

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

**HARRAN
ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

HARRAN UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

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

Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi

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

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

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Gümüş V., Şimşek O., Soydan G. N., Aköz S. M. ve Kırkgöz S. M., “Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* , 3(3): 15-21, (2018).

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

Akışkan Hacimleri Yöntemiyle Yapılan Sayısal Modellemelerde Yan Duvar Etkisinin İncelenmesi

Veysel GÜMÜŞ¹, Oğuz ŞİMŞEK¹, N. Göksu SOYDAN², M. Sami Aköz², M. Salih KIRKGÖZ³

¹Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

²Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

³Toros Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin

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

Geliş Tarihi: 26.11.2018

Kabul Tarihi: 28.12.2018

Özet

Bir dolusavak modelinde yan duvarların akım alanına olan etkisini belirlemek için iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) sayısal modelleme sonuçları çalışmada ele alınan durumlar içinde en yüksek eğimde en büyük debi durumunda deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Dolusavak akımını idare eden temel denklemler Sonlu Hacimler Yöntemi ile ve Realizable k-ε türbülans modeli ile 2B ve 3B sayısal olarak çözülmüştür. Kanal boyunca deneysel olarak elde edilen 13 farklı hız alanı 2B ve 3B sayısal model sonuçları karşılaştırılmıştır. Şüt kanalı orta ekseninde akım alanına yan duvarların etkisinin Ortalama Karesel Hata parametresi bakımından düşük olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Dolusavak Akımı, Sayısal Modelleme, Türbülans Modelleri, Yan Duvar Etkisi

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

Abstract

Two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) numerical modeling results are compared with experimental results in the case of the highest flow at the highest slope to determine the effect of side walls on the flow area in a chute spillway. The governing equations are solved by Finite Volumes Method and 2D and 3D numerical model with Realizable k-ε turbulence model. 13 different velocity fields 2D and 3D numerical model results are compared experimentally. It is determined that the effect of side walls to the flow area in the central axis of the chute channel is low in terms of the Mean Square Error.

Keywords: Spillway Flow, Numerical Model, Turbulence Models, Side Wall Effect

1. Giriş

Baraj dolusavağı, baraj haznesine gelen taşkın sularını güvenli bir şekilde baraj mansabına aktarmaya yarayan baraj elemanıdır. Dolusavak, genellikle, haznede yükselen fazla suyun bir açık kanal yardımı ile tekrar akarsuya akıtılmasını sağlayacak şekilde tasarlanır. Yeterli kapasiteye sahip bir dolusavak sistemi ve sonunda yer alan enerji kırıcı yapının hidrolik tasarımı, deneysel verilere dayalı geleneksel yöntemlerle başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Tasarım amaçlı çalışmalar, gerektiğinde, fiziksel model deneyleriyle de desteklenmektedir. Ancak, bu tür çalışmalar zaman alıcı olduğu gibi proje maliyetini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, dolusavak

tasarımında performans belirleyici nitelikte daha hızlı, ekonomik ve güvenli hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duyulduğu söylenebilir [1]. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kapsamında geliştirilen yöntemler, akışkanların değişik koşullar altındaki hareketlerinin analizini yapmayı amaçlamaktadır. Bu yöntemlerde akışkan hareketini idare eden üç temel denklem, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri esas alınır ve bu denklemler sayısal olarak çözümlenerek akıma ait basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ve bu parametrelere bağlı olarak birçok değişkene ulaşılır [1].

HAD yöntemleri, günümüzde, araştırma-geliştirme ve yeni ürünlerin tasarımında yaygın olarak

kullanılmaktadır. Son yıllardaki Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerinin dayandığı teorilerdeki ve bilgisayar yazılımlarındaki gelişmeler, yüksek türbülanslı akımların ve dinamik sistemlerin sayısal olarak incelenmesine ve sanal ortamda çözülebilmesine olanak sağlamıştır. Buna paralel olarak, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerine dayalı ticari yazılımların çoğalmasa, İnşaat Mühendisliği çalışma alanında yer alan su yapılarının tasarımında, önemli kolaylıklar sağlamıştır [1]. Bhajantri ve ark. [2], çalışmalarında sonlu hacimler yöntemi ve Büyük Girdap Benzeşimi (Large Eddy Simulation-LES) tabanlı türbülans modelini kullanarak dolusavak üzerindeki akımı sayısal olarak modellemişlerdir. Gerçek bir kapak kontrollü dolusavak üzerinde uygulanan bu model ile sayısal ve deneysel olarak bulunan hız dağılımları, basınç dağılımları ve debi katsayılarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, sayısal bulguların ölçülmüş değerlerle oldukça uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Dursun ve Öztürk [3], basamaklı ve basamaksız dolusavak mansabında oluşan enerji kırılmasını, farklı yapı ve akım koşulları altında deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. ANSYS-Fluent Paket programı yardımıyla akımı idare eden denklemler, Standart $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanarak çözülmüştür. Yapılan karşılaştırmalardan, kırılma bölgesindeki sayısal ve deneysel akım karakteristiklerinin birbirleriyle gayet uyumlu olduklarını bildirmişlerdir. Kırkgöz ve ark. [4], açık kanal içerisinde katı sınıra yakın dairesel silindir ile etkileşim halindeki iki-boyutlu türbülanslı akımın özelliklerini deneysel ve teorik olarak irdelenmişlerdir. Silindir etrafındaki akımın hız alanı, PIV tekniği ile deneysel olarak ölçülmüştür. Standart $k-\epsilon$ (SKE), Standart $k-\omega$ (SKW) ve Shear Stress Transport (SST) türbülans modellerini kullanarak üç farklı ağ yapısı için sayısal çözümler elde etmişlerdir. Sayısal ve deneysel bulguların karşılaştırılmasından, SKW ve SST türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal bulguların, SKE modeline göre deney bulgularına daha yakın olduğu sonucuna varmışlardır. Aydın ve Emiroglu [5], yan savak kapasitesini belirlemek için deneysel ve sayısal model çalışması yapmışlardır. Sayısal olarak elde ettikleri akım özelliklerini deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Ağ yapısının çözüm üzerine etkisinin araştırılması için GCI yöntemini kullanmışlar ve elde ettikleri GCInce değerlerinin %0.77 ile %7.88

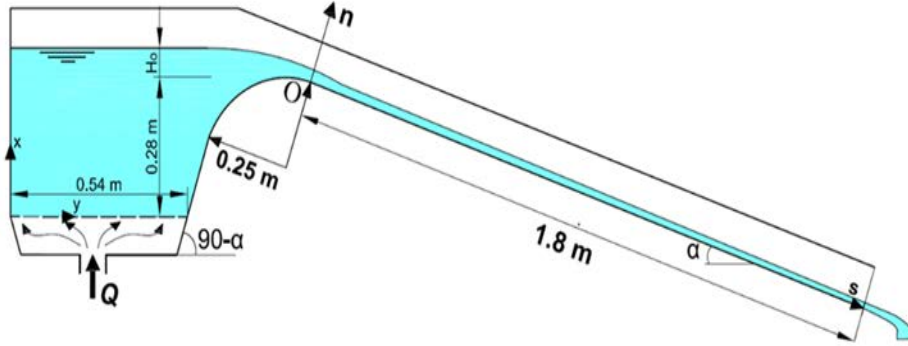
arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Şimşek ve ark. [6], eğrisel geniş başlıklı savak üzerinden geçen akımı deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Savak üzerinden geçen akımın hız alanının deneysel olarak belirlenmesinde LDA (Lazer Doppler Anemometre) ve su yüzünün belirlenmesinde limnometre kullanmışlardır. Sayısal modellemede sonlu hacimler yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS-Fluent paket programından yararlanmışlar ve 6 farklı türbülans modeli ile çözümler gerçekleştirmişlerdir. Su yüzünün belirlenmesinde akışkan hacimler (Volume of Fluid-VOF) yöntemini kullanmışlardır. Deneysel ve sayısal modelleme sonucunda elde edilen sonuçların karşılaştırılmasından, Renormalization Group $k-\epsilon$ (RNG) türbülans modelinin eğrisel geniş başlıklı savak üzerinden geçen akımın sayısal modellemesinde başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Gümüş ve ark. [7], kayar bir kapağın hemen mansabında meydana gelen serbest hidrolik sıçramayı iki farklı akım koşulu için sayısal ve deneysel olarak modellemişlerdir. Akımın hareketini idare eden temel denklemler, sonlu hacimler yöntemine dayalı ANSYS-Fluent programı yardımıyla SKE, RNG ve SST türbülans modelleri kullanılarak çözülmüştür. Su yüzü profilinin hesabında VOF yöntemi kullanılmıştır. Sayısal ve deneysel su yüzü profillerinin karşılaştırılmasından, SST türbülans modelinin su yüzü profilini belirlemede diğer türbülans modellerine göre daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, yan duvar etkisinin hız alanı üzerindeki etkisinin belirlenmesi için dolusavak şüt kanalı eğiminin en yüksek olduğu ve bu eğimde en büyük debi için üç boyutlu (3B) ve iki boyutlu (2B) olarak sayısal çözümler yapılmıştır. Dolusavak akımını idare eden temel denklemler Sonlu Hacimler Yöntemi ile sayısal olarak çözülmüş ve su yüzü profilleri Akışkan Hacimleri Yöntemi (VOF) ile hesaplanmıştır. Yan Duvar etkisinin belirlenmesi için Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneyler

Deneyler, Güzel [8] tarafından İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında Şekil 1’de görülen yuvarlak başlıklı bir dolusavak modeli üzerinde yapılmıştır. Dolusavak şüt kanalının yan duvarları ve tabanı camdan imal edilmiştir. Kanal eğimi şekilde görüldüğü gibi bir mafsal yardımıyla ayarlanabilmektedir. Dikdörtgen kesitli şüt kanalının boyutları 180x20x20 cm’dir. Suyun sirkülasyonu bir santrifüj pompa ile boyutları 100x60x50 cm olan yer haznesinden, debi ayarı ise pompa mansabındaki vana ile yapılmaktadır. Burada, sayısal hesaplama bölgesinde kullanılan x, y yatay ve düşey eksen



Şekil 1. Deney düzeneği şematik görünümü

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:

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

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

1 ve 2 denklemlerinde u_i , x_i doğrultusundaki hız bileşeni, g yer çekimi ivmesi, ρ basınç, μ dinamik viskozite, ρ akışkan yoğunluğu ve τ_{ij} türbülans (Reynolds) gerilmeleridir. Bu çalışmaya konu olan üç boyutlu akımı idare eden yukarıdaki 4 adet denklem 10 adet bilinmeyen içermektedir, bunlar: üç hız bileşeni \bar{u}_i , basınç \bar{p} ve 6 bağımsız Reynolds gerilmesidir ($-\overline{u_i u_j}$). Böylece, denklem sisteminin çözülebilmesi için türbülans gerilmelerinin

takımının yanı sıra, şüt kanalındaki bulgular, şekil üzerinde gösterilen kanal doğrultusu ve normalini esas alan s , n eksen takımına göre değerlendirilmiştir. Kanal üzerinde iki farklı eğimde ve her bir eğime ait üç farklı debide, $s=0.04, 0.14, 0.24, 0.34, 0.44, 0.64, 0.74, 0.91, 1.06, 1.21, 1.36$ ve 1.51 m kesitlerinde hız ölçümleri alınmıştır. Şüt kanalı eğiminin $\alpha=320$, akım debisinin 10.66 l/s, şüt kanalı kretinde ve şüt kanalı sonunda Froude sayısı ve Reynolds sayılarının sırasıyla $Fr_1=2.71$, $Re_1=210,700$, $Fr_2=10.04$ ve $Re_2=206,400$ olduğu akım durumunda elde edilen deneysel hız profilleri ile 2B ve 3B analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

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 (2) denklemindeki türbülans kayma gerilmeleri bünye denklemi ile, sıkışmayan akımlar için aşağıdaki gibi verilmiştir:

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

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

Denklem (3)'de 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; Realizable k-ε (RKE) türbülans modeli kullanılmıştır.

Realizable k-ε (RKE) Türbülans Modeli

SKE türbülans modelinde bulunan türbülans model sabiti $C_\mu = 0.09$ 'dur. Bu model sabitinin değeri sınır tabakasının düşük hızlı alt bölgesinde deneysel olarak elde edilmiştir. Gerçekte bu sabit farklı akış bölgelerinde değişim göstermektedir. Üstelik türbülans viskozitesinin hesabında kullanılan modelin yüksek şekil değiştirme durumlarında "geçersiz" (non-realizable) olduğu bilinmektedir. Buna göre, $Sk/\varepsilon > 3.7$ olduğunda, normal gerilme negatif olabilmekte ve hatta Reynolds gerilmelerinde Scwartz eşitsizliği ihlal edilmektedir [9]. RKE modelinde bu problemlerin önüne geçebilmek için SKE ve RNG modellerinde sabit olan C_μ katsayısı dinamik bir form almaktadır. Buna göre;

$$C_\mu = \frac{1}{A_o + A_s \frac{kU^*}{\varepsilon}} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Denklem 4'te bulunan terimler,

$$U^* = \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \quad (5)$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (6)$$

$$\Omega_{ij} = \bar{\Omega}_{ij} - \varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (7)$$

$$A_o = 4, \quad A_s = \sqrt{6}\cos\phi, \quad \phi = \frac{1}{3}\arccos(\sqrt{6}W) \quad (8)$$

$$W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{\tilde{S}^3} \quad (9)$$

$$\tilde{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $\tilde{\Omega}_{ij}$, ω_k açılal hızıyla dönmekte olan bir referans sistemine göre ortalama dönme miktarı ve S_{ij} ise şekil değiştirme hızı tansörüdür. RKE modelinde, SKE modelinden farklı olarak aşağıdaki gibi yeni bir kayıp miktarı denklemi geliştirilmiştir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} \quad (11)$$

Burada,

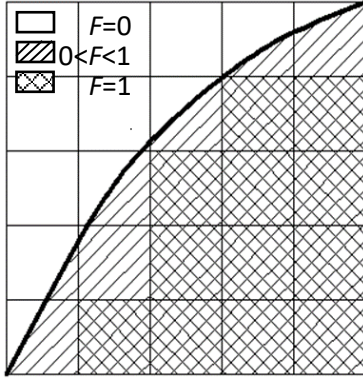
$$C_1 = \max \left(0.43; \frac{S \frac{k}{\varepsilon}}{S \frac{k}{\varepsilon} + 5} \right) \quad (12)$$

olup $C_2=1.9$ olarak verilmektedir. Görüldüğü gibi ε 'un oluşumu ve kaybı tamamen farklı bir formda ele alınmış ve oluşumu bir fonksiyona bağlanmıştır. RKE modeli de RNG modeli gibi, ivmelenen, eğrisel, sınır tabakasının ayrıldığı, ikincil akımların var olduğu akımlarda SKE modeline göre daha başarılı olduğu ifade edilmiştir [9].

2.3. Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluid-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 [10]. Bu çalışmada su-hava ara kesitinin hesabında akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid, VOF) 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 [11]. 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

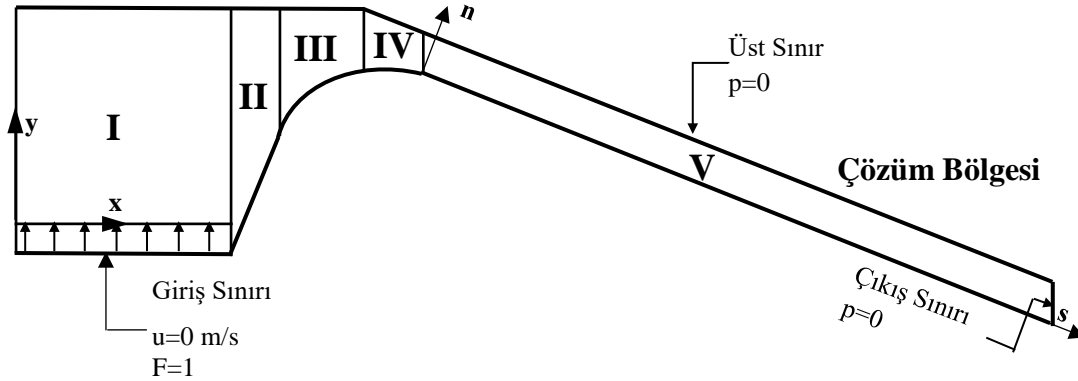
sayısal değerler, kesitteki F doluluk oranlarının sayısal değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. Ağ elemanlarının doluluk oranı

2.4. Çözüm Bölgesinin Sınır Şartları

Şekil 3, dolusavak üzerinden geçen açık kanal akımının sayısal modeli için kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartlarını göstermektedir. x, y koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Şekilde verilen çözüm bölgesi beş alt bölgeye ayrılmış ve



Şekil 3. Sayısal çözüm bölgesi ve sınır şartları

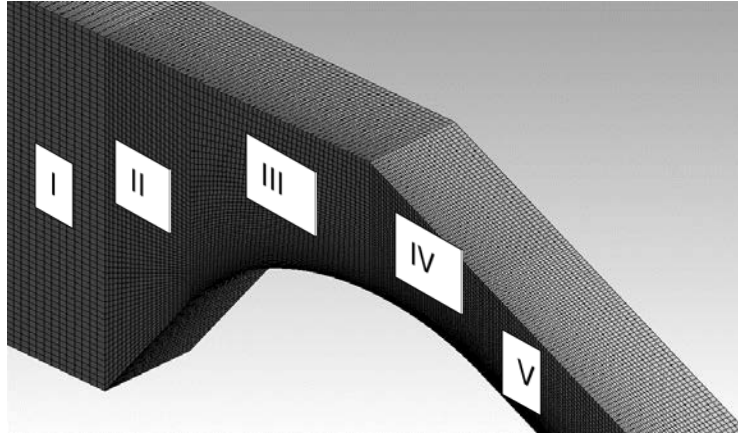
3. Bulgular ve Tartışma

Yan duvarların akım üzerinde oluşturacağı etkiler iki boyutlu modeller ile yapılan hesaplamalarda dikkate alınamaz. Bundan dolayı yan duvar etkilerinin hesaplama dahil edilmesi için sayısal modellemenin üç boyutlu yapılması gerekmektedir. Bu durumda da üç boyutlu sonlu hacimler hesaplama ağı eleman sayılarının artmasına paralel olarak hesaplama süresi de artmaktadır. Bu çalışmada yan duvarların kanal orta ekseninde

çözüm bölgesinin üst sınırı ve çıkış bölgesi sınır şartı $p=0$, kanal tabanında ve savak tabanında sıfır-hız sınır şartı, yani $u=0$, $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Giriş sınır şartı olarak düşey hız bileşeni yüksek eğime sahip akım durumu için ise sırasıyla $v=0.0987$ m/s olarak tanımlanırken yatay hız bileşeni $u=0$ olarak alınmıştır. Zamana bağlı çözüm sürecinde, başlangıç şartı olarak, $t=0$ anında boş olan çözüm bölgesinin giriş sınırında VOF yöntemi için $F=1$, 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.

hesaplanan akım hızlarını ne kadar etkilediğinin araştırılması için dolusavak modelinde z doğrultusunda yan duvara doğru sıklaştırma yapılarak kanalın yarı genişliği 40 parçaya bölünmüş ve Şekil 4'de görülen üç boyutlu bir yapıya dönüştürülmüştür. Yapılan üç boyutlu sayısal hesaplama bulguları iki boyutlu modelden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. Sayısal modelde kullanılan üç boyutlu hesaplama ağı

Model ve yöntem başarısının belirlenmesi ve buna bağlı olarak doğrulanması bağlamında hesaplanan ve deneysel hız profillerinin niceliksel karşılaştırılmasında Ortalama Karesel Hata (OKH) değeri ölçüt olarak kullanılmıştır:

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (u_d - u_h)^2 \quad (13)$$

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

Tablo 1. İki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) modellere ait OKH değerleri

s (m)	OKH (cm ² /s ²)		Rölatif fark (%)
	2B	3B	
0.04	0.995	0.988	0.709
0.14	0.871	0.864	0.810
0.24	0.841	0.838	0.358
0.34	1.232	1.223	0.736
0.44	1.300	1.291	0.697
0.54	2.932	2.925	0.239
0.64	3.309	3.279	0.915
0.74	3.706	3.687	0.515
0.91	2.733	2.721	0.441
1.06	2.935	2.917	0.617
1.21	3.246	3.227	0.589
1.36	5.017	4.996	0.420
1.51	9.210	9.127	0.909
Ortalama	2.95	2.93	0.641

13 farklı kesitte RKE türbülans modeli kullanılarak, iki boyutlu (2B) ve üç boyutlu (3B) modeller ile elde edilmiş sayısal ve deneysel hızların Denklem 13 kullanılarak hesaplanan OKH değerleri Tablo 1'de görülmektedir. Burada, 3B model kullanılarak elde edilmiş hız sonuçlarının deneylere 2B modele göre daha fazla yakınsadığı görülmektedir. Ancak iki model arasında

oluşan rölatif farkın %2'den az ve 3B modelin 2B modele kıyasla yaklaşık olarak 10 kat daha fazla hesaplama süresi gerektirmesi nedeniyle bu çalışmadaki sayısal hesaplamalarda 2B modelleme esas alınması önerilmiştir.

4. Sonuç

Yan duvar etkisinin akım alanı üzerindeki etkisinin belirlenmesi için dolusavak şüt kanalı eğiminin en yüksek olduğu ve bu eğimde en büyük debi durumunda üç boyutlu (3B) ve iki boyutlu (2B) olarak sayısal çözümlerin bulguları karşılaştırılmıştır. Dolusavak akımını idare eden temel denklemler, Sonlu Hacimler Yöntemi ile sayısal olarak çözülmüş ve su yüzünün hesaplanmasında Akışkan Hacimleri Yöntemi kullanılmıştır. Türbülans kapatma modeli olarak Realizable k-ε (RKE) modeli kullanılarak yapılan çözümler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. RKE modeli ile elde edilen 2B ve 3B karşılaştırma sonuçlarından, dolusavak akımında kanal orta ekseninde ölçülen hız profilleri üzerinde 2B ve 3B sayısal çözümler arasındaki farkın %2'den küçük olması nedeniyle, yan duvar etkisinin sınırlı olacağı belirlenmiştir. Çözümün açısından daha fazla zaman ve bilgisayar donanımı gerektiren 3B modellemenin yerine 2B boyutlu modellemenin yapılmasının uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Gümüş, V. 2014. Dolusavak akımının sayısal modellemesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye. 129 sayfa.
- [2] Bhajantri, M. R., Eldho, T. I. ve Deolalikar, P. B. 2007. Numerical modelling of turbulent flow through spillway with gated operation. International Journal

- for Numerical Methods in Engineering, 72(2): 221-243.
- [3] Dursun, Ö. F. ve Öztürk, M. 2009. Basamaklı dolusavakların akımın enerjisini sönmleme özelliğinin sayısal analizi. e-Journal of New World Sciences Academy, 4(2): 165-175.
- [4] Kırkgöz, M. S., Öner, A. A. ve Aköz, M. S. 2009. Numerical modeling of interaction of a current with a circular cylinder near a rigid bed. Advances in Engineering Software, 40(11): 1191-1199.
- [5] Aydın, M. C. ve Emiroğlu, M. E. 2013. Determination of capacity of labyrinth side weir by CFD. Flow Measurement and Instrumentation, 29(1): 1-8.
- [6] Şimşek, O., Aköz, M.S. ve Soydan, N.G. 2016. Numerical validation of open channel flow over a curvilinear broad-crested weir. Progress in Computational Fluid Dynamics, 16(6), 364-378.
- [7] Gumus, V., Akoz, M. S., Simsek, O., Soydan, N. G. and Kirkgoz, M. S. 2012. Experimental and numerical modeling of free hydraulic jump downstream of a sluice gate. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 October 2012, Ankara.
- [8] Güzel, H. 1991. Baraj Dolusavak Kanalında Enerji Kaybının İncelenmesi. Yüksek Lisans Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi Adana.
- [9] Shih, T.H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., and Zhu, J. 1995. A new k-ε eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. Computers & Fluids. 24(3):227-238.
- [10] Hirt, C.W. and Nichols, B.D. 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. Journal of Computational Physics. 39(1): 201-225.
- [11] ANSYS. 2012. FLUENT Theory Guide. USA: ANSYS Inc.