yapısı ve şüt kanalı ile ilgili hesap edilen diğer hidrolik karakteristikler de gösterilmiştir.

Boşaltım kanalı sonundaki suyun hidrolik özellikleri enerji kırıcı yapının seçimi ve mansap kanalının tasarımı için önem arz etmektedir.

3.1.2. Sayısal Su Yüzü Profilleri

Dolusavak üzerindeki akımın profili, Akışkan Hacimler Yöntemi (Volume of Fluid-VOF) kullanılarak, ANSYS-Fluent paket programı yardımı ile Standart k-ε (SKE), Modified k-ω (MKW), Reynolds Stress Model (RSM) ve Shear Stress Transport (SST) türbülans modelleri kullanılarak elde edilen akım profillerinin SAY kullanılarak elde edilen akım profilleri ile karşılaştırılması Şekil 5’te farklı bölgeler için (yaklaşım kanalı, savak yapısı, şüt kanalı ve enerji kırıcı yapı üzerinde) sunulmuştur. Yapılan karşılaştırmalardan, bu çalışmada kullanılan türbülans modellerinin akım profilini başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Özellikle yaklaşım kanalı, dolusavak (eşik) yapısı ve şüt kanalı üzerindeki akım profilleri birbirleri ile oldukça uyumludur. Hidrolik sıçramanın meydana geldiği enerji kırıcı yapı üzerinde ise akım profilleri arasında farklılıklar söz konusudur. Bununla birlikte teorik olarak ani bir yüzey süreksizliği şeklinde tanımlanan ve kritik üstü rejimden kritik altı rejime geçişte meydana gelen hidrolik sıçramanın tüm türbülans modelleri tarafından tahmin edildiği görülmektedir. Öte yandan sayısal akım profillerinin, SAY’dan elde edilen akım profiline göre daha gerçekçi bir davranış sergilediği şekillerden anlaşılmaktadır.

Yaklaşım kanalı, eşik ve şüt kanalı üzerinde farklı kesitler için hesaplanan analitik ve sayısal su derinlikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi sayısal ve analitik su derinlikleri birbirleri ile gayet uyumludur.

Türbülans modellerinin akım profilini belirlemedeki başarılarının niceliksel olarak test edilmesinde SAY’dan elde edilen akım profili esas alınmıştır. Bu karşılaştırmada niceliksel bir ölçüt olarak Eşitlik 4’te verilen Ortalama Karesel Hata (OKH) değeri kullanılmıştır:

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (h_{SAY} - h_s)^2 \quad (4)$$

Burada, h_{SAY} ve h_s sırasıyla 10 metrede bir standart adım yöntemi ve sayısal olarak hesaplanan su derinlik değerlerini, N ise kanal boyunca ölçüm sayısını göstermektedir.

Çizelge 3’te kanal boyunca, Denklem 4 kullanılarak elde edilen ortalama OKH değerleri verilmiştir. Elde edilen en küçük OKH değeri çizelgede koyu renkle gösterilmiştir. Buna göre tüm dolusavak kanalı için yapılan ortalama karesel hata hesaplamaları sonucunda RSM türbülans modelinin kullanılan diğer modellere göre daha başarılı olduğu gözükmektedir.

Çizelge 3. Dolusavak yapısı için farklı türbülans modellerine ait OKH değerleri

Model	SKE	MKW	RSM	SST
OKH (m ²)	0,193	0,193	0,144	0,178

3.2. Sayısal Hız Profilleri

Şekil 6’da OKH değeri bakımından en başarılı olan RSM türbülans modelinden elde edilen sayısal hız profilleri farklı kesitler için sunulmuştur. Yaklaşım kanalı ve eşik yapısının membasında rölatif olarak daha düşük hızlar söz konusu iken şüt (boşaltım) kanalının başlangıcı ile birlikte hız değerleri artmaktadır. 112 m uzunluğundaki şüt kanalının ağ yapısının oluşturulmasında karşılaşılan zorluklara rağmen katı sınıra yakın bölgede yani sınır tabakası içindeki akım profilini yine de başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Çizelge 1. Boşaltım kanalı boyunca SAY ile su yüzü hesabı

KM	Kanal Taban Kotu	d _n (m)	d (m)	b (m)	A (m ²)	V (m/sn)	h _v (m)	X (m)	R(m)	S _n	S _z	S _{fort}	L (m)	hf (m)	Toplam h _r (m)	Göldeki Su Kotu
0+013,07	1486,53	0,57	0,53	15,00	8,49	6,54	2,18	16,13	0,53	0,03	0,03	0,03		0,22	0,22	1489,47
0+023,07	1483,03	0,37	0,35	15,00	5,50	10,11	5,21	15,73	0,35		0,11	0,07	10,00	0,66	0,88	1489,47
0+033,07	1479,53	0,31	0,29	15,00	4,64	11,97	7,31	15,62	0,30	0,11	0,19	0,15	10,00	1,46	2,34	1489,47
0+043,07	1476,03	0,28	0,27	15,00	4,26	13,05	8,68	15,57	0,27	0,19	0,25	0,22	10,00	2,15	4,49	1489,47
0+053,07	1472,53	0,27	0,26	15,00	4,06	13,67	9,53	15,54	0,26	0,25	0,29	0,27	10,00	2,66	7,15	1489,47
0+063,07	1469,03	0,26	0,25	15,00	3,96	14,04	10,04	15,53	0,25	0,29	0,31	0,30	10,00	2,99	10,14	1489,47
0+073,07	1465,53	0,26	0,25	15,00	3,90	14,25	10,35	15,52	0,25	0,31	0,33	0,32	10,00	3,20	13,34	1489,47
0+083,07	1462,03	0,26	0,24	15,00	3,87	14,37	10,52	15,52	0,25	0,33	0,34	0,33	10,00	3,32	16,66	1489,47
0+093,07	1458,53	0,26	0,24	15,00	3,85	14,44	10,63	15,51	0,25	0,34	0,34	0,34	10,00	3,40	20,06	1489,47
0+103,07	1455,03	0,26	0,24	15,00	3,84	14,48	10,69	15,51	0,25	0,34	0,35	0,34	10,00	3,44	23,50	1489,47
0+113,07	1451,53	0,26	0,24	15,00	3,83	14,50	10,72	15,51	0,25	0,35	0,35	0,35	10,00	3,47	26,97	1489,47
0+125,07	1447,32	0,26	0,24	15,00	3,83	14,52	10,74	15,51	0,25	0,35	0,35	0,35	12,02	4,19	31,16	1489,47

b: kanal genişliği, A: kesit alanı, V: kesit ortalama hızı, h_v: hız yüksekliği, R: hidrolik yarıçap S: enerji çizgisi eğimi hf: yük kaybı

Çizelge 2. Farklı kesitlerdeki SAY ve farklı türbülans modelleri ile elde edilen su derinlikleri

Kesitler (m)	SAYISAL ANALİZ				SAY
	SKE	SST	RSM	MKW	
0,00	2,3979	2,3685	2,3730	2,3670	2,3400
13,07	0,6833	0,6671	0,6678	0,6800	0,5300
23,07	0,3843	0,3800	0,3799	0,3842	0,3500
33,07	0,3102	0,3078	0,3062	0,3112	0,2900
43,07	0,2732	0,2715	0,2693	0,2748	0,2700
53,07	0,2023	0,2441	0,2408	0,2485	0,2600
63,07	0,2364	0,2336	0,2300	0,2379	0,2500
73,07	0,2167	0,2141	0,2106	0,2191	0,2500
83,07	0,2137	0,2112	0,2077	0,2152	0,2400
93,07	0,2052	0,2018	0,1987	0,2052	0,2400
103,07	0,2040	0,2003	0,1963	0,2042	0,2400
113,07	0,2032	0,1979	0,1933	0,2019	0,2400

Şekil 6'dan da görüldüğü gibi sınır tabakası kalınlığı boşaltım kanalı sonuna doğru artmaktadır. Şüt bloklarının hemen membasında, katı sınıra yakın bölgelerde negatif hız alanları gelişmektedir. x=135,07 m kesitindeki profil enerji kırıcı havuzun sonundaki hız profilini göstermektedir. Enerji kırıcı havuz girişinde (x=125,070 m) yaklaşık 18-19 m/s olan akım hızı, mevcut dere yatağındaki oyulmaları ve sürüklenme kuvvetlerini önlemek amacıyla projelendirilen enerji kırıcı havuzun (x=135,070 m) sonunda yaklaşık 1,0–1,5 m/s aralığında değişen hız değerlerine düştüğü görülmektedir.

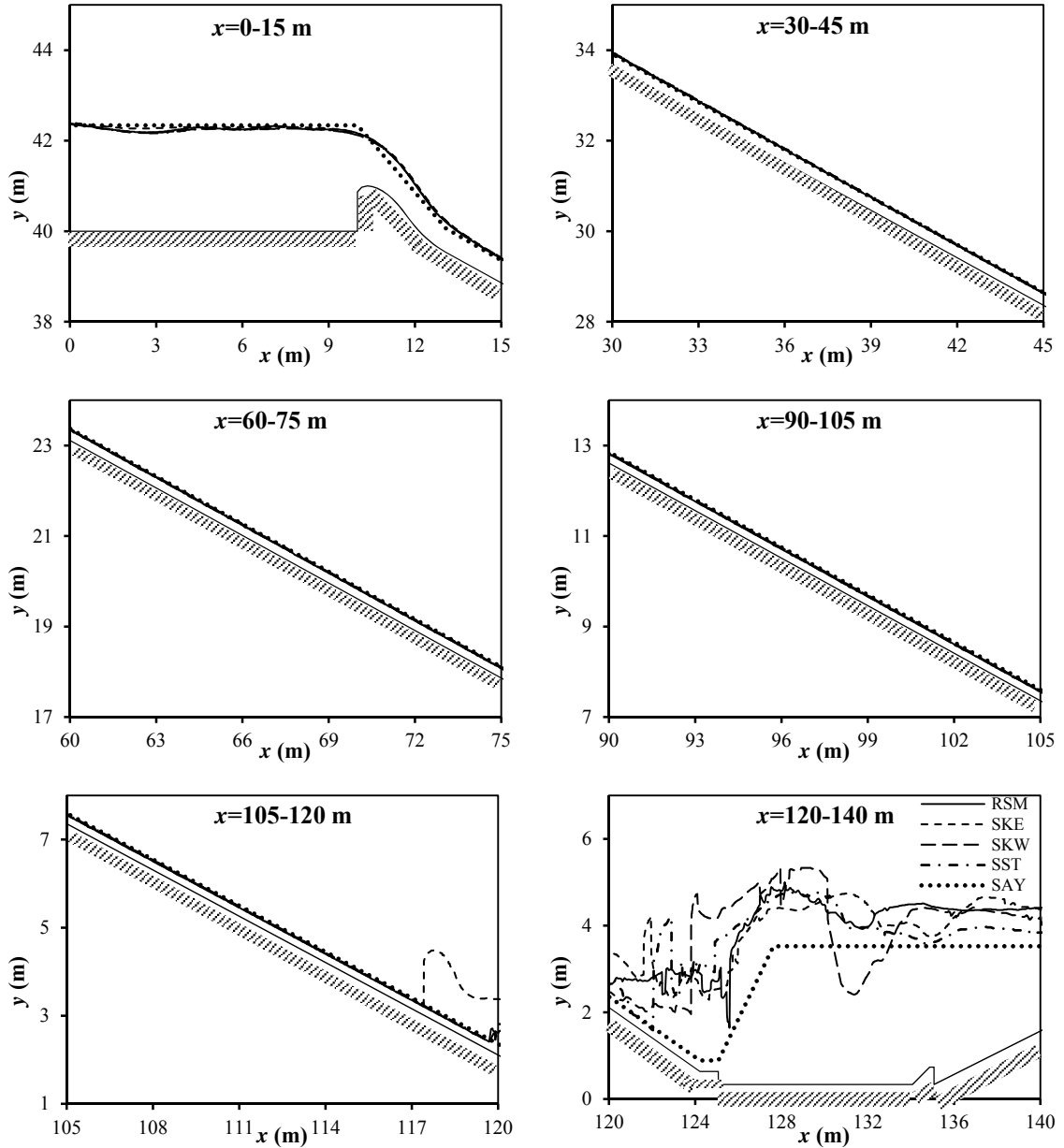
3.3. Türbülans Şiddeti

Şekil 7'de Ansys-Fluent paket programı yardımıyla RSM türbülans modeli kullanılarak yaklaşım kanalı, eşik yapısı ve şüt kanalı için elde edilen sayısal türbülans şiddetlerinin, derinlik boyunca değişimleri sunulmuştur. Dolusavak akım bölgesindeki türbülans şiddeti Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır [15]:

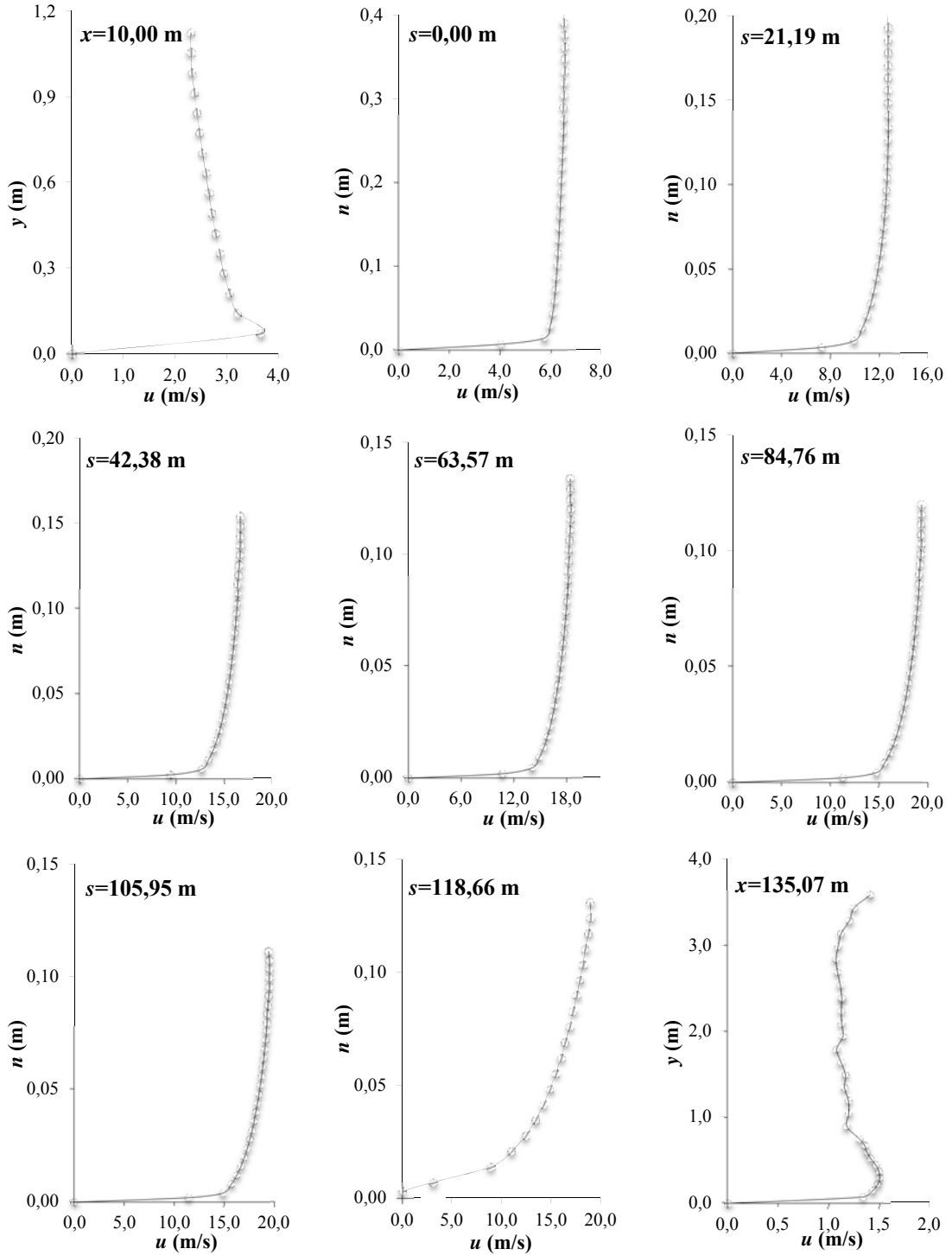
$$I = \left(\sqrt{\frac{2k}{3}} \right) / \bar{V} \quad (5)$$

Burada, k türbülans kinetik enerjisi, \bar{V} ortalama akım hızını göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi türbülans şiddeti akım hızının artmasıyla birlikte artış göstermektedir. Bir başka ifadeyle rölatif olarak daha büyük türbülans şiddetleri şüt kanalı üzerinde oluşmaktadır. Derinlik boyunca değişimleri göz önünde

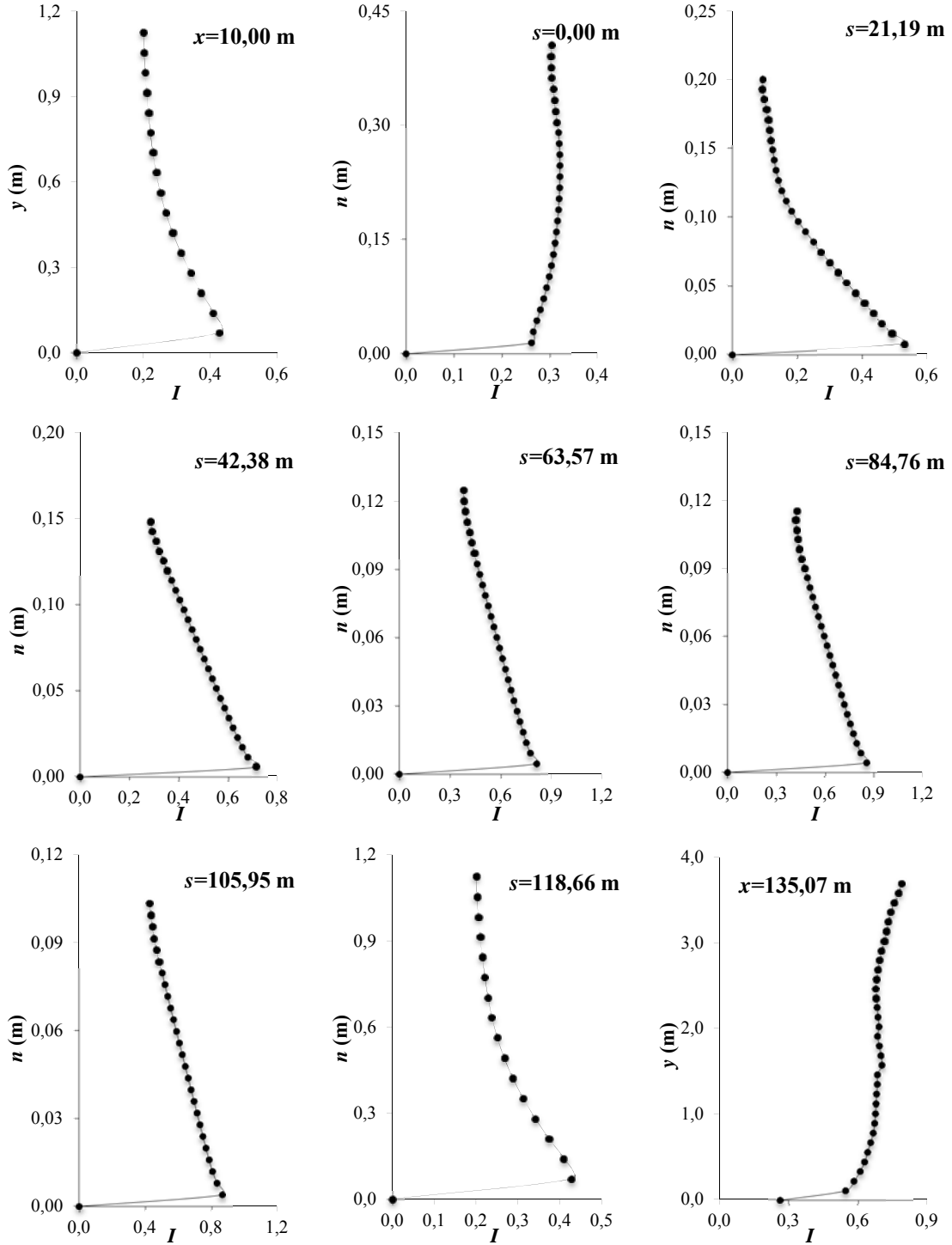
bulundurulduğunda katı sınıra yakın bölgelerde daha büyük türbülans şiddetleri oluşmaktadır. Enerji kırıcı havuz içinde ($x=135,07$ m) ise derinlik boyunca türbülans şiddetinin yaklaşık olarak aynı kaldığı şekilden de görülmektedir.



Şekil 5. Su yüzü profillerinin karşılaştırılması



Şekil 6. RSM türbülans modelinden elde edilen sayısal hız profilleri

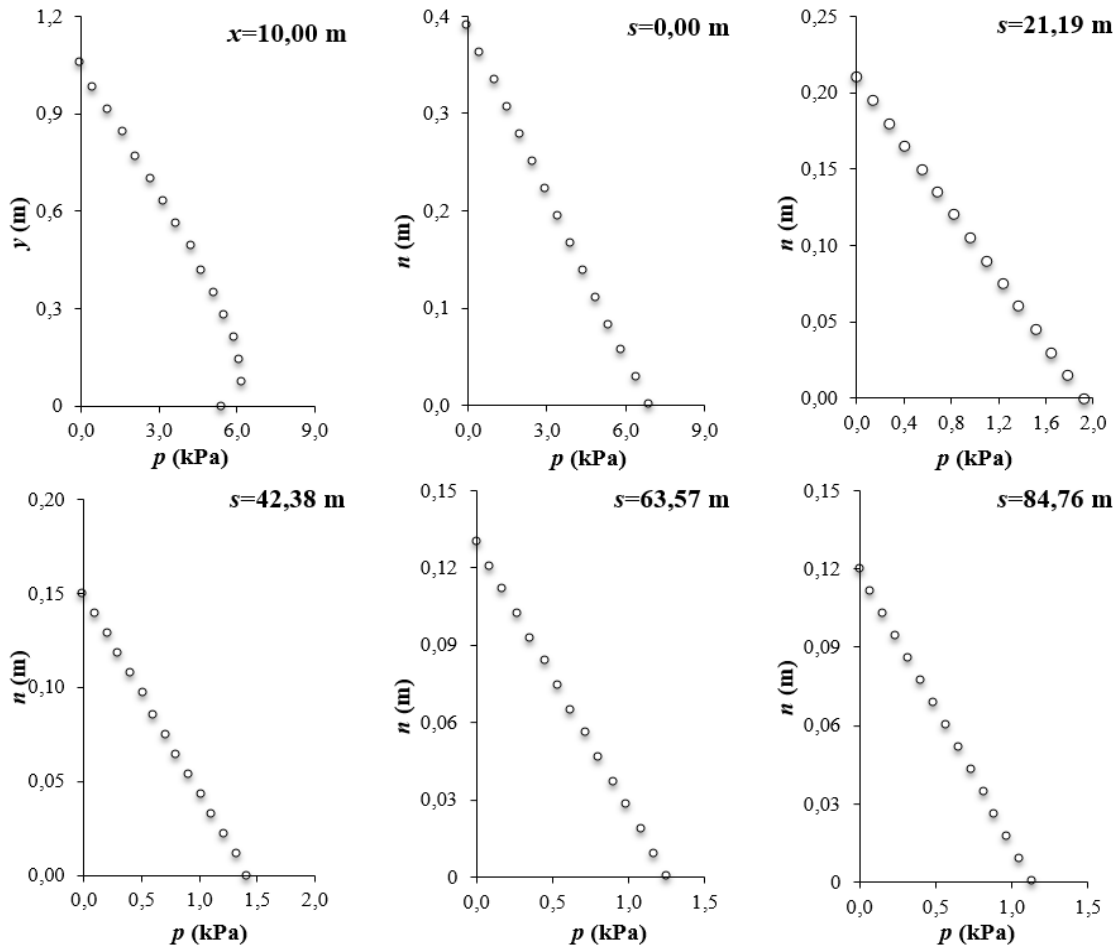


Şekil 7. RSM türbülans modelinden elde edilen sayısal türbülans şiddetleri

3.4. Basınç Dağılımları

Yaklaşım kanalı, savak yapısı ve şüt kanalı üzerindeki farklı kesitlerdeki sayısal basınç dağılımları Şekil 8’de sunulmuştur. Yaklaşım kanalı ve şüt kanalı üzerinde basınç dağılımı yaklaşık olarak hidrostatik basınç dağılımına eşittir.

Bununla birlikte, akım çizgilerinin eğriselliğini etkin olduğu savak yapısı üzerinde ($x= 10,00$ m) ise basınç dağılımı hidrostatik basınç dağılımından sapmaktadır. Şekillerden, şüt kanalının mansabına doğru su derinliğinin azalmasıyla birlikte, beklenildiği gibi, tabandaki basınçların da azaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 8. RSM türbülans modelinden elde edilen basınç dağılımları

4. SONUÇLAR

Mersin Mut Dereyurt göletinin kontrolsüz (kapaksız) olarak tasarlanan dolusavağı üzerinden geçen akımın profili taşkın öteleme hesapları sonucunda elde edilen maksimum debiye bağlı

olarak standart adım yöntemi (SAY) ve sonlu hacimler yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sayısal modellemede, dolusavak üzerinden geçen akımın hareketini idare eden temel denklemler, Standart $k-\varepsilon$ (SKE), Modifiye $k-\omega$ (MKW), Shear Stress Transport $k-\omega$ (SST) ve Reynold Stress

Model (RSM) türbülans modelleri kullanılarak, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Su yüzü profilinin sayısal hesabında Akışkan Hacimler Yöntemi (VOF) kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan SKE, MKW, SST ve RSM türbülans modellerinden elde edilen akım profillerinin SAY ile hesaplanan akım profiliyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bununla birlikte ortalama karesel hata (OKH) kriteri kullanılarak yapılan niceliksel karşılaştırmalardan, RSM türbülans modelinin diğer türbülans modellerine göre az da olsa daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sayısal hesaplamalardan elde edilen türbülans şiddetinin, derinlik boyunca değişimleri incelendiğinde, türbülans şiddetinin maksimum değere katı sınıra yakın bölgedeki bir noktada ulaştığı ve su yüzüne doğru ilerledikçe türbülans şiddetinin azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda türbülans şiddeti şüt kanalının mansabına doğru artış göstermektedir.

Yaklaşım kanalı ve şüt (boşaltım) kanalı üzerinde yaklaşık olarak hidrostatik basınç dağılımı söz konusu iken akım çizgilerinin eğriselliğinin arttığı savak yapısı üzerinde hidrostatik basınç dağılımından sapan bir basınç dağılımı gerçekleşmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgulardan, model çalışmalarına göre zaman ve maliyet açısından daha az masraflı sayısal modellemelerin, bu tür su yapılarının üzerinden geçen akımların analizinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Berkün, M., 2007. Su Yapıları Barajlar, Savaklar ve Su Kuvveti Tesisleri, Birsen Yayınevi, 667, İstanbul.
2. Chatila, J., Tabbara, M., 2004. Computational Modeling of Flow Over on Ogee Spillway. Computer Structure, 82, 1805-12.
3. Kirkgöz, M.S., Öner, A.A., Aköz, M.S., 2009. Numerical Modeling of Interaction of a Current with a Circular Cylinder Near a Rigid Bed, Advances in Engineering Software, 40, 1191-1199.
4. Aköz, M.S., Kirkgöz, M.S., Öner, A., 2009. Experimental and Numerical Modeling of a Sluice Gate Flow. Journal of Hydraulic Research, 47, 167-176.
5. Şimşek, O., Aköz, M.S., Gümüş, V., 2011. Eğrisel Geniş Başlıklı Savak Üzerinden Geçen Açık Kanal Akımının Deneysel ve Teorik Analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 47-55.
6. Anderson, J.D., 1996. Computational Fluid Dynamics: An Introduction, Springer, Berlin, Germany.
7. Ashgriz, N., Barbat, T., Wang, G., 2004. A Computational Lagrangian-Eulerian Advection Remap for Free Surface Flows. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 44, 1-32.
8. Öner, A.A., Kirkgöz, M.S., Aköz, M.S., 2007. Geniş Başlıklı Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Yöntemle İncelenmesi. III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 10-14 Eylül, 3-12, İzmir.
9. Gümüş, V., Kirkgöz, M.S., 2014. Dolusavak Akımının Farklı Türbülans Kapatma Modelleri ile Sayısal Hesabı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1), 71-81.
10. Tiğrek, Ş., Şahin, A.N., Yıldırım, T., 2015. Su Yapılarında Fluent Uygulamaları. 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-20 Kasım, 351-360, Antalya.
11. Launder, B.E., Spalding, D.B., 1972. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, New York.
12. Menter, F.R., 1994. 2-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA Journal, 32(8), 1598-1605.
13. Wilcox, D.C., 2006. Turbulence Modeling for Cfd (Third Edition), DCW Industries, Inc., California.
14. Launder, B.E., 1989. 2nd-Moment Closure and Its use in Modeling Turbulent Industrial Flows. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 9(8), 963-985.
15. ANSYS. 2012. Fluent Theory Guide. USA: Ansys Inc.

- 16.** Hirt, C.W., Nichols, B.D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics*. 39(1), 201-225.

