

H2 SU YÜZÜ PROFİLİNE SAHİP AÇIK KANAL AKIMININ SAYISAL MODELLEMESİ

NUMERICAL MODELING OF OPEN CHANNEL FLOW WITH H2 WATER SURFACE PROFILES

İsmail AYHAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat
Mühendisliği Anabilim Dalı

Oğuz ŞİMŞEK

Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Veysel GÜMÜŞ

Doç. Dr., Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yavuz AVŞAROĞLU

Doktora Öğrencisi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat
Mühendisliği Anabilim Dalı

Özet

Açık kanal akımlarında, akım koşullarına bağlı olarak 12 farklı su yüzü profili oluşmaktadır. Su yüzü profilleri, memba ve mansap su derinlikleri, taban eğimi ve etkileşime girilen yapının geometrik özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Akım içerisinde herhangi bir yapı bulunmaksızın ölçülen su derinliğinin, kritik akım durumunda oluşan kritik su derinliği ile olan ilişkisi akım profillerinin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Farklı su yüzü profillerine sahip açık kanal akımları, birçok araştırmacı tarafından deneysel çalışmalarla oldukça detaylı incelenmiştir. Son yıllarda teknolojiye meydana gelen ilerlemelerle, hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak akımı idare eden temel denklemlerin çözümü mümkün olabilmektedir. Deneysel modellere kıyasla daha ekonomik olan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri, hidrolik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, H2 tipi su yüzü profiline sahip açık kanal akımının sayısal çözümleri farklı eşik yüksekliği ve akım durumunda yapılmıştır. Sayısal modellemelerde türbülans kayma gerilmesinin hesaplanmasında Re-Normalization Group (RNG) modeli, su-hava arakesitinin belirlenmesinde ise akışkan hacimleri (Volume of Fluids-VOF) yöntemi kullanılmıştır. Literatürde bulunan deneysel ölçümler ile sayısal model sonuçları karşılaştırılmıştır. Sayısal modelin su yüzünü belirlemede özellikle H2 profilin olduğu düşü bölgesinde başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akışkan Hacimleri Yöntemi, Sayısal Model, Su Yüzü Profilleri

Abstract

In open channel flows, 12 different surface profiles are formed depending on the flow conditions. The occur of water surface profiles varies depending on the upstream and downstream water depths, bed slope and the geometric characteristics of the interacted structure. The relation of the

measured water depth without any structure with the critical water depth, formed in situation of critical flow, are used in the classification of the flow profiles. Open channel flows with different water surface profiles have been investigated experimentally in detail by researchers. Because of advances in technology in recent years, it is possible to solve governing equations by computational fluid dynamics methods. Computational fluid dynamics methods, which are more economical than experimental models, are frequently used in solving hydraulic problems. In this study, numerical solutions of open channel flow with different water surface profiles are calculated. The turbulence shear stress in numerical modeling is calculated by using the Re-Normalization Group (RNG) model and the water-air intersection is determined by using the Volume of Fluids (VOF) method. Experimental measurements in the literature and numerical model results are compared. The numerical model is found to be successful in determining the water surface, especially in the drop region where H2 profile is formed.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD), Volume of Fluid (VOF), Numerical Model, Water Surface Profiles

1. Giriş

Akımın ıslak kesitinin tamamen katı sınır ile çevrelenmediği, serbest yüzeyli ve atmosfer basıncına maruz kalan akımlar, açık kanal akımları olarak adlandırılır. Serbest yüzeye sahip bu akımlar, doğal akarsu ve deniz akımları ile yapay kanallar olarak karşımıza çıkmaktadır. Akım zamana bağlı değişmiyorsa düzenli, değişmesi durumunda ise değişken akım olarak, yerden bağımsız ise üniform, yer bağlı akım profili değişiyorsa üniform olmayan akım olarak değerlendirilir. Açık kanal akımlarında oluşan farklı su yüzü profilleri, mevcut kanal tabanı eğiminin (S) kanal tabanının normal eğimine (S_n) göre durumuna göre, mevcut su derinliği (h) ve normal su derinliğinin (h_n), kritik su derinliğine (h_c =Froude sayısının 1 olduğu kesitteki su derinliği) göre durumuna göre 12 farklı şekilde oluşmaktadır. Bu akım profillerine sahip akımların doğru modellenmesi etkileşim halinde olan yapının tasarımında önemlidir.

Farklı araştırmacılar tarafından deneysel ve ampirik denklemler ile farklı su yüzü profilleri incelenmiştir. Molinas ve Yang (1985), hidrolik sıçramanın su yüzü profilini elde etmek için enerji ve momentum denklemlerinden faydalanan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin farklı kanal eğiminde de kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Modelin kullanılmasında kontrol kesitinin bir göl, savak, kapak veya doğal akarsu kesiti olabileceğini ve yük kaybı hesabı için Manning, Chezy veya Darcy-Weisbach denklemlerinden birinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Modelin başarısını göstermek adına farklı örneklerle ait su yüzü profilleri elde edilmiştir. Birsoy (2002), bileşik kanallarda su yüzeyi profillerini belirlemek amacıyla bir bileşik kanal Froude sayısı tanımlayıp enerji ve momentum eşitlikleri ile birleştirmiştir. Bilgisayar programı (CCWASP) hesaplamalar için bir kullanmışlardır. Laboratuvar ortamında M2 profili oluşan akım şartlarını geliştirdikleri programı doğrulamak amacıyla deneysel ölçüm yapmıştır. Sonuçları karşılaştırılmasından, program sonuçlarının deney sonuçlarına yakın ancak kullanılan yöntemle göre daha yüksek su yüzü profilleri elde edildiğini görmüştür. Örsel (2002), açık kanal içerisine eşik yerleştirerek kritik altı açık kanal akımlarında yerel enerji kayıplarını ele almıştır. Farklı eşik geometrisinin ve akım özelliklerinin yerel kayıplar üzerindeki etkisini fiziksel model çalışmalarıyla araştırmıştır. Yerel enerji kaybının hesabında kullanılmak üzere içerisinde Froude

sayısı ve bağıl eşik yüksekliğinin yer aldığı formüller geliştirmiştir. Yerel kayıp katsayılarının farklı eşikler için elde etmiş ve bunların pratikte kullanılması için değerler önermiştir.

Bunun yanında bilgisayar teknolojisinde meydana gelen gelişmelere paralel olarak akımı idare eden temel denklemlerin çözümünde kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinin çözümü mümkün hale gelmiştir. Fiziksel model deneylerine kıyasla daha az insan gücüne ihtiyaç duyan sayısal yazılımlar, akım ile ilgili daha fazla detayın elde edilmesine olanak sunmakta ve modelin tekrarlanması gerektiğinde kurulum maliyeti olarak fiziksel modellere kıyasla daha az zaman gerektirmektedir. Bu avantajlara sahip olan sayısal modellemeler hidrolik alanında oldukça sık kullanılmaktadır (Şimşek ve ark. (2011), Şimşek ve ark. (2018), Soydan ve ark. (2012)).

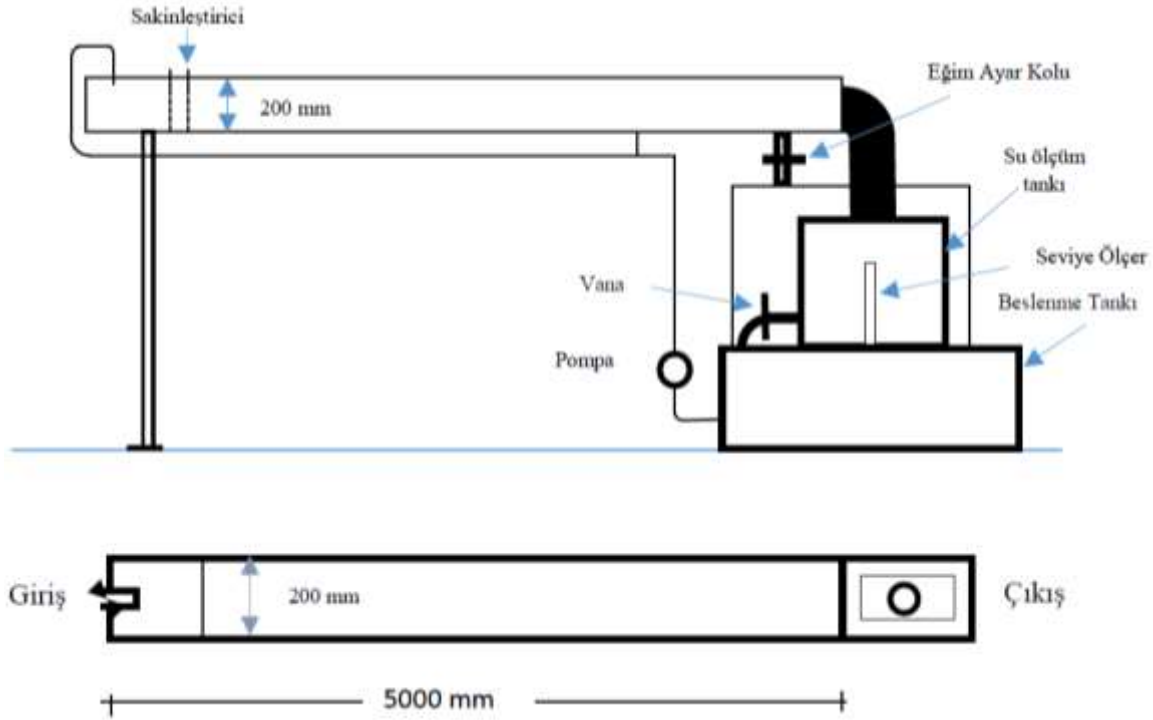
Bu çalışmada, Yerdelen ve Özyaman (2016) tarafından yapılan H2 su yüzeyi profillerine sahip açık kanal akımlarının sayısal modellemesi yapılmıştır. Deneysel verilerde elde edilen H2 tip su yüzü profili için deneyler ile aynı akım koşullarında sayısal modelleme yapılmıştır. Akımı idare eden temel denklemler ANSYS- Fluent paket programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Su yüzü profilinin sayısal olarak belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yönteminden (Volume of Fluid-VOF) kullanılmıştır. H2 tip su yüzü profili için deneysel ve sayısal model sonuçları karşılaştırılmış ve sayısal modelin su yüzünü belirlemedeki başarısı değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

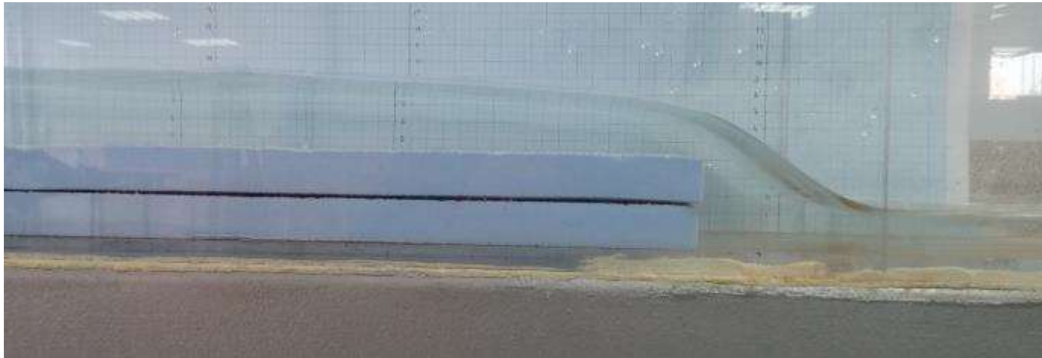
2.1. Deneyler

Deneyler, Yerdelen ve Özyaman (2016) tarafından, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki, 5 m uzunluğunda, 0,18 m genişliğinde ve 0,20 m derinliğinde, yan ve alt duvarları plexiglasstan imal edilmiş dikdörtgen kesitli açık kanalda yapılmıştır (Şekil 1). Deneyler, küçük debi $Q_1=0,5$ lt/s, orta debi $Q_2=1,5$ lt/s, büyük debi $Q_3=2,4$ lt/s akım durumlarında gerçekleştirilmiştir (Yerdelen ve Özyaman, 2016).

Araştırmacılar tarafından açık kanal içerisinde H tipi su yüzü profillerini gözlemleyebilmek için nivo ve metre yardımıyla kanal eğimi 0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğimin sıfır olması sağlandıktan sonra H profillerinin oluşması için açık kanal içerisine, XPS'den her biri 125x18x1,9 cm boyutlarında parçalar kesilerek üç farklı yükseklikte eşikler oluşturulmuş ve farklı eşik yüksekliklerinin H2 profil üzerine etkileri belirlenmiştir (Şekil 2). Bu parçalar üst üste konularak her bir debi için eşik yüksekliği (e) 1,9 cm, 3,8 cm, 5,7 cm olmak üzere üç farklı düşü yüksekliği oluşturulmuştur. 9 farklı durumda H2 profilini oluşturulmuş ve deneysel su yüzü profilleri elde edilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği (Yerdelen ve Özyaman, 2016)



Şekil 2. Yapılan deney görüntüsü (e=38 cm)

2.2. Sayısal Modelleme

Üç-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı açık kanal akımının hareketini idare eden temel denklemler, kütle ve momentumun korunumu (Reynolds-ortalımlı 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, p 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 ($-\rho \overline{u'_i u'_j}$). 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 (2) denklemindeki türbülans kayma gerilmeleri bünye denklemi ile, sıkışmayan akımlar için aşağıdaki gibi verilmiştir:

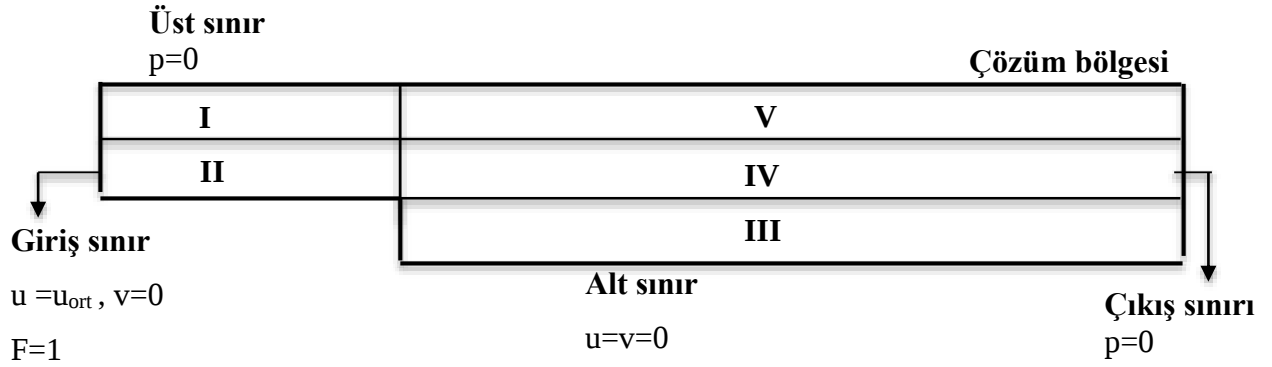
$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

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 k- ϵ tabanlı Renormalization Group k- ϵ (RNG) türbülans modeli kullanılmıştır. RNG türbülans modeli Yakhot ve Orszag (1986) tarafından geliştirilmiş Yakhot ve ark. (1992), iki denklemlilik bir model olup esas itibarıyla Navier-Stokes denklemlerinden renormalization group teorisi kullanılarak elde edilmiştir. Bu modelde k ve ϵ için transport denklemleri Denklem (4) ve (5)'deki gibi yazılabilir. RNG modelinin, Standart k- ϵ (SKE) modeline göre temel fark, sabitlerin farklı olması ve ilave terimlerin gelmesidir.

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 akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid, VOF) kullanılmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). 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 (ANSYS, 2012).

Şekil 4'te sayısal modellemede kullanılan çözüm bölgesi, başlangıç ve sınır şartlarının yanında hesaplama ağının alt bölgeleri verilmiştir. Çözüm bölgesi 5 alt bölgeye ayrılarak sayısal modellemede kullanılacak çözüm ağının dikkörtgen elemanlardan oluşması sağlanmıştır. Kullanılan koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. 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. Üç farklı akım durumunda sayısal modelde giriş sınır şartı olarak yatay hız bileşeni için deneysel verilerden elde edilen 3 farklı hız değeri 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.

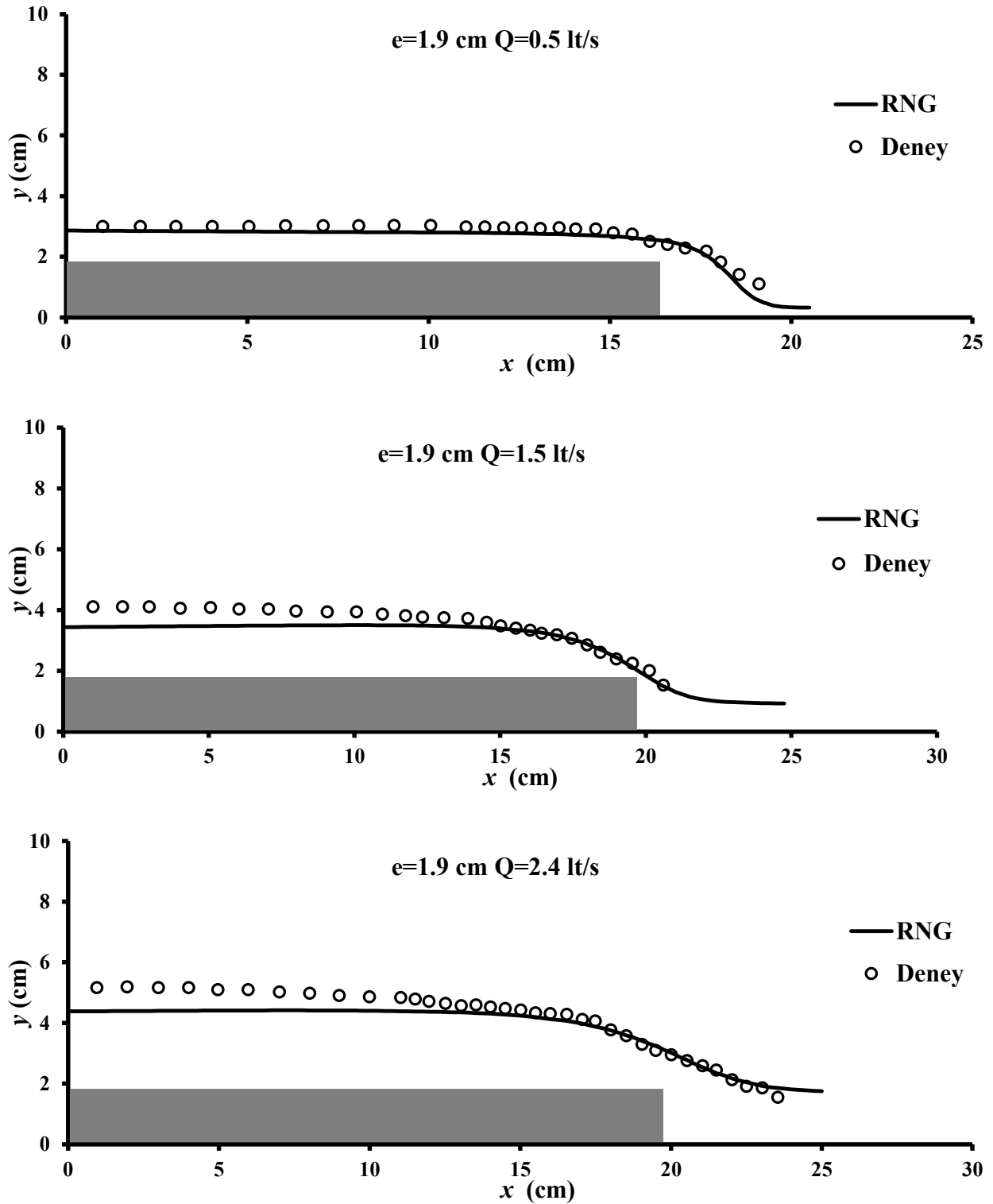


Şekil 4. Çözüm bölgesi, başlangıç ve sınır şartları, alt bölgeler

Sayısal modellemede kullanılan tüm türbülans modelleri için zaman adımı değişken olarak seçilmiş courant sayısının maksimum 2 olacak şekilde zaman adımı program tarafından hesaplanmıştır.

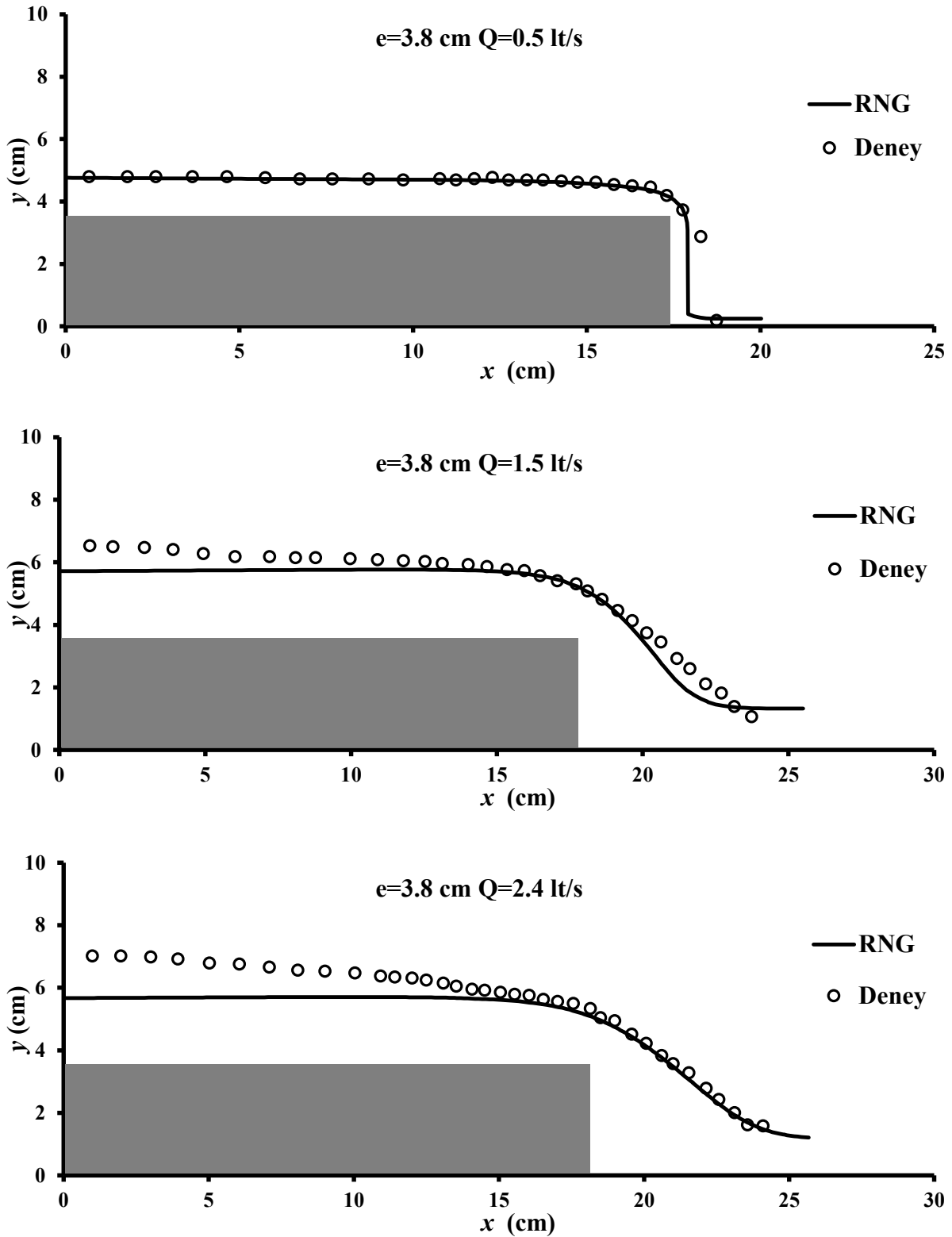
3. Bulgular

Yerdelen ve Özyaman (2016) tarafından deneysel olarak elde edilen H2 profillerinin sayısal model sonuçları ile karşılaştırılması eşik yüksekliği (e) 1.9, 3.8 ve 5.7 cm durumlarında farklı debiler için Şekil 5, 6 ve 7’de için sırasıyla verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, küçük debi durumunda elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Eşik yüksekliğinin aynı olduğu durumda (e=1.9 cm), debinin artmasıyla deneysel ve sayısal olarak elde edilen su yüzü profilleri arasındaki farkın arttığı görülmektedir. H2 profilin olduğu düşü bölgesinde tüm akım durumları için RNG türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleri deneyler ile tamamen uyum içerisinde olduğu söylenebilir.



Şekil 5. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması ($e = 1.9$ cm)

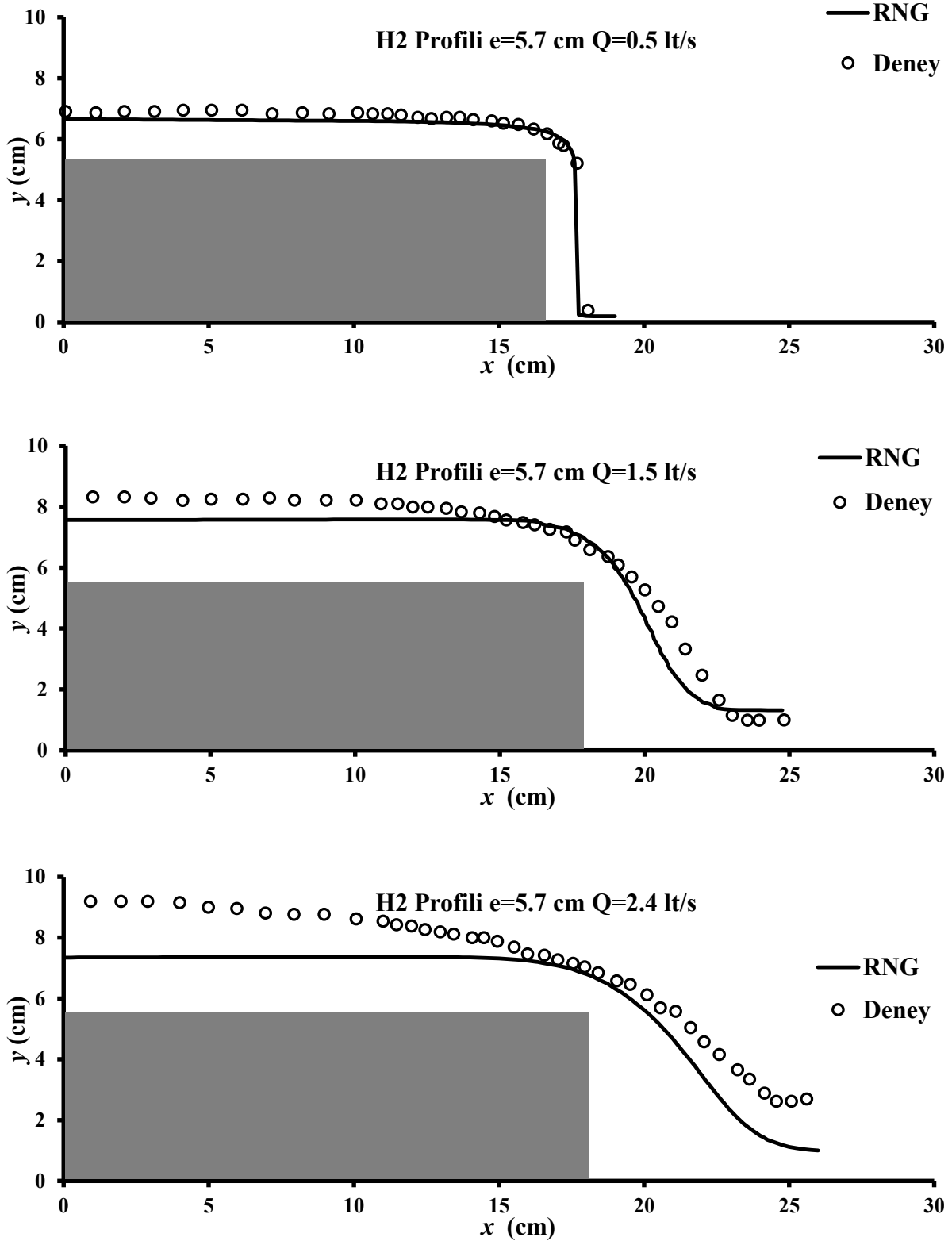
Farklı debi durumlarında, eşik yüksekliğinin 3.8 cm olduğu durumda elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 6’da verilmiştir. $Q = 0.5$ l/s durumda deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olmasına karşılık debinin artmasıyla birlikte düşü bölgesi (H2) profilinin olduğu bölge dışında kalan bölgede ($x = 0$ -15 cm arasında) deneysel ve sayısal su yüzü profilleri arasında farklılığın bulunduğu görülmektedir.



Şekil 6. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması ($e=3.8$ cm)

Şekil 7’de, eşik yüksekliğinin 5.7 cm olduğu durumda, deneysel ve RNG türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profillerinin grafiksel karşılaştırılması sunulmuştur. Diğer eşik yüksekliklerine benzer olarak debinin artmasıyla serbest su yüzü profilleri arasındaki uyumun azaldığı görülmektedir. Akım debisinin 0.5 ve 1.5 l/s olduğu durumda deneysel ve

sayısal su yüzü profilleri arasındaki uyum debinin 2.4 lt/s olduğu duruma kıyasla daha fazladır. Eşik yüksekliğinin ve debinin artmasıyla su yüzü profilleri arasındaki uyumun azaldığı açıkça görülmektedir. Ele alınan farklı eşik yüksekliği ve debi durumunda, RNG türbülans modelinin H2 profilinin belirlenmesinde başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması (e=5.7 cm)

5. Sonuç

Yerdelen ve Özyaman (2016) tarafından deneysel olarak elde edilen H2 profiline sahip açık kanal akımının su yüzü profili, farklı debi ve eşik yüksekliği durumunda sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede, sonlu hacimler yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS Fluent paket programı kullanılarak akımı idare eden temel denklemler RNG türbülans modeliyle çözülmüştür. Su hava arakesitinin belirlenmesinde akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluids-VOF) kullanılmıştır. Akım çizgilerinin eğriselliğini ve ayrılmasının dikkate alındığı şekil değiştirme tensörünü içinde barındıran Renormalization Group k- ϵ türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleri deneysel profiller ile karşılaştırılmıştır. H2 profilin olduğu eşik düşü bölgesinde, RNG türbülans modeli açık kanal akımının sayısal olarak modellenmesinde oldukça başarılı olmuştur. H2 profilin öncesinde ve sonrasındaki bölgede ise aynı başarıyı gösterememiştir.

Kaynaklar

Molinas, A., Yang, C.T. 1985. Generalized Water Surface Profile Computations. Journal of Hydraulic Engineering. 111, 381- 397.

Birsoy, O. 2002. Water Surface Profiles in Compound Channels. Yüksek Lisans Tezi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Örsel, S.İ. 2002. Local Losses at a Step in SubCritical Open Channel Flow. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi.

Yardelen, C., ve Özyaman, C. 2016. Açık kanallarda debi ve eşik yüksekliği değişiminin su yüzeyi profillerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, DSİ Teknik Bülteni. (122), 1-12.

Öztürkmen, G. Açık Kanallarda Su Yüzü Profilinin Farklı Koşullar Altında Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 2008.

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.

Soydan, N. G., Aköz, M. S., Şimşek, O., Gümüş, V. 2012. Trapez Kesitli Geniş Başlıklı Savak Akımının ke Tabanlı Türbülans Modelleri ile Sayısal Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 27(2), 47-58.

Şimşek, O., Aköz, M. S., Soydan, N. G., Gümüş, V. 2018. Dolusavak Mansabında Oluşan Hidrolik Sıçramanın Su Yüzü Profilinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi. 3(3), 31-37.

Yakhot, V. ve Orszag, S. A. 1986. Renormalization-group analysis of turbulence. Physical review letters. 57(14): 1722-1724.

Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B. ve Speziale, C. G. 1992. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. Physics of fluids a-fluid Dynamics. 4(7): 1510-1520.

ANSYS. 2012. FLUENT Theory Guide. USA: ANSYS Inc.

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.