

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SERBEST HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL
MODELLEMESİ**

Mehmet PARMAKSIZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SERBEST HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL
MODELLEMESİ**

Mehmet PARMAKSIZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ danışmanlığında Mehmet PARMAKSIZ'ın hazırladığı “Serbest Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellemesi” konulu bu çalışma 24/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ

Üye : Prof. Dr. Kasım YENİGÜN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ŞİMŞEK

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAP Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 19118

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
3.2. Deneyler	10
3.3. Yöntem	13
3.3.1. Temel denklemler	13
3.3.2. Türbülans kapatma modelleri	13
3.3.2.1. Standart k- ϵ (SKE)	14
3.3.2.2. Renormalization group k- ϵ modeli (RNG)	14
3.3.2.3. Kayma gerilmesi taşınımı (shear stress transport-SST) türbülans modeli	15
3.3.2.4. Reynolds gerilme modeli (reynolds stress model-RSM)	15
3.3.3. Ağ yakınsama indeksi (GCI)	16
3.2.4. Akışkan hacimler yöntemi (volume of fluid-VOF)	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	18
4.1. Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları	18
4.2. Ağ Yapısının Belirlenmesi	18
4.3. Sayısal Modelleme	20
4.3.1. Durum 1'e ($Fr_1=2.54$) ait bulgular	21
4.3.1.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=2.54$)	21
4.3.1.2. Hız profilleri ($Fr_1=2.54$)	22
4.3.1.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=2.54$)	30
4.3.1.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=2.54$)	32
4.3.2. Durum 2'ye ($Fr_1=3.29$) ait bulgular	33
4.3.2.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=3.29$)	33
4.3.2.2. Hız profilleri ($Fr_1=3.29$)	35
4.3.2.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=3.29$)	43
4.3.2.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=3.29$)	45
4.3.3. Durum 3'e ($Fr_1=4.31$) ait bulgular	46
4.3.3.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=4.31$)	46
4.3.3.2. Hız profilleri ($Fr_1=4.31$)	47
4.3.3.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=4.31$)	55
4.3.3.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=4.31$)	57
4.3.4. Durum 4'e ($Fr_1=6.77$) ait bulgular	58
4.3.4.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=6.77$)	58
4.3.4.2. Hız profilleri ($Fr_1=6.77$)	59
4.3.4.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=6.77$)	67
4.3.4.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=6.77$)	69
4.3.5. Enerji kayıpları	70
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	76

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Serbest Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellemesi

Mehmet PARMAKSIZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Yıl: 2019, Sayfa: 77

Bu tez çalışmasında laboratuvar ortamında farklı akım özelliklerine sahip hidrolik sıçramaların karakteristikleri deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen deneysel bulgular sonlu hacimler yöntemine dayalı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ile sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede türbülansın tanımlanması için Standart $k-\epsilon$ (SKE), Renormalizasyon Group $k-\epsilon$ (RNG), Shear Stress Transport $k-\omega$ (SST) ve Reynold Stress Modelleri (RSM), serbest su yüzünün belirlenmesinde ise Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluids-VOF) yöntemi kullanılmıştır. Ağ hassasiyetinin uygunluğu için de ağ yakınsama indeksi yöntemi ile belirlenmiştir. Buna göre ağ yapısından bağımsızlaştırılmış sayısal sonuçlara göre serbest su yüzünü belirlemede ve sıçrama ile meydana gelen enerji kaybını belirlemede en başarılı model SKE olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Serbest hidrolik sıçrama, türbülans modelleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), açık kanal akımları

ABSTRACT

MSc Thesis

Experimental and Numerical Modeling of Free Hydraulic Jump

Mehmet PARMAKSIZ

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Year: 2019, Page: 77**

In this thesis, the characteristics of hydraulic jumps having different flow characteristics in the laboratory are experimentally measured and the obtained experimental results are compared with numerically model, Computational Fluid Dynamics (HAD) methods based on finite volume method. Standard k- ϵ (SKE), Renormalization Group k- ϵ (RNG), Shear Stress Transport k- ω (SST) and Reynold Stress Models (RSM) are used for the identification of turbulence in numerical modeling, and Volume of Fluids (VOF) method is used for determination of free surface profile. Grid convergence index method is also used for the suitability of mesh density. According to the numerical results, independent of the mesh structure, SKE model is found most successful model to determine the free surface and the energy loss by jump.

KEYWORDS: Free hydraulic jump, turbulence models, computational fluid dynamics (CFD), open channel flows

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunun belirlenmesinde ve hazırlanmasında bana rehberlik eden, yardımda bulunan ve akademik gelişimime katkı sağlayan danışman hocam sayın Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ'e, ayrıca tezin her aşamasında destek sağlayan sayın Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ŞİMŞEK'e teşekkür ederim. Bunun yanında, tezin deneyleri ve yazımı sürecinde desteklerini esirgemeyen İnş. Müh. İ. Halil İFŞAAT, İnş. Müh. Alaattin SEVEN, İnş. Yük. Müh. Yavuz AVŞAROĞLU ve Öğr. Gör. Ahmet Erhan EREN'e, teşekkür ediyorum.

Ayrıca eşim Öğr. Gör. Hatice PARMAKSIZ'a ve oğlum Yusuf Ziya'ya bu süreç boyunca verdikleri destek, gösterdikleri sabır ve her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Atatürk Barajı.....	1
Şekil 1.2. Dolusavak yapısı (A- Mercier Barajı (Kanada), B-Atatürk Barajı)	2
Şekil 1.3. Hidrolik sıçrama (20 Mayıs 2009'da Avustralya Brisbane'de sel baskını sırasında meydana gelen hidrolik sıçrama, Akış yönü soldan sağa)	3
Şekil 3.1. Hidrolik sıçramada derinlik ile özgül enerji ve özgül kuvvet değişimi.....	9
Şekil 3.2. Hidrolik sıçramanın türleri	10
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan açık kanal modeli	11
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan cihazlar (a) Limnometre, (b) Hız kontrol cihazı, (c) Elektromanyetik debimetre.....	11
Şekil 3.5. Deney düzeneğinin şematik görünümü	12
Şekil 3.6. Ağ elemanlarının doluluk oranları	17
Şekil 4.1. Sayısal çözüm bölgesi ve sınır şartları	18
Şekil 4.2. Hesaplama ağı.....	19
Şekil 4.3. Durum 1 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri	22
Şekil 4.4. Durum 1 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	23
Şekil 4.5. Durum 1 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	25
Şekil 4.6. Durum 1 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	27
Şekil 4.7. Durum 1 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	29
Şekil 4.8. Durum 1 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı	31
Şekil 4.9. Durum 1 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi	32
Şekil 4.10. Durum 1 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı	33
Şekil 4.11. Durum 2 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri	34
Şekil 4.12. Durum 2 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	36
Şekil 4.13. Durum 2 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	38
Şekil 4.14. Durum 2 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	40
Şekil 4.15. Durum 2 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	42
Şekil 4.16. Durum 2 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı	44
Şekil 4.17. Durum 2 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi.....	45
Şekil 4.18. Durum 2 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı	46
Şekil 4.19. Durum 3 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri	47
Şekil 4.20. Durum 3 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri.....	48
Şekil 4.21. Durum 3 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	50
Şekil 4.22. Durum 3 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	52
Şekil 4.23. Durum 3 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	54
Şekil 4.24. Durum 3 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı	56
Şekil 4.25. Durum 3 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi.....	57
Şekil 4.26. Durum 3 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı	58
Şekil 4.27. Durum 4 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri	59
Şekil 4.28. Durum 4 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri.....	60
Şekil 4.29. Durum 4 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri.....	62
Şekil 4.30. Durum 4 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri	64
Şekil 4.31. Durum 4 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri.....	66
Şekil 4.32. Durum 4 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı	68
Şekil 4.33. Durum 4 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi.....	69
Şekil 4.34. Durum 4 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Hidrolik sıçramaya ait deney parametreleri	12
Çizelge 4.1. Farklı yoğunluktaki hesaplama ağlarına ait bölgesel eleman sayıları	20
Çizelge 4.2. $Fr_1=6.77$ için $x=207$ cm kesitinde elde edilen GCI_{ince} değerleri.....	20
Çizelge 4.3. Durum 1 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri	21
Çizelge 4.4. Durum 2 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri	34
Çizelge 4.5. Durum 3 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri	47
Çizelge 4.6. Durum 4 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri	59
Çizelge 4.7. Sıçrama nedeniyle meydana gelen deneysel ve sayısal enerji kayıpları.....	71



SİMGELER DİZİNİ

Fr	Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
GCI	Grid Convergence Index
LES	Büyük Girdap Benzetimi (Large Eddy Simulation)
OKH	Ortalama Karesel Hata
OMGH	Ortalama Mutlak Göreceli Hata
Q	Debi
Re	Reynolds sayısı
RKE	Realizeble k- ϵ türbülans modeli
RNG	Renormatization Group k- ϵ türbülans modeli
RSM	Reynolds gerilme modeli (Reynolds Stress Model) türbülans modeli
SKE	Standart k- ϵ türbülans modeli
SKW	Standart k- ω türbülans modeli
SST	Kayma gerilmesi taşınımı (Shear Stress Transport) türbülans modeli
TKE	Türbülans Kinetik Enerji
u	x yönündeki akım hızı
v	y yönündeki akım hızı
VOF	Akışkan hacimleri yöntemi
w	z yönündeki akım hızı
ν	Kinematik vizkozite

1.GİRİŞ

Su yaşam için en önemli madde olup, bitkiler, hayvanlar ve insanlar, yaşamlarını sürdürmek için suyun mevcudiyetine ihtiyaç duyarlar. Dünya üzerinde yaklaşık 1.4×10^{18} m³'lük su bulunmaktadır (Berner ve Berner 2012). Gezegendeki su döngüsü, suyun buharlaşmasını, buharın atmosferdeki döngüsü, yüzeysel ve yeraltı su akışını içerir. Bu döngü boyunca, hava ve su atmosferde, deniz yüzeylerinde ve anakarada sürekli olarak etkileşime girer. Bu etkileşim, atmosferdeki azot, oksijen ve karbondioksit arasındaki dengeyi içeren gezegenin biyolojik ve kimyasal dengesi için çok önemlidir. Su döngüsü içerisinde meydana gelen etkileşim sonucunda yerküre üzerindeki su miktarı değişmez ancak meydana gelen yağışın miktarı bölgelere göre değişiklik gösterebilir.

Yağışlarda meydana gelecek aşırıliklar nehirlerin debisini arttırmakta, bu durum da taşkınlara neden olmaktadır. Meydana gelebilecek taşkınların önüne geçebilmek ve suyun depolanması için barajlar inşaa edilmektedir. Türkiye’de yapılmış en büyük baraj olan Atatürk barajı Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Atatürk Barajı

Aşırı miktarda yağışın meydana gelmesi durumunda baraj rezervuarında su seviyesi yükselmekte ve barajın taşma riski meydana gelmektedir. Bu nedenle inşaa edilen bir barajda gelecek taşkın sularının güvenli bir şekilde mansaba aktarılması amacıyla dolusavak olarak adlandırılan bir boşaltım sisteminin kurulması gerekmektedir (Şekil 1.2). Dolusavaklar, barajın üstünde, altında veya çevresinde bulunan ve taşkın sularını güvenli bir şekilde aktarmak için tasarlanan hidrolik

yapılardır. Dolusavaklar barajların en önemli emniyet yapısıdır. Birçok baraj, uygun olmayan dolusavak tasarımı veya yetersiz dolusavak kapasitesi nedeniyle yıkılmıştır (Smith 1971, Lempérière 1993). Barajlarda bulunan dolusavaklar, yaklaşım kanalı, kret, şüt kanalı ve enerji kırıcı yapılardan oluşur.



(A)

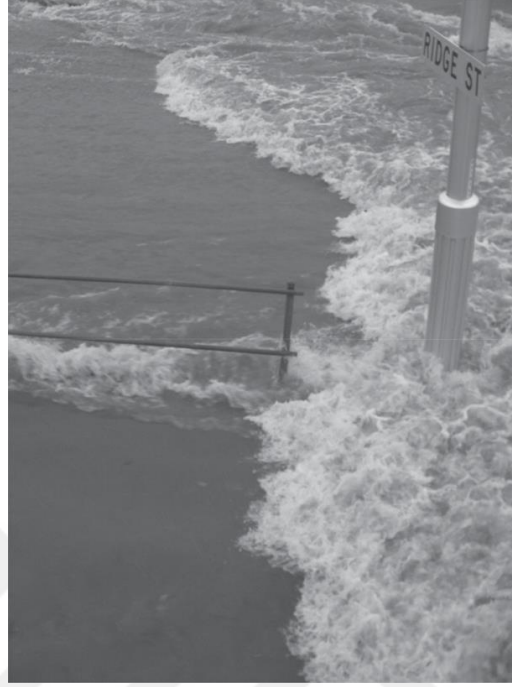


(B)

Şekil 1.2. Dolusavak yapısı (A- Mercier Barajı (Kanada), B-Atatürk Barajı)

Dolusavak mansabında yer alan enerji kırıcı yapılar ise fazla gelen suyun mansap tarafına emniyetli bir şekilde aktarılması amacıyla yapılan yapılardır. Bu yapılar ile dolusavaktan yüksek hızla çıkan suyun yüksek kinetik enerjisinin tüketilmesi ve güvenli (kritik altı akıma dönüşmüş) bir şekilde mansap tarafına aktarılması sağlanır. Suyun kinetik enerjisinin azaltılabilmesi için suyun, hidrolik mühendisliği alanında en ilginç olaylardan biri olarak kabul edilen hidrolik sıçrama sürecinden geçirilmesi gerekir (Şekil 1.3). Hidrolik sıçramada akım kritik üstü (sel rejimi) akımdan kritik altı (nehir rejimi) akıma hızlı bir geçiş sağlar ve bu geçiş esnasında meydana gelen sıçrama bölgesinde ciddi miktarda bir enerji sönmülenir.

Hidrolik sıçramanın karakteristiklerinin bilinmesi bu enerji kırıcı yapıların tasarımında ve suyun güvenle mansap tarafına aktarılması açısından önemlidir.



Şekil 1.3. Hidrolik sıçrama (20 Mayıs 2009'da Avustralya Brisbane'de sel baskını sırasında meydana gelen hidrolik sıçrama, Akış yönü soldan sağa)

Bu tez çalışması kapsamında laboratuvar ortamında farklı akım özelliklerine sahip hidrolik sıçramaların karakteristikleri deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen deneysel bulgular Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ile sayısal olarak modellenmiştir. Çalışma kapsamında, serbest hidrolik sıçramanın karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Husain D. ve ark. (1994), çalışmalarında, pozitif ve negatif basamak içeren eğimli dikdörtgen bir açık kanalda serbest hidrolik sıçrama profilini deneysel olarak ölçmüşlerdir. 15 m uzunluk, 1.37 m genişlik ve 0.62 m derinliğe sahip kanalda farklı Froude sayılarında ve kanal eğiminin %2.5, %5 ve %7 olduğu durumda toplam 440 deney yapılmıştır. Çalışmalarında, eğimli kanalda ölçülen sıçrama uzunluğunu ve derinliğini tahmin etmek için regresyon analizi yapmışlar ve sıçrama uzunluğu ve derinliği ile ilgili yeni formüller önermişlerdir.

S. Chippada ve ark. (1994) çalışmalarında, Froude sayıları 2 ve 4 arasında değişen kritik üstü akıma sahip açık kanal akımındaki hidrolik sıçrama, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanarak sayısal olarak çözmüşlerdir. Çalışmada, türbülansın tanımlanmasında k- ϵ modelleri ile Eulerian-Lagrangian modelleri kullanılmıştır. Sayısal sonuçların deneysel veriler ile kıyaslanması sonucunda, sıçrama nedeniyle meydana gelen çevrinti bölgesinin türbülans oluşumu ve yayılmasında baskın bir rol oynadığı görülmüştür.

Beirami ve Chamani (2010), çalışmalarında ogee profilili bir savak sonrası meydana gelen serbest hidrolik sıçramanın, sıçrama sonrası derinliğini ve sıçrama uzunluğunu farklı eğimlerde ölçmüşlerdir. Deneyler, 40 cm genişliğinde ve 11 m uzunluğunda bir laboratuvar kanalında, kanal eğiminin yatay, 0.025, 0.050, 0.075 ve 0.100 olduğu akım durumlarında yapılmıştır. Çalışma sonucunda, klasik hidrolik sıçramada meydana gelen enerji kaybının, kanal eğiminin negatif veya pozitif eğimlerde olduğu durumda oluşan diğer sıçrama türlerinden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Ebrahimi ve ark. (2013), çalışmalarında üçgen ve dikdörtgen pürüzlü kanalda meydana gelen hidrolik sıçramayı standart k- ϵ türbülans kapatma modelini kullanarak iki boyutlu olarak modellemişlerdir. Serbest su yüzü profili Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluids-VOF) yöntemini kullanılarak belirlenmiştir. Froude sayısı

3 ile 7 arasında değişen toplam 16 ölçüm modellenmiştir. Çalışma sonucunda, deneysel ve sayısal sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum ortaya çıkmış, ayrıca, klasik hidrolik sıçramaya göre enerji kaybı artarken sıçrama sonrası derinlik ve sıçrama uzunluğunun azaldığını belirlemişlerdir.

Gümüş ve ark. (2013), çalışmalarında kayar kapak sonrası meydana gelen batmış hidrolik sıçramanın geometrisini farklı türbülans modelleri kullanarak modellemişlerdir. Sayısal modellemede serbest su yüzünün belirlenmesinde VOF yöntemini, türbülansın modellenmesinde ise RNG k-e, SKE ve RKE k-e türbülans kapatma modellerini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda, RNG k-e modelinin diğer modellere göre serbest su yüzünü ve sıçrama geometrisinin modellemede başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Babaali ve ark. (2015) çalışmalarında, dinlendirme havuzundaki serbest su yüzü, Flow-3D yazılımıyla modellenmiştir. Modelleme sonucunda elde edilen hidrolik sıçramanın karakteristikleri deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Dinlendirme havuzu ve baraj mansabı çözüm alanı olarak değerlendirilmiş ve modellemede Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır. Türbülansın modellenmesinde standart k-e ve RNG türbülans kapatma modelleri kullanılmış ve sayısal olarak hesaplanan basınç, hız, kinetik enerji ve Froude sayısı gibi bulgular İran'da bulunan Nazloo Barajının ölçek model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, fiziksel model sonuçları ile hesaplamalı sonuçlar arasındaki korelasyonun iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Aydın (2015) çalışmasında, ana kanalın farklı yerlerine yerleştirilen eşğin bir yan-savak boşalma performansını nasıl etkilediğini incelemek için, deneysel sonuçlarla birlikte üç boyutlu (3B) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli kullanmıştır. Sayısal modellemelerde k-ε türbülans kapatma modeli ve VOF yöntemi kullanılmış ve çalışma sonucunda, uygun bir yere yerleştirilmiş bir eşğin kullanılmasının, yan savak çıkış deşarjını önemli ölçüde arttırdığını bildirmiştir.

Abdel-Mageed ve ark. (2015), çalışmalarında kanal eğiminin kayar kapak sonrası meydana gelen serbest hidrolik sıçrama karakteristikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Farklı debiler kullanılarak 2.5 uzunluk, 9cm genişlik ve 30cm derinlikli bir laboratuvar kanalında, kanal eğiminin sıçrama sonrası derinlik ve sıçrama uzunluğu üzerine etkileri değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, eğimin ve buna bağlı olarak Froud sayısının artmasıyla sıçrama uzunluğunun arttığını belirlemişlerdir.

Samir ve ark. (2015) çalışmalarında eğimli trapez bir kanaldaki hidrolik sıçramayı teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada amaç kanal eğiminin, sıçramanın sıralı derinlik oranı üzerindeki etkisi ve Froude sayısı için teorik bir ilişki önerilmiştir. Elde edilen ilişkinin daha iyi bir formülasyonunu bulmak için deneysel bir analiz de önerilmiştir. Bu sebep için beş pozitif eğim test edilmiştir. Elde edilen ilişkiler sulama hendeklerinin tasarımı için önerilmektedir.

Gümüş ve ark. (2016) çalışmalarında, kayar kapak sonrası meydana gelen batmış hidrolik sıçramanın serbest su yüzü ve hız alanlarını deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneysel koşulları ile benzer bir sayısal model oluşturulmuş ve oluşturulan bu model Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemleri ile çözülmüştür. Serbest su yüzünün belirlenmesinde VOF yöntemini kullanmışlar ve türbülansın modellenmesinde ise standart k- ϵ (SKE), renormalization group k- ϵ (RNG), realizable k- ϵ (RKE), shear stress transport k- ω (SST) ve Reynolds stress modeli (RSM) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, hız alanını ve serbest su yüzünü belirlemede RSM modelinin ele alınan diğer modellere nazaran daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır.

Bayon ve ark. (2016), çalışmalarında, serbest hidrolik sıçrama içeren düşük Reynolds sayılarına sahip akımı iki farklı ticari yazılım (OpenFOAM ve FLOW-3D) ile modellemişlerdir. Modellemede RNG k-e türbülans kapatma modelini, serbest su yüzünü belirlemede ise VOF yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada, deneysel olarak ölçülen sıçrama sonrası derinlik, sıçrama uzunluğu, ortalama hız profilleri ve serbest su yüzü parametreleri sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda,

hidrolik sıçrama yapısını belirlemede OpenFOAM başarılı olurken, sıçrama sonrası derinlik, hız profili gibi parametrelerini hesaplamada ise FLOW-3D başarılı olmuştur.

Welahettige P. ve ark. (2017), çalışmalarında, daralan bir açık kanal içerisinde meydana gelen hidrolik sıçrama yapısını incelemiştir. Modellemede ANSYS Fluent programını, serbest su yüzünün belirlenmesinde ise VOF yöntemini kullanmışlardır. Farklı açılarda yapılan deneylerde ultrasonik seviye ölçer kullanılarak ölçülen su yüzü profilleri sayısal sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, deneysel sonuçların sayısal sonuçlar ile uyumlu olduğunu, ayrıca hidrolik sıçrama pozisyonunun kanalda 100mm civarında bir değişim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Telkiran ve ark. (2019), çalışmalarında, Mersin ilinin Mut ilçesinde yer alan Dereyurt Göleti dolusavağı üzerinden geçen türbülanslı akım sayısal olarak modellenmiştir. Çalışmada modelin sayısal çözümler RANS denklemleri yapılmış, türbülansın modellenmesi için ise SKE, Modifiye k- ω (MKW), SST ve RSM modelleri kullanılmıştır. Serbest su yüzü profili VOF yöntemi ile belirlenerek elde edilen serbest su yüzü profili, standart adım yöntemiyle hesaplanan su yüzü profili ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, RSM modelinin tüm modeller arasında çok az farkla da olsa en başarılı model olduğu, ancak ele alınan tüm türbülans modellerinin dolusavak ve şüt kanalı üzerindeki akım profilini belirlemede başarılı olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Şimşek ve ark. (2019), çalışmalarında, radyal kapak kontrollü açık kanal akımının serbest su yüzü profillerini deneysel ve sayısal olarak incelenmişlerdir. Sayısal çözümlerde, RANS denklemlerine dayalı çözüm yapan RNG, SST ve RSM türbülans kapatma modellerini ve serbest su yüzü profilinin belirlenmesinde ise VOF yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, radyal kapak kontrollü açık kanal akımının su yüzü profillerini belirlemede, SST modelinin kullanılan diğer türbülans modellerine göre daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, serbest hidrolik sıçramanın karmaşık yapısı gereği sayısal olarak modellenmesi oldukça zor olduğu görülmüştür. Ancak bu

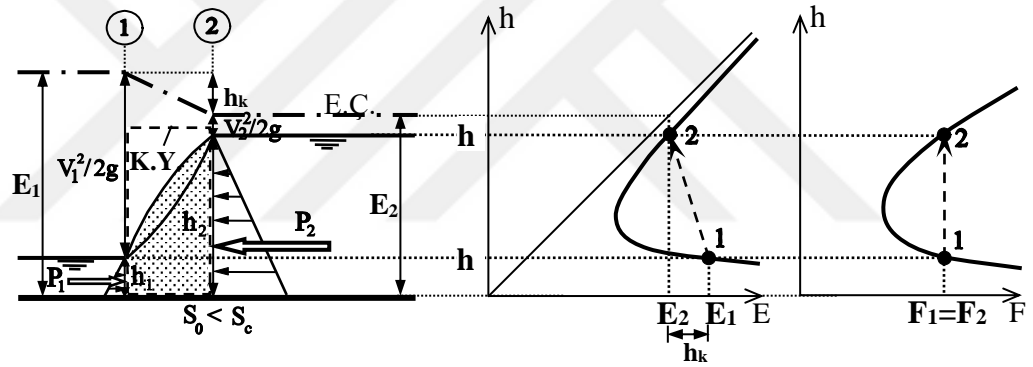
çalışma ile farklı akım koşulları (farklı Froude sayıları) sıçrama bölgesinin düzenli olmayan su yüzü, akım dengeye geldikten sonra deneysel olarak farklı zamanlarda ölçülmüş ve ölçülen bu su yüzü değerlerinin ortalaması alınarak ortalama akım profili elde edilmiş ve aynı şartlardaki sayısal çözümler ile karşılaştırılmıştır. Böylece serbest hidrolik sıçrama gibi karmaşık ve dinamik yapıya sahip olan hidrolik probleminin çözülmesi mümkün olmuştur.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Hidrolik Sıçrama

Teorik olarak, ani bir yüzey süreksizliği şeklinde ortaya çıkan ve Şekil 3.1’de görüldüğü gibi kritik-üstü rejimden kritik-altı rejime geçişi sağlayan sürece hidrolik sıçrama denir. Ancak, suyun hareket halinde olması nedeniyle, doğal ortamında bu sıçramanın, düşey bir yüzey süreksizliği yerine kanal boyunca belirli bir uzunluğa yayıldığı görülür. Hidrolik sıçramanın öncesi ve sonrasındaki su derinliklerine sırasıyla, h_1 ve h_2 derinlikleri, eşlenik derinlikler denir. Su derinliğindeki bu ani yerel değişim sırasında akımda oluşan kuvvetli çalkantılar nedeniyle önemli ölçüde (hidrolik sıçrama öncesi akım enerjisinin % 80-85’i oranında) enerji kaybı söz konusu olur.



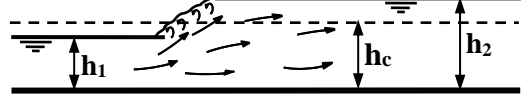
Şekil 3.1. Hidrolik sıçramada derinlik ile özgül enerji ve özgül kuvvet değişimi

Hidrolik sıçrama, sıçrama öncesi akım şartlarına bağlı olarak çeşitli formlarda görülebilir. Memba koşullarını karakterize etmek üzere Fr_1 sayısına bağlı olarak hidrolik sıçramanın türleri Şekil 3.2’de görülmektedir. Şekil üzerinde, ayrıca, her bir sıçrama türüne ait enerji kayıp oranları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Fr_1 sayısının büyümesiyle enerji kaybında önemli artışlar meydana gelmektedir (Kırkgöz, 2018).

- (a) *Ondüler sıçrama*: $Fr_1=1-1.7$
Enerji kaybı: $h_k/E_1=\% 0-5$



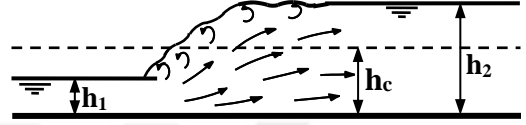
- (b) *Zayıf sıçrama*: $Fr_1=1.7-2.5$
Enerji kaybı: $h_k/E_1=\% 5-18$



- (c) *Dalgalı sıçrama*: $Fr_1=2.5-4.5$
Enerji kaybı: $h_k/E_1=\% 18-45$



- (d) *Düzenli sıçrama*: $Fr_1=4.5-9$
Enerji kaybı: $h_k/E_1=\% 45-65$



- (e) *Kuvvetli sıçrama*: $Fr_1 > 9$
Enerji kaybı: $h_k/E_1=\% 65-85$



Şekil 3.2. Hidrolik sıçramanın türleri

3.2. Deneyler

Deneyler, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan 400x35x35 cm boyutundaki açık kanal modelinde yapılmıştır (Şekil 3.3). Laboratuvarında bulunan kanalın tabanı ve yan duvarları camdan imal edilmiş ve hidrolik olarak cilalı olup, en fazla %7 eğim verilebilmektedir. Hidrolik sıçramanın yapısının ayarlanması için kanal memba kısmına bir kayar kapak yerleştirilmiş ve kanal sonuna bir savak yerleştirmek suretiyle farklı türlerde sıçramalar oluşturulmuştur. Suyun sirkülasyonu 120x70x50 cm boyutunda iki yer haznesinden alınan Schneider marka suyun hız kontrollü bir santrifüj pompayla, su derinliği, su seviyesinin stabil olduğu bölgelerde kanal üzerinde yerleştirilmiş olan dijital limnimetre ile, debi değeri ise kalibrasyonu yapılmış Altıgen marka bir elektromanyetik debi metre ile cihazın üzerindeki dijital panelden ölçülmüş olup, bu cihazın ölçüm hassasiyeti $\pm\%0.6$ 'dır. sağlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan açık kanal modeli



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.4. Deneyde kullanılan cihazlar (a) Limnometre, (b) Hız kontrol cihazı, (c) Elektromanyetik debimetre

Sıçramanın türünün belirlenmesinde esas parametre sıçrama öncesi kesitteki Froude sayısıdır. Froude sayısı Denklem 3.1'deki gibi hesaplanır.

$$Fr_1 = \frac{V}{\sqrt{gh_1}} \quad 3.1$$

Burada V akımın ortalama hızını, h_1 su derinliğini, g ise yerçekimi ivmesini simgelemektedir. Farklı Froude sayıları ve kanal eğimlerine sahip serbest hidrolik sıçramanın değerlendirilebilmesi amacıyla dört farklı akım koşulunda deney yapılmış ve deney özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.3. Yöntem

3.3.1. Temel Denklemler

Serbest hidrolik sıçrama türbülanslı bir akım olup, akımın çözülebilmesi amacıyla kullanılacak temel denklemler süreklilik ve Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleridir. Bu denklemler Denklem 3.2 ve Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij}) \quad (3.3)$$

Süreklilik ve RANS denklemlerinde bulunan u_i ortalama hız bileşenlerini, p ortalama basıncı, μ akışkanın dinamik viskozitesini, ρ akışkanın yoğunluğunu, ρg_i yerçekiminin sebep olduğu kütleli kuvveti, t zamanı, τ_{ij} ise türbülans (Reynolds) gerilmelerini ifade etmektedir. Türbülans yani Reynolds gerilmeleri Boussinesq yaklaşımına göre Denklem 3.4'teki gibi ifade edilir:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho k \quad (3.4)$$

Burada, u'_i ve u'_j türbülans hız sapıncıları ve μ_t türbülans viskozitesi olup δ_{ij} Kronecker deltadır ($i=j$ için $\delta_{ij}=1$).

3.3.2. Türbülans kapatma modelleri

RANS denklemlerinde üç boyutlu akışta bir basınç, üç hız, altı türbülans kayma gerilmesi bileşeni ile toplam 10 bilinmeyen bulunur. Buna karşılık her bir doğrultu için birer toplam üç RANS denklemi ve bir süreklilik denklemi bulunmaktadır. Bilinmeyen sayısından az yani dört denklem bulunduğundan denklem sistemi çözülememektedir.

Bu sorunun çözümü için araştırmacılar tarafından farklı türbülans kapatma modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Standart k- ϵ (SKE), Renormalization Group k- ϵ modeli (RNG), Shear Stress Transport k- ω (SST) ve RSM (Reynolds Stress Model-Reynold Gerilme Modeli) olmak üzere toplam dört farklı türbülans modeli kullanılmıştır.

3.3.2.1. Standart k- ϵ (SKE)

Lauder ve Spalding (1972) tarafından önerilen bu model birçok mühendislik probleminde stabil çözüm vermesi, hesaplama süresinin diğer modellere kıyasla daha düşük olması ve yeterli doğrulukta sonuçlar vermesi nedeniyle sıklıkla kullanılan bir model olmuştur.

Bu model, türbülans kinetik enerjisi (k) ve kayıp oranı (ϵ) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümü ve buna bağlı olarak türbülans viskozitesinin hesabını içerir. Bu model ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.

3.3.2.2. Renormalization Group k- ϵ modeli (RNG)

RNG modeli Navier-Stokes denklemlerinden elde edilmekte olup standart k- ϵ modeliyle benzerdir. SKE modelinden farkı ise Yakhot ve Orszag (1986) tarafından geliştirilen istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım modelde belirli iyileştirmeler yapan yeniden normalleştirme grup teorisi (Renormalization Group Theory) olarak adlandırılır (Aksoy, 2019).

RNG modeli ϵ taşınım denkleminde içerdiği fazladan bir terim ile hızlı gerilimli akışlarda daha doğru sonuçlar vermektedir. Böylelikle türbülans alanından bağımsız olarak gelişen ikinci bir akışın olduğu akım durumlarında ve girdap etkisini öz önünde bulundurduğundan girdap bulunan akım durumlarında standart k- ϵ modeline göre daha doğru sonuçlar verebilmek (Aksoy, 2019). Bu model ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.

3.3.2.3. Kayma gerilmesi taşınımı (Shear Stress Transport-SST) türbülans modeli

Menter (1994) tarafından geliştirilen bu modelde sınır tabakanın iç bölgesinden dış bölgesine doğru Standart $k-\omega$ Wilcox (2006) modelinden SKE modeline bir geçiş meydana gelmektedir. Ayrıca SST modeli türbülans kayma gerilmelerinin geçiş etkilerini yakalayabilmek amacıyla modifiye edilmiş bir türbülans viskozitesi denklemi kullanmaktadır (Aksoy, 2019).

SST modeli, akış ayrılmasının olduğu ters basınç gradyanlarının gözlemlendiği akışlarda türbülanslı kayma gerilmesini taşınım denkleminde tanımlayarak çok yüksek derecede doğru tahminler yapabilmektedir (Ansys, 2018). Bu model ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.

3.3.2.4. Reynolds gerilme modeli (Reynolds Stress Model-RSM)

RSM türbülans kapatma modeli (Launder ve ark., 1975), Reynolds gerilme tensörünün tüm bileşenleri ve türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı için oluşturulmuş taşınım denklemlerinin çözümüne dayanmaktadır. RSM modeli, gerilmeden kaynaklı anizotropileri doğrudan modellediğinden bu modelin karmaşık akışlar için uygun olduğu söylenebilir. Ancak uygulamada genellikle iki denklemlilik modellere göre çok daha iyi sonuç verdiği söylenemez (Gümüş, 2014; Aksoy, 2019)

RSM modeli iki boyutlu akışlarda fazladan dört adet taşınım denklemi çözerken üç boyutlu denklemlerde fazladan yedi adet taşınım denklemi çözmesi gerekmektedir. RSM modeli akımda eğriliği, dönmeyi, girdapları, çevrintileri, birim uzama oranındaki ani değişimleri kısaca Reynolds gerilmelerinden dolayı oluşan tüm anizotropik yapıları hesaba kattığından karmaşık akımlarda daha düzgün sonuç vermesi beklenmektedir. Ancak basınç-birim uzama ve türbülans kinetik enerjisi kayıp oranının modellenmesinin zor olması nedeniyle modelin hesaplama doğruluğu etkilenmektedir. Bu nedenle daha az denklemlilik basit modellere göre avantajı azalırken hesaplama maliyeti artmakta ve buna bağlı olarak kullanım avantajı azalmaktadır (Aksoy, 2019). Bu model ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.

3.3.3. Ağ yakınsama indeksi (GCI)

Sayısal ayrıklaşma duyarlılığının belirlenmesi amacıyla kullanılan GCI yöntemi (Roache, 1994), aynı problemin farklı ağ yapısına ait sayısal sonuçlarının karşılaştırılmasını içermektedir. Böylece, hesaplama ağı ile elde edilen sayısal bulguların yakınsaması belirlenmekte ve ağ geometrisine bağlı belirsizliğin tahmini yapılabilmektedir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için en az üç farklı yoğunluktaki hesaplama ağı kullanılmaktadır (Roache, 1998). Buna göre;

$$d_3 < d_2 < d_1, \quad e_{12} = u_1 - u_2, \quad e_{23} = u_2 - u_3, \quad r_{12} = \frac{d_1}{d_2}, \quad r_{23} = \frac{d_2}{d_3} \quad (3.6)$$

$$p = \frac{1}{\ln(r_{23})} \ln \left(\frac{(r_{23}^p - 1)e_{12}}{(r_{12}^p - 1)e_{23}} \right) \quad (3.7)$$

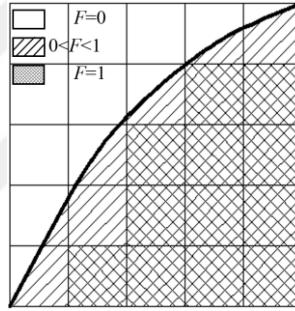
$$E_{23} = \frac{u_3 - u_2}{u_3} \quad (3.8)$$

$$GCI_{23}^{\text{ince}} = F_s \frac{|E_{23}|}{r_{23}^p - 1} \quad (3.9)$$

İfadeleri ile verilen değerler belirlenir. Yukarıdaki denklemlerde 1, 2 ve 3 indisleri sırasıyla kaba, orta ve ince ağ hassasiyetli parametreleri, u , akım hızını p : doğruluk mertebesi, F_s güvenlik faktörünü temsil etmektedir. göre $r_{23}, r_{12} \geq 1.10$ olmalı ve üç veya daha fazla ağ yapısı için güvenlik faktörü F_s , 1.25 olarak önerilmektedir (Roache, 1994; Roache, 1997). İşlem sonucunda hesaplanan GCI_{23}^{ince} değeri %2'den daha küçük ise ağa bağlı sayısal hesaplama sonuçlarının kabul edilebilir hata sınırlarında olduğu ve hesaplama hassasiyetinin ağ yoğunluğundan bağımsızlaştığı sonucuna varılır.

3.2.4. Akışkan hacimler yöntemi (Volume of Fluid-VOF)

VOF yöntemi, birbirine karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki ara yüzeyin şeklinin belirlenebilmesi için çözüm ağına uygulanabilir (Hirt ve Nichols, 1981). Bu tez çalışması kapsamında su-hava ara kesitinin belirlenebilmesi için kullanılan bu yöntem, hücrelerin boş, kısmen ya da tam su ile dolu olduğunu belirlemede kullanılmaktadır. Buna göre, hacimsel doluluk oranını temsil etmesi için 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 (Şekil 3.6). VOF yönteminde ara kesitin hesaplanmasında farklı yaklaşımlar bulunmakla beraber, bu çalışmada “Geo-Reconstruct” yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntem ile ilgili detaylar Gümüş (2014)’te verilmiştir.

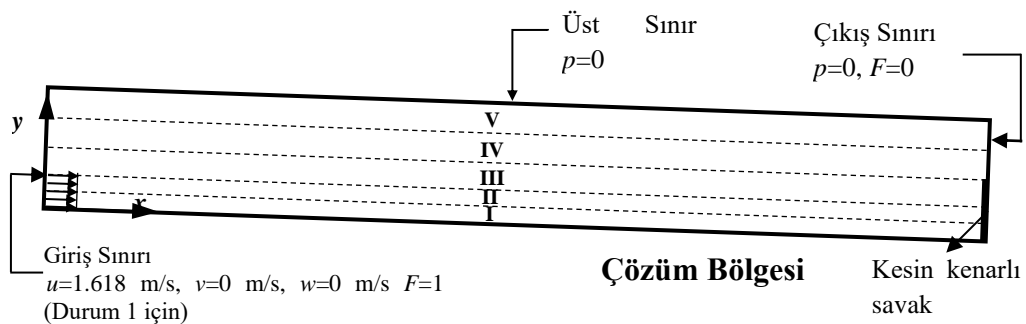


Şekil 3.6. Ağ elemanlarının doluluk oranları

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları

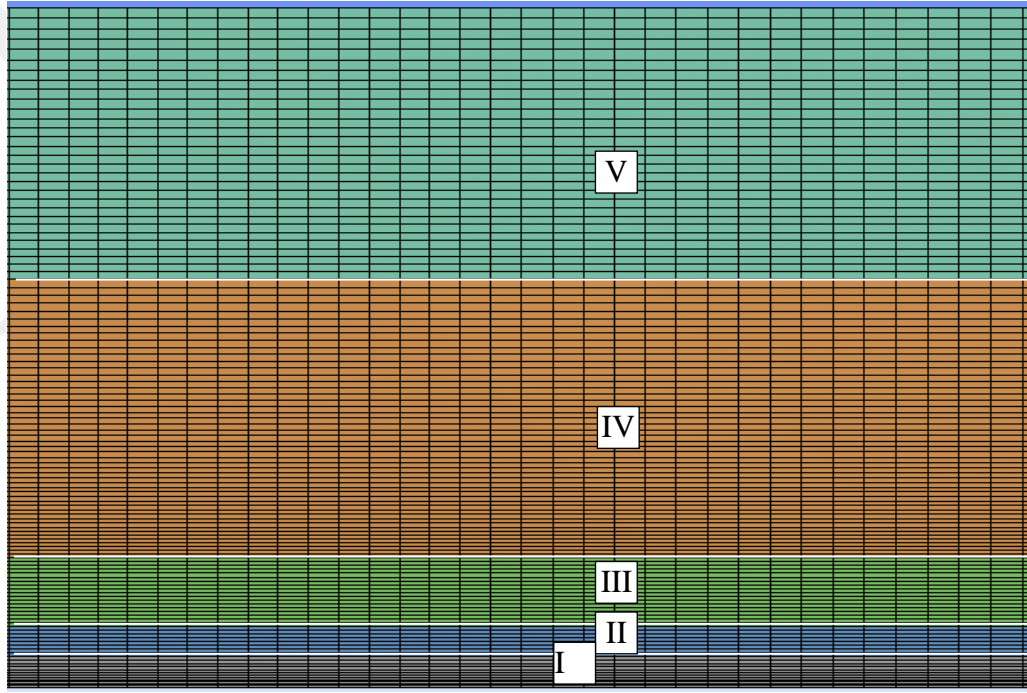
Serbest hidrolik sıçramanın meydana geldiği dikdörtgen kesitli açık kanal akımının sayısal modeli için kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartları Şekil 4.1’de verilmiştir. x , y koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Şekilde verilen çözüm bölgesi toplam beş alt bölgeye ayrılmış ve çözüm bölgesinin üst sınırı ve çıkış bölgesi sınır şartı $p=0$, kanal tabanında ve savak yüzeyinde sıfır-hız sınır şartı, yani $u=0$, $v=0$ olarak tanımlanmıştır. Giriş sınır şartı olarak v hızı sıfır olarak alınmış olup, yatay hız bileşeni u değeri her durum için deneysel verilerden ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çözümde Durum 1 ve 2 için giriş hızı II. bölgeden, Durum 3 ve 4 için ise I. bölgeden verilmiştir. Oluşturulan III. Bölgenin sınırı yine Durum 1 ve 2’nin kanal sonunda bulunan savağın yüksekliğine, IV. Bölge ise Durum 3 ve 4’ün savak yüksekliğine eşdeğer noktadan oluşturulmuştur. 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. Sistemin açısı ilk iki durum için %0.8, son iki durum için ise %4.96 olarak yapılmıştır.



Şekil 4.1. Sayısal çözüm bölgesi ve sınır şartları

4.2. Ağ Yapısının Belirlenmesi

Ağ yapısının sayısal bulgular üzerine oldukça fazla etkisi bulunmaktadır (Gümüş, 2014). Bu nedenle hesaplama ağı tasarlanırken ağ yapısının uygunluğunun test edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan modelin çözüm bölgesinde hesaplama ağı beş alt bölgeye ayrılmış ve ağ yapısının sayısal çözüm değerleri üzerindeki etkisi incelenmiőtir. Ağ yapısı etkisi ile meydana gelecek ayrıklaőtırma hatasının belirlenebilmesi için üç farklı yoğunlukta hesaplama ağı oluşturulmuş ve ağ yapısının her bir alt bölgesindeki eleman sayısı yaklaşık olarak %25 ve %50 oranında arttırılarak üç farklı yoğunlukta hesaplama ağları kullanılmıőtir. Çizelge 4.2’de sayısal hesaplamalarda kullanılan üç farklı yoğunlukta ağ yapısı için eleman sayıları verilmiştir.



Şekil 4.2. Hesaplama ağı

Ağ yapısının sıklığının yeterliliği yani sayısal çözümün ağ yapısından bağımsız olup olmadığının belirlenebilmesi için GCI yöntemi ile oluşturulan Ağ 1 (Kaba), Ağ 2 (Orta) ve Ağ 3 (İnce) değerlendirilmiştir. Hidrolik sıçramanın yapısı gereği, akım karakteristikleri (basınç, hız vb) zaman bağlı olarak oldukça hızlı değişim göstermektedirler. Bu nedenle, modelin 90 s boyunca çözümü yapılarak stabil olması sağlanmış ve 30 s daha çözüm yaptırılarak bu 30 s süresince alınan akım hızları, basınç

değerlerinin ortalamaları (V_{ort}) alınmıştır. Bu bağlamda, bölüm 3.3.3'te detayları verilen GCI yönteminde sayısal karşılaştırma kriteri olarak V_{ort} kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Farklı yoğunluktaki hesaplama ağlarına ait bölgesel eleman sayıları

Bölge	Ağ 1 (Kaba)	Ağ 2 (Orta)	Ağ 3 (İnce)
1	8x200	10x250	12x300
2	6x200	7x250	8x300
3	12x200	15x250	18x300
4	33x200	42x250	50x300
5	20x200	25x250	30x300

En yüksek Fr_1 sayısına sahip Durum 4 için $x=207$ cm'de GCI analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Beş farklı noktada yapılan analizler sonucunda, ele alınan noktalarda GCI_{ince} değerlerinin en yüksek değeri %1.02 olup, bu değer %2' den küçük olduğu için, yani kabul edilebilir hata sınırında bulunması nedeni ile nümerik çözümde elde edilen hesaplama hassasiyetinin ağ yoğunluğundan bağımsızlaştığı anlaşılmaktadır (Roache, 1994). Bu nedenle, sayısal modellemelerde Ağ-3 hesaplama ağı kullanılarak devam edilmiştir.

Çizelge 4.2. $Fr_1=6.77$ için $x=207$ cm kesitinde elde edilen GCI_{ince} değerleri

y (mm)	p	GCI_{ince} (%)
0.8	3.1613	0.83
2	-15.0849	-0.52
4	2.364	0.31
5.5	-3.1342	-1.02
7.5	1.8418	0.83

4.3. Sayısal Modelleme

Tez çalışması kapsamında, açık kanalda meydana gelen farklı Froude sayılarına sahip serbest hidrolik sıçramanın oluşturduğu su yüzü profili limnimetre kullanılarak deneysel olarak ölçülmüştür. Deney koşullarına bağlı olarak oluşturulan sayısal modeller, farklı türbülans kapatma modelleri kullanılarak çözülmüştür. Sayısal olarak elde edilen bulgular, deneysel bulgular ile karşılaştırılmıştır.

4.3.1. Durum 1'e ($Fr_1=2.54$) ait bulgular

Bu çalışma kapsamında en düşük Froude sayısına sahip Durum 1 akım şartlarında oluşan serbest hidrolik sıçramanın akım özellikleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Dört farklı türbülans modeli ile elde edilen sayısal bulgular, deneysel bulgular ve literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

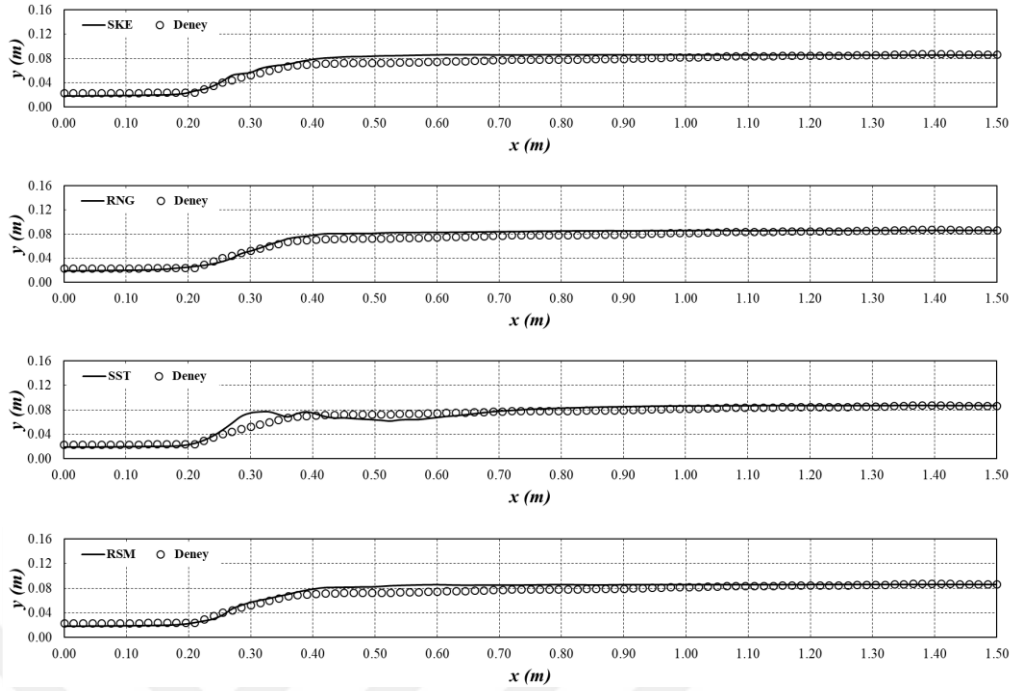
4.3.1.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=2.54$)

Serbest hidrolik sıçrama içeren açık kanal akımın su yüzü profili deneysel olarak ölçülmüş ve sayısal olarak farklı türbülans kapatma modelleriyle yapılan çözüm sonuçları OKH ve OMGH parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda hesap edilen OKH ve OMGH değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre, tüm modeller genel olarak serbest su yüzünü belirlemede başarılı olduğu, SKE modelinin ise kullanılan diğer modellere kıyasla az bir farkla da olsa daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Durum 1 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri

	OKH (cm^2/s^2)	OMGH (%)
SKE	0.3140	7.9815
RNG	0.3350	8.0853
RSM	0.3274	8.0045
SST	0.3726	8.1268

SKE, RNG, SST ve RSM türbülans kapatma modelleri ile elde edilen su yüzü profillerinin grafiksel karşılaştırılması Şekil 4.1'de verilmiştir. Buna göre, SST dışında tüm modellerin sıçrama bölgesi geometrisini hesaplamada başarılı olduğu, bunun yanında sıçrama sonrası derinliğin hesaplanmasında ise deneysel sonuçlar ile ele alınan tüm türbülans modelleriyle elde edilen sayısal sonuçların birbirine benzer olduğu görülmektedir. Yani SST türbülans kapatma modeli hidrolik sıçramanın gerçekleştiği bölgeyi diğer modeller kadar başarılı modelleyememiştir.

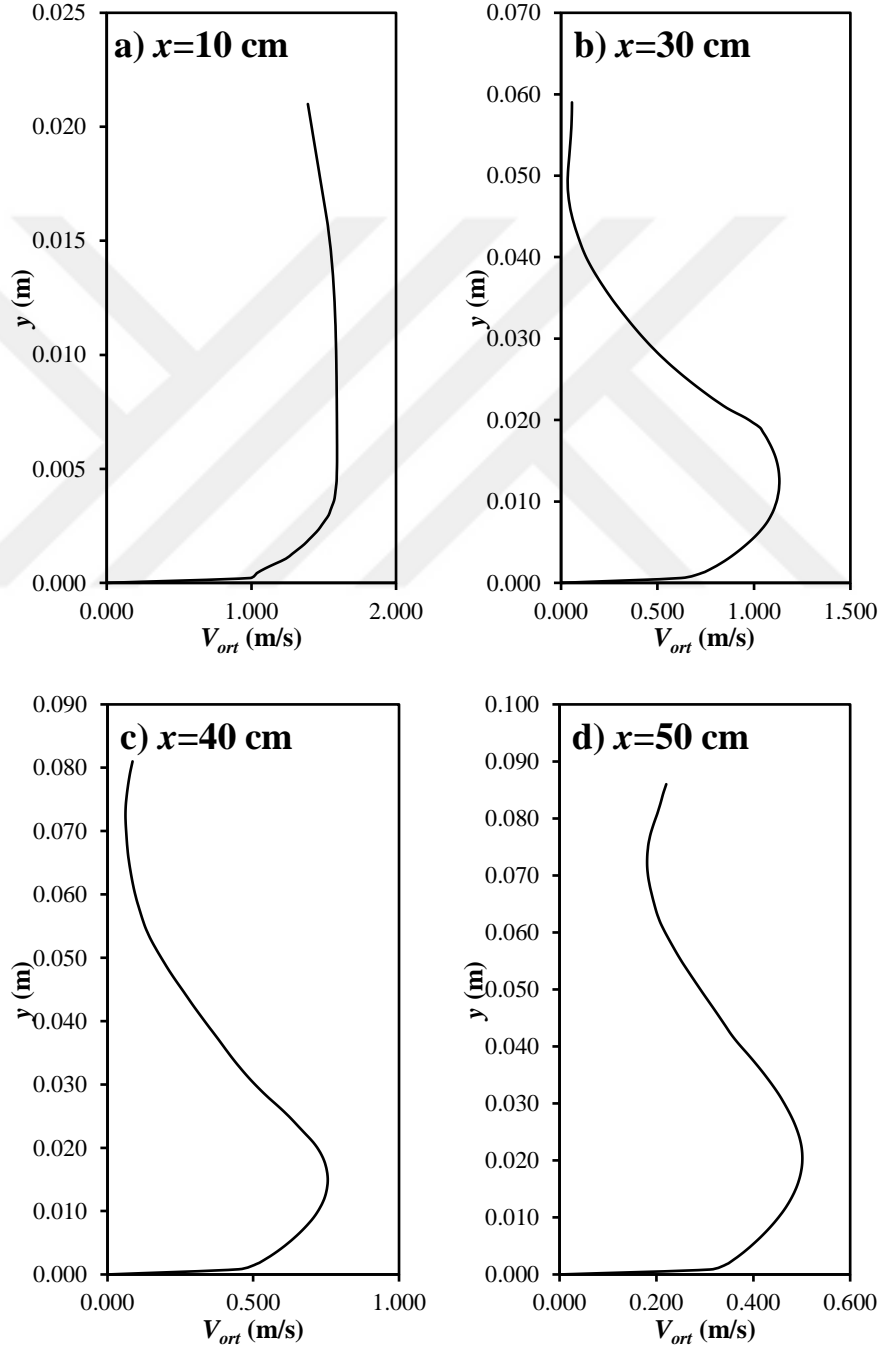


Şekil 4.3. Durum 1 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri

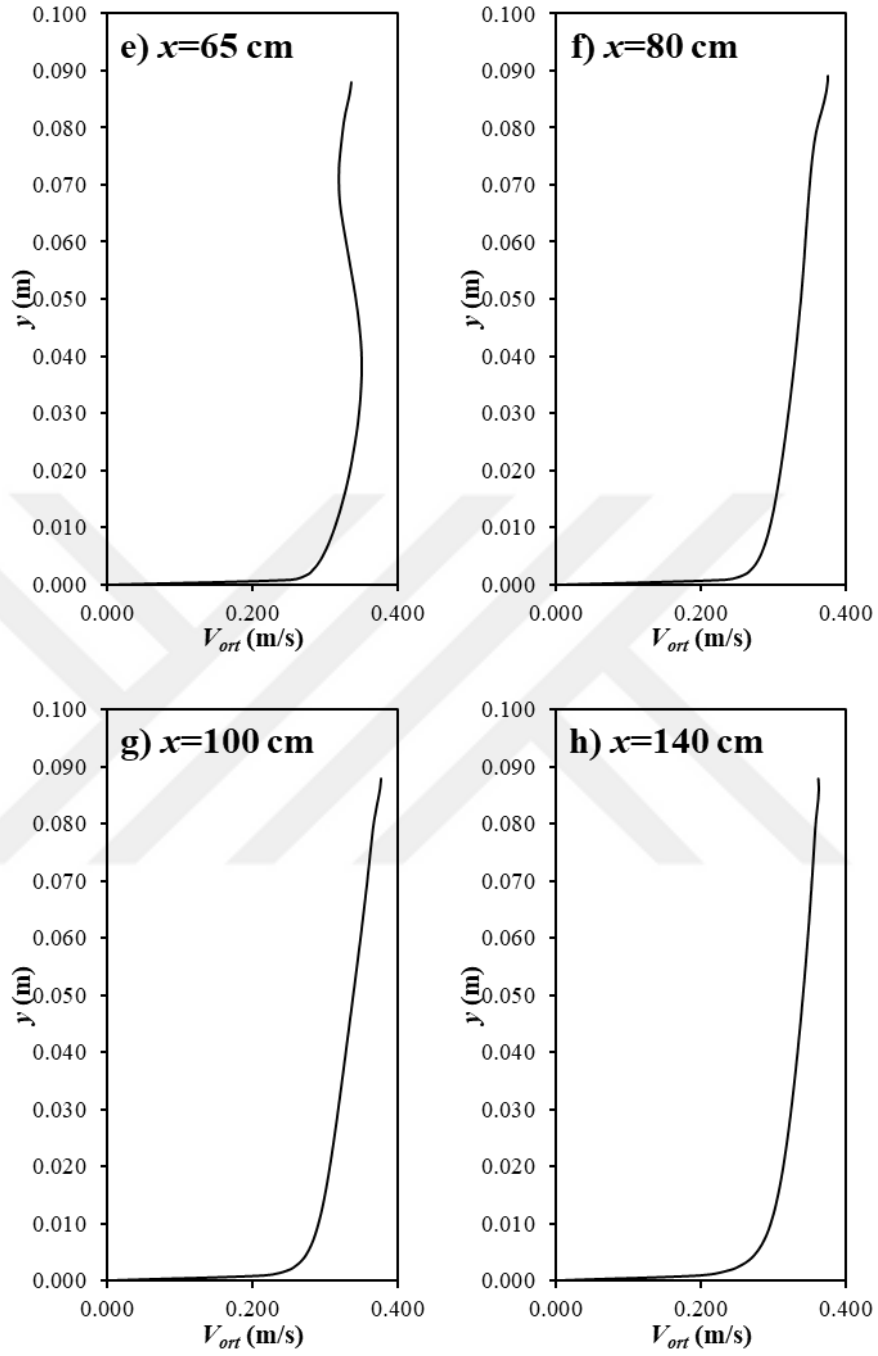
4.3.1.2. Hız profilleri ($Fr_1=2.54$)

Durum 1 için SKE, RNG, SST ve RNG modelleri ile sayısal olarak hesaplanan hız profilleri Şekil 4.2-Şekil 4.5'te sırasıyla verilmiştir. Buna göre, tüm modellerde sıçrama öncesi ($x=10$ cm) oluşan hız profillerinin ortalama hız değerleri 1.6 m/s civarında olup benzer bir profil sergilemektedir. Sıçramanın başladığı noktadan 10 cm uzaklıkta bulunan $x=30$ cm kesiti için SKE, RNG ve RSM modelleri benzer şekilde kanal tabanına yakın olan bölgede yaklaşık 1 m/s civarında maksimum hıza sahip bir jet akımı oluşturduğu ve su yüzeyine yakın bölgede ise düşük bir hız değeri aldığı görülmektedir. Kanal sonuna doğru ilerledikçe su derinliğinin artmasına paralel olarak maksimum hızın azaldığı görülmektedir. SKE ve RSM modelinde jet akımının yaklaşık $x=65$ cm'de klasik açık kanal akım profiline yakın bir profil sergilediği ve çalışma alanının sonuna doğru ise açık kanal akım profili sergilediği yani sıçrama etkisinden kurtulduğu görülmektedir. Buna göre, sıçrama bölgesinin içinde yer aldığı çalışma alanı için farklı türbülans kapatma modelleri ile hesaplanan sayısal olarak hız profillerinin yapısı incelendiğinde, SKE ve RSM modellerinin birbirine benzer bir şekilde sıçrama sonlandıktan sonra hız profillerini vermede McCorquodale ve Khalifa

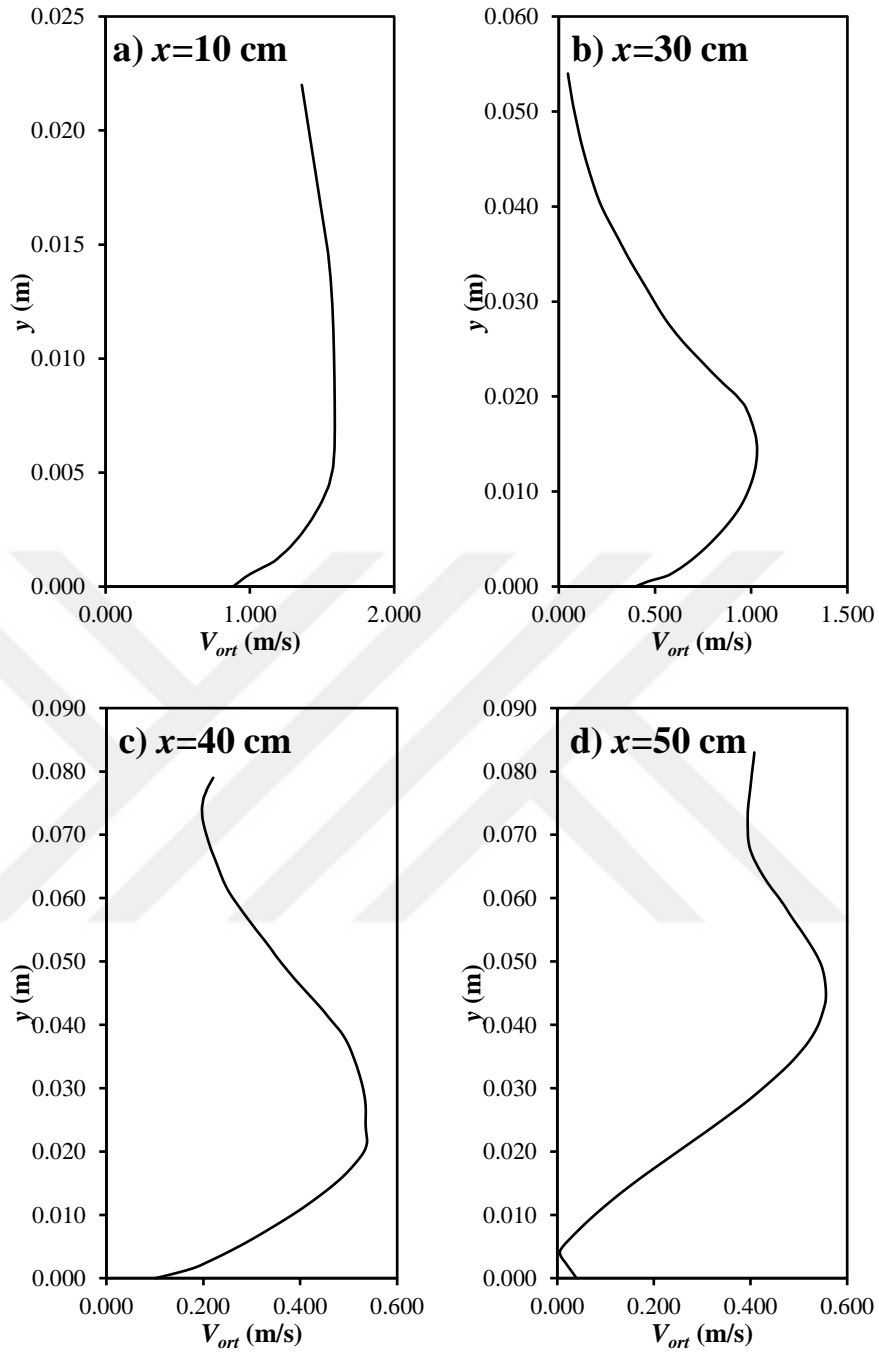
(1983) sonuçlarına benzer bir yapı sergilediği ve buna bağlı olarak su yüzü profilinin hesaplanmasında benzer bir şekilde hız profilini de belirlemede başarılı oldukları görülmüştür. Ancak, SST türbülans kapatma modeli Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sıçrama bölgesinin yapısını deneysel ölçümlere göre farklı verdiği için bu modelin $Fr_1=2.54$ olduğu Durum 1 akım koşulu için diğer modeller kadar başarılı olmadığı görülmektedir.



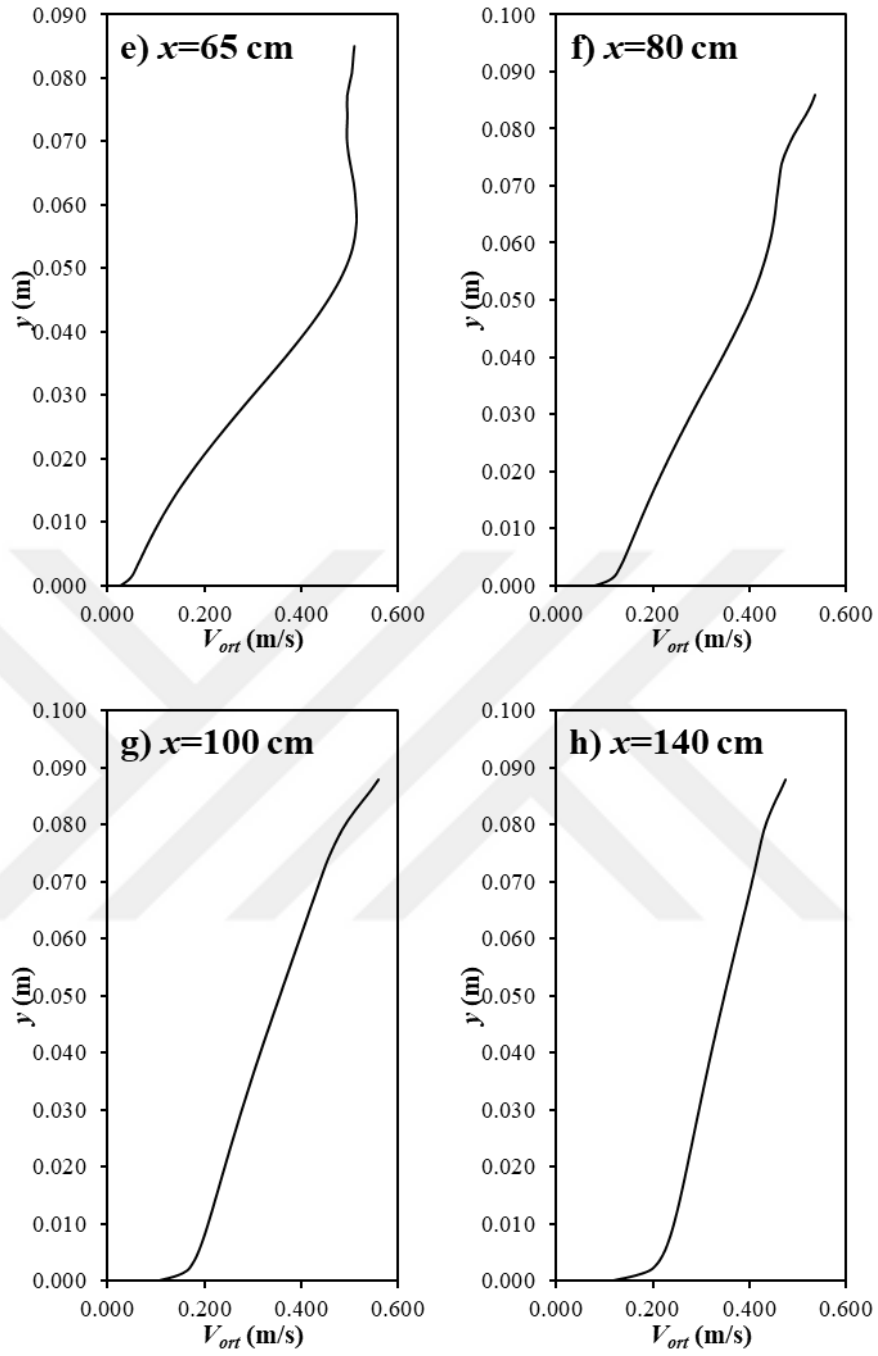
Şekil 4.4. Durum 1 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



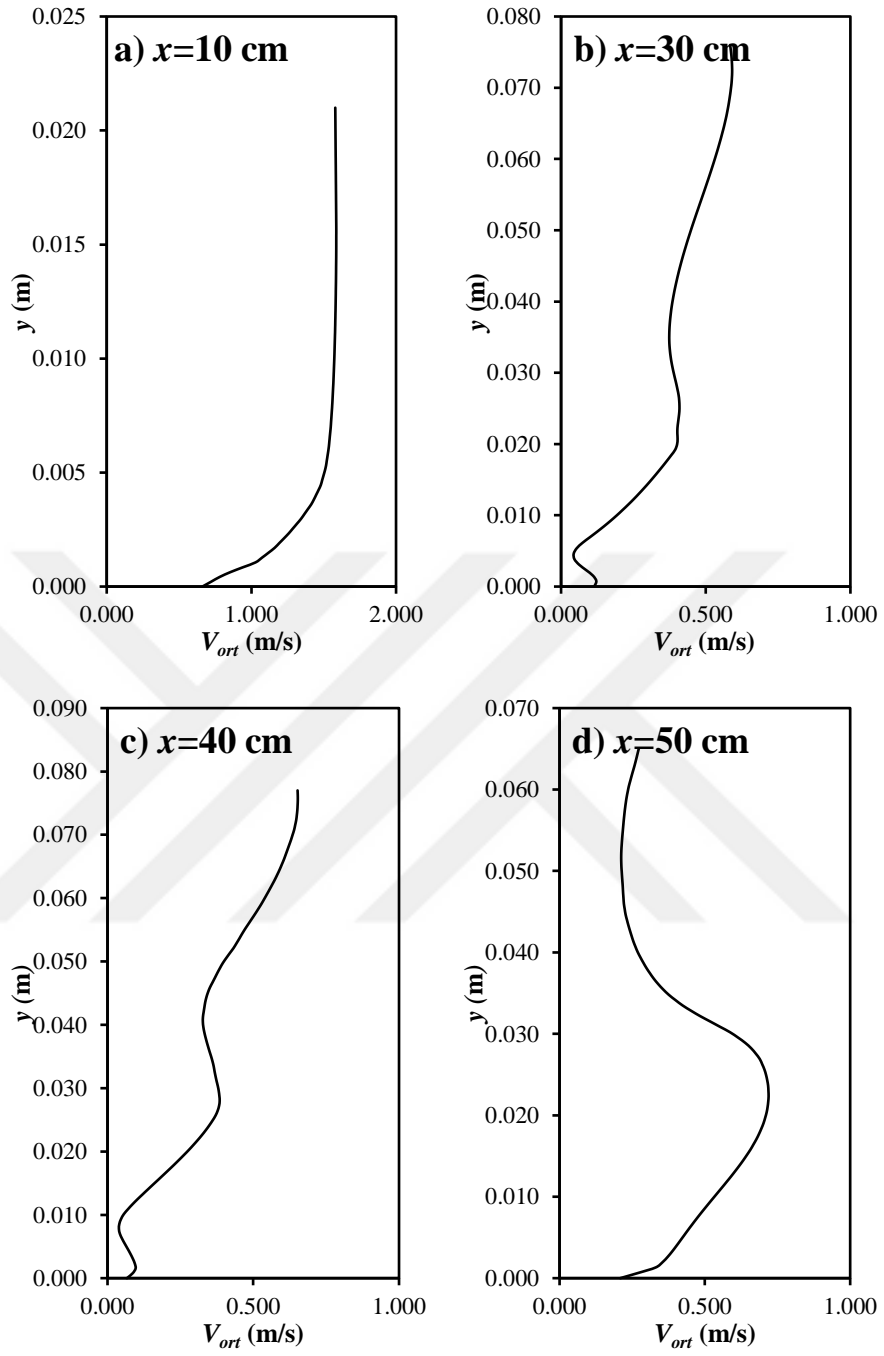
Şekil 4.4. (Devam)



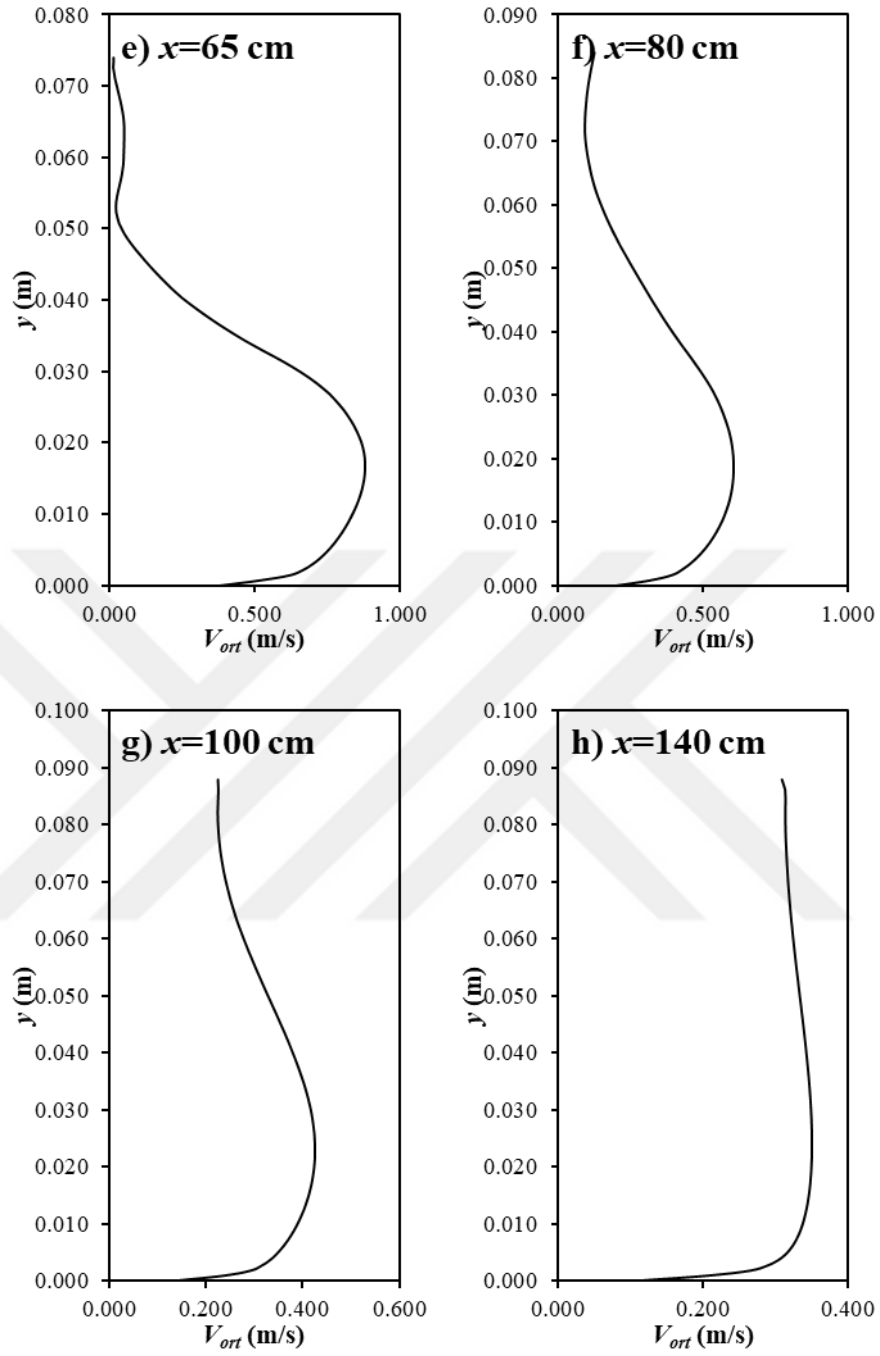
Şekil 4.5. Durum 1 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



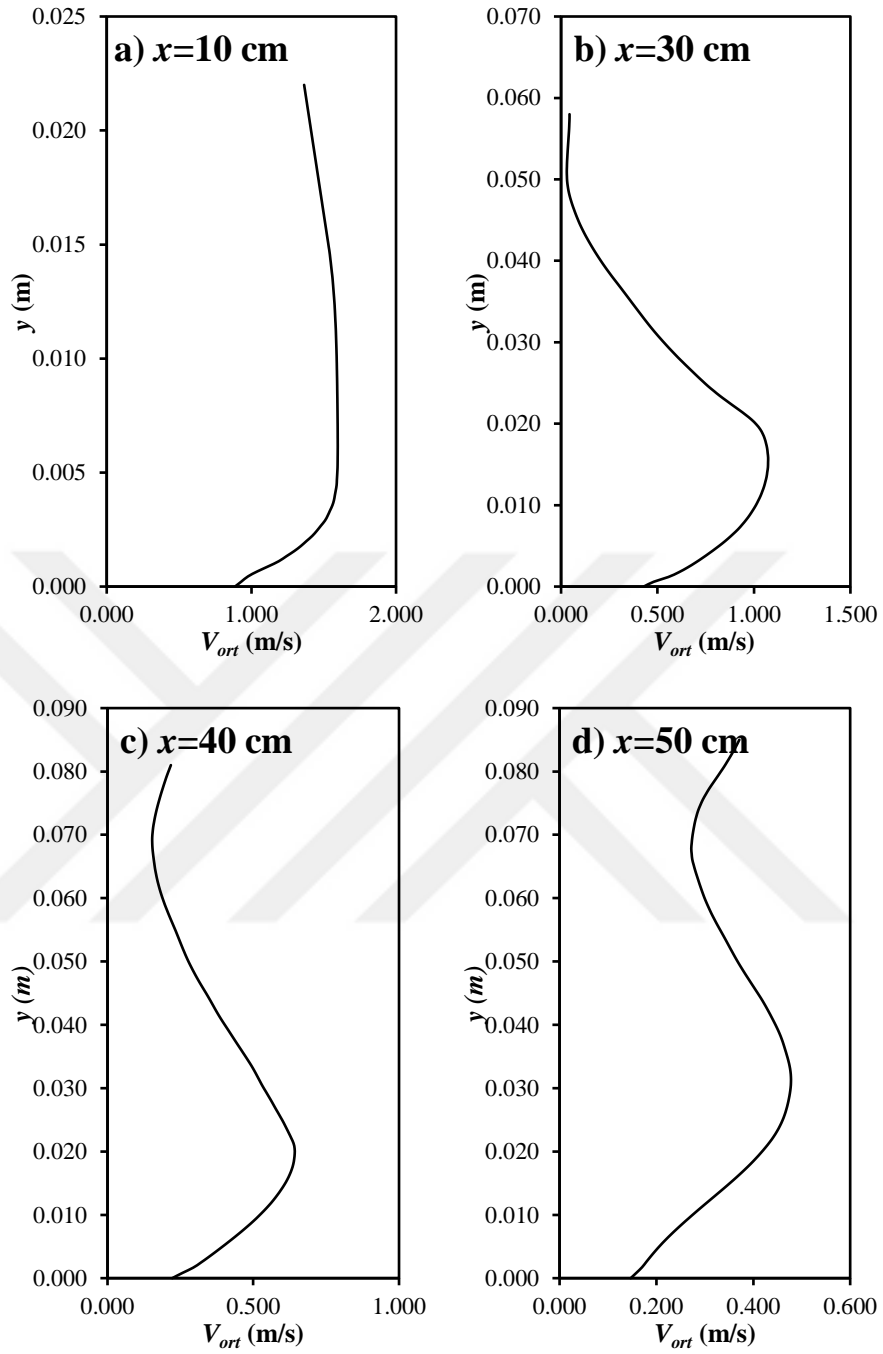
Şekil 4.5. (Devam)



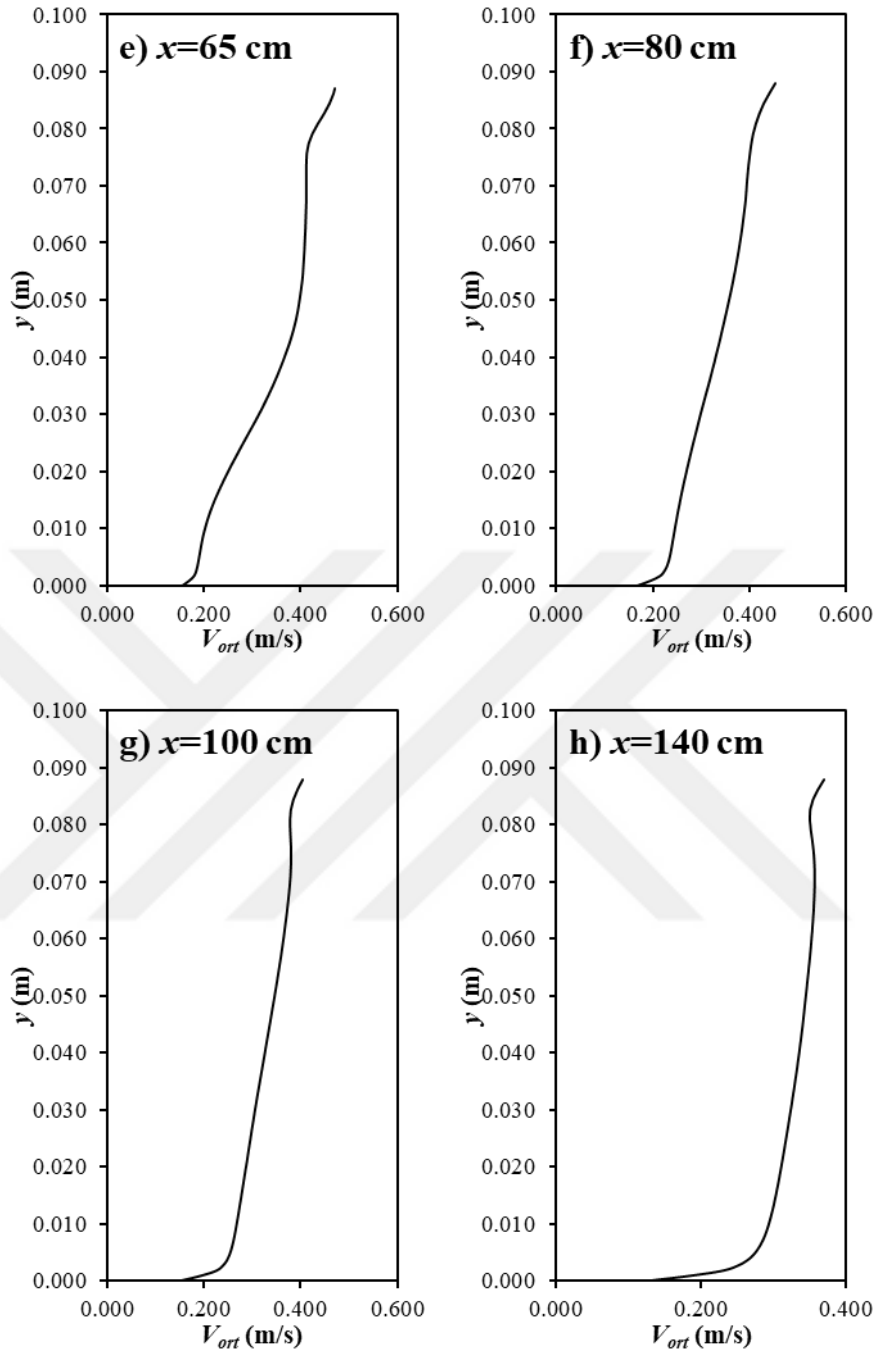
Şekil 4.6. Durum 1 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



Şekil 4.6. (Devam)



Şekil 4.7. Durum 1 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri

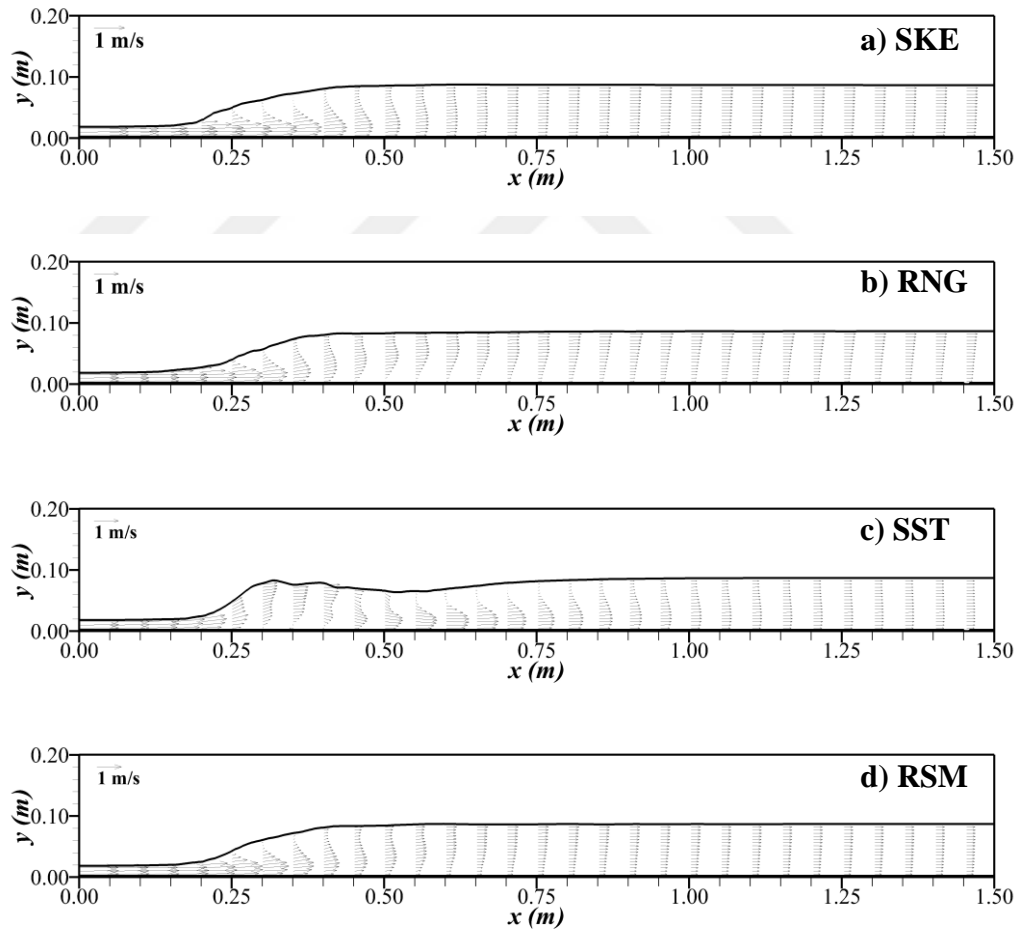


Şekil 4.7. (Devam)

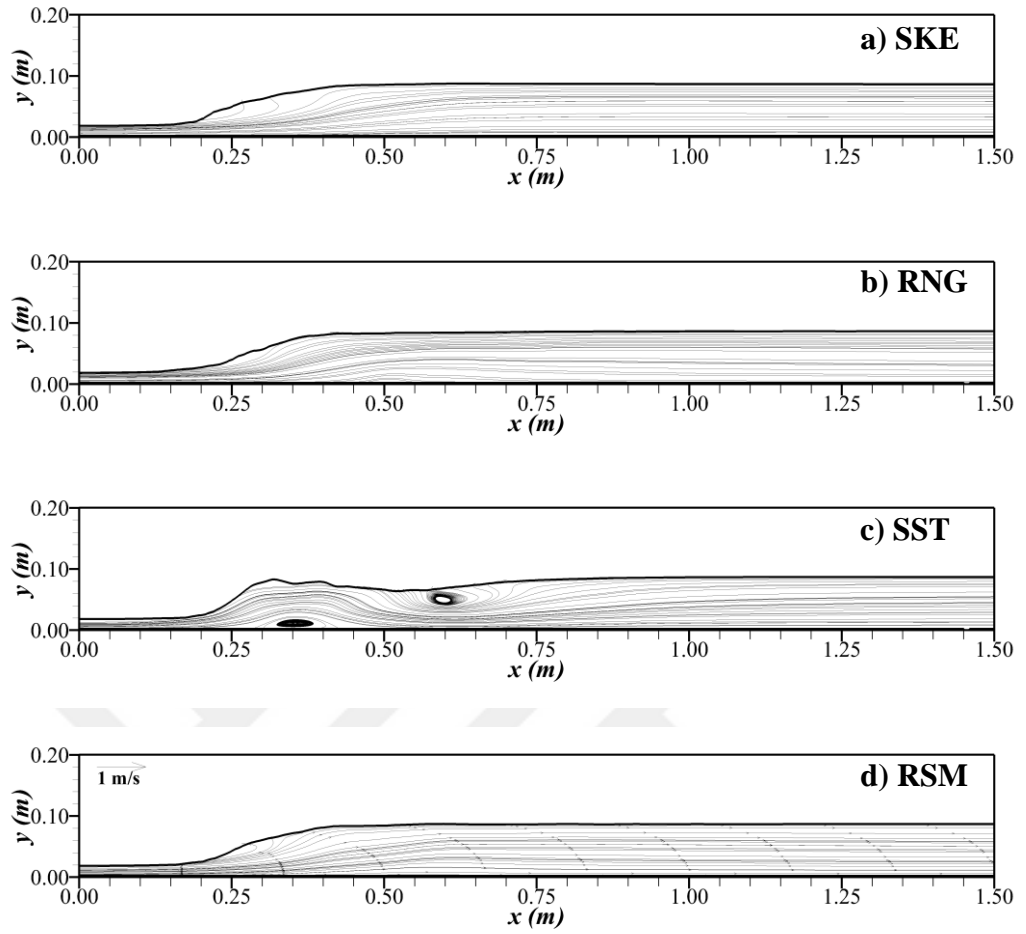
4.3.1.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=2.54$)

Durum 1 için farklı türbülans modelleri ile çalışma bölgesi boyunca elde edilen hız vektörleri Şekil 4.6'da ve akım çizgilerinin dağılımı ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Serbest hidrolik sıçramada, akım sıçrama öncesi kritik üstü akım durumunda yüksek

hıza sahip bulunmakta, devamında sıçrama bölgesinde bir jet akımı sergilemekte ve sonrasında ise üniform açık kanal akımına dönüşmesi beklenmektedir. Buna göre, beklenen bu durumun SKE ve RSM modellerinde meydana geldiği, ancak RNG modelinde akımın klasik açık kanal akımı durumuna dönüşmediği görülmüştür. SST modeli ise su yüzü profilinde farklı bir sıçrama yapısı sergilediğinden jet akımı $x=50$ cm bölgesinde meydana gelmiş sonrasında ise üniform bir açık kanal akımına dönüş eğilimi sergilediği anlaşılmaktadır. Akım çizgilerinin dağılımı incelendiğinde ise SST modelinde sıçramanın bazı bölgelerinde ayrılmalar görülürken, diğer modellerde herhangi bir ayrılma bölgesine rastlanmamıştır. Bunun nedeni, sayısal çözüm ile ortalama hız değerlerinin hesaplanması olduğu düşünülmektedir.



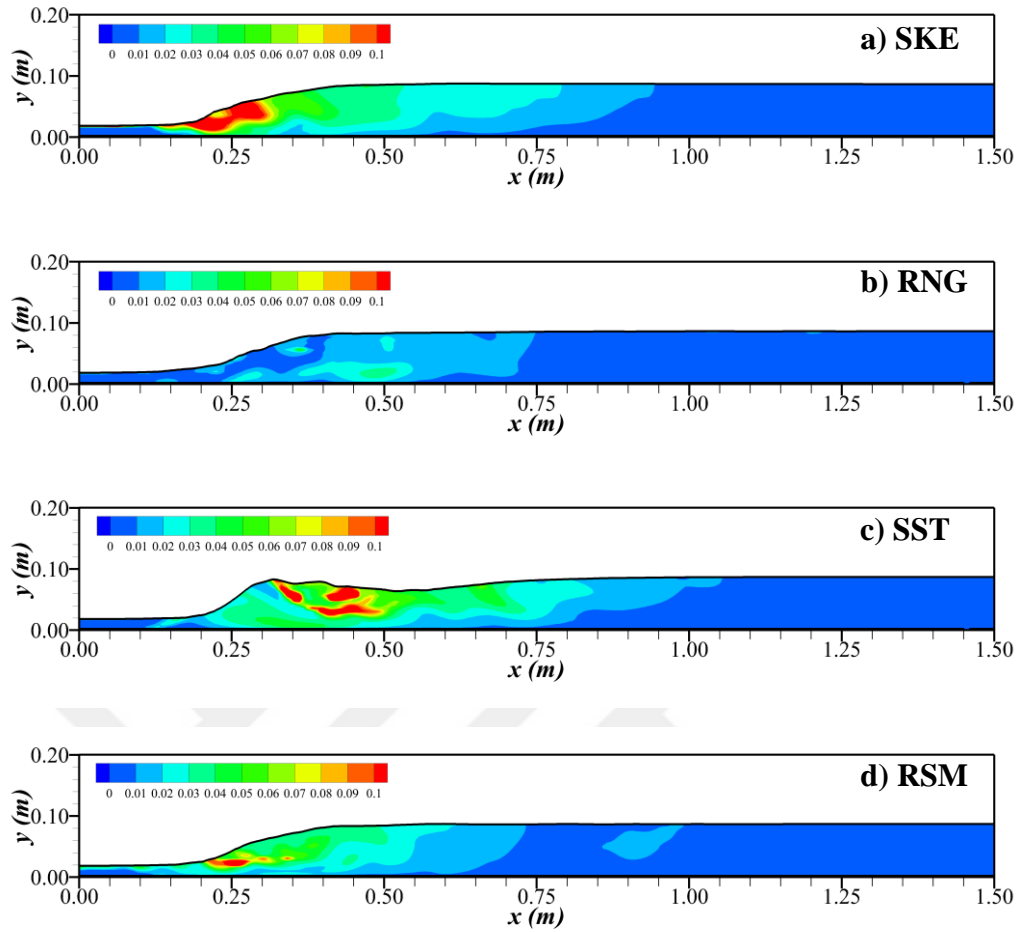
Şekil 4.8. Durum 1 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı



Şekil 4.9. Durum 1 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi

4.3.4.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=2.54$)

Durum 1 için farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal türbülans kinetik enerjilerinin (TKE) çalışma alanı boyunca dağılımı Şekil 4.8'de verilmiştir. Buna göre, en yüksek türbülans kinetik enerji değeri SKE modelinde, en düşük türbülans kinetik enerji değeri ise RNG modelinde belirlenmiştir. Çalışma alanı için ele alına en düşük skala TKE değeri 0.01 olup bu değer SKE, RNG, SST ve RSM için sırasıyla 0.95 m, 0.75 m, 1.05 m ve 0.70 m'de meydana gelmiştir.



Şekil 4.10. Durum 1 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı

4.3.2. Durum 2'ye ($Fr_1=3.29$) ait bulgular

$Fr_1=3.29$ olan Durum 2 için serbest hidrolik sıçramanın su yüzü profilleri ve akım özellikleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Dört farklı türbülans modeli ile elde edilen sayısal bulgular, deneysel bulgular ve literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

4.3.2.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=3.29$)

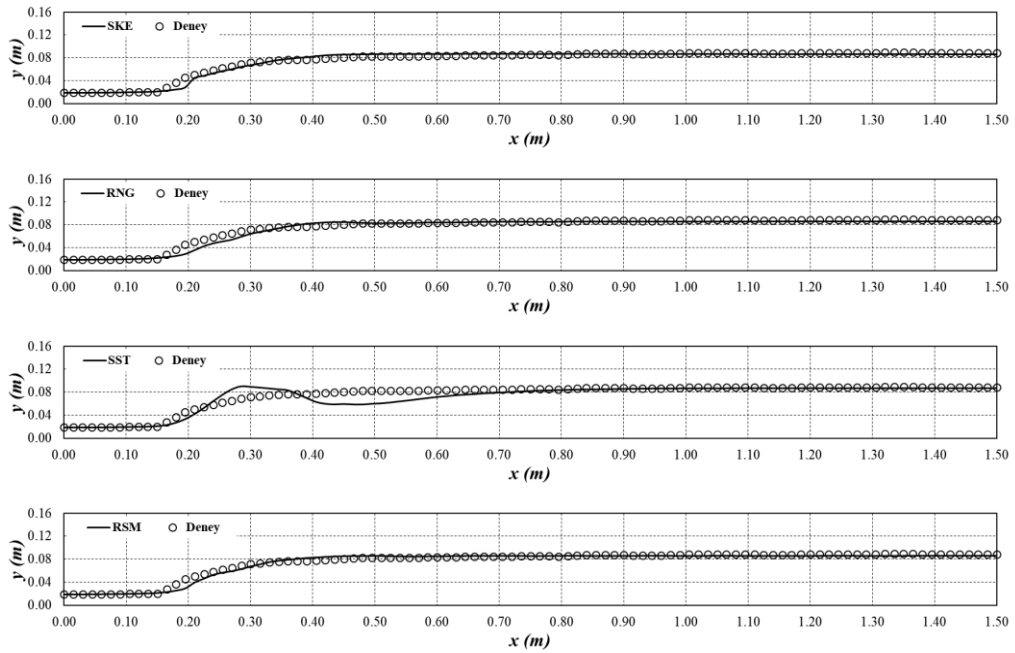
Serbest hidrolik sıçrama içeren açık kanal akımın su yüzü profili deneysel olarak ölçülmüş ve sayısal olarak farklı türbülans kapatma modelleriyle yapılan sayısal model sonuçları OKH ve OMGH parametrelerine göre karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.5’de verilmiştir. Buna göre, SST hariç tüm türbülans kapatma modellerinin genel olarak serbest su yüzünü belirlemede başarılı olduğu, RSM modelinin ise az bir farkla da olsa en başarılı model olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Durum 2 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri

	OKH (cm ² /s ²)	OMGH (%)
SKE	0.1233	3.9395
RNG	0.1768	4.2346
RSM	0.1208	3.8544
SST	0.7870	7.6710

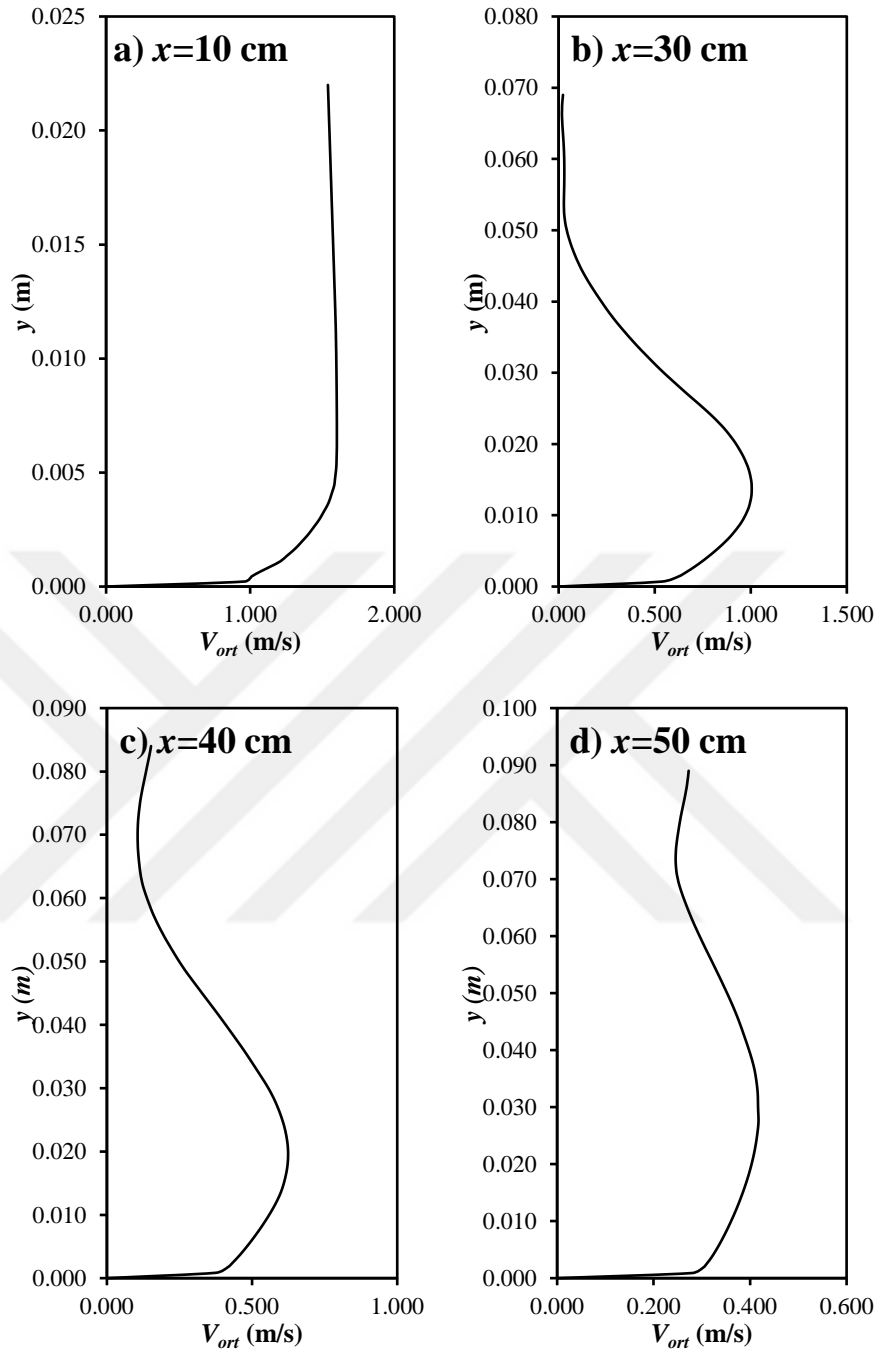
SKE, RNG, SST ve RSM türbülans kapatma modelleri ile elde edilen su yüzü profillerinin deneysel su yüzü profilleriyle grafiksel karşılaştırılması Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekillerden, SST dışında tüm modellerin sıçrama bölgesi geometrisini hesaplamada başarılı olduğu, bunun yanında sıçrama sonrası derinliğin hesaplanmasında ise deneysel sonuçlar ile ele alınan tüm türbülans modelleriyle elde edilen sayısal sonuçların birbirine benzer olduğu görülmektedir. Hidrolik sıçrama bölgesinde, SST modeli dalgalı su yüzüne sahip bir hidrolik sıçrama profili belirlemiştir.



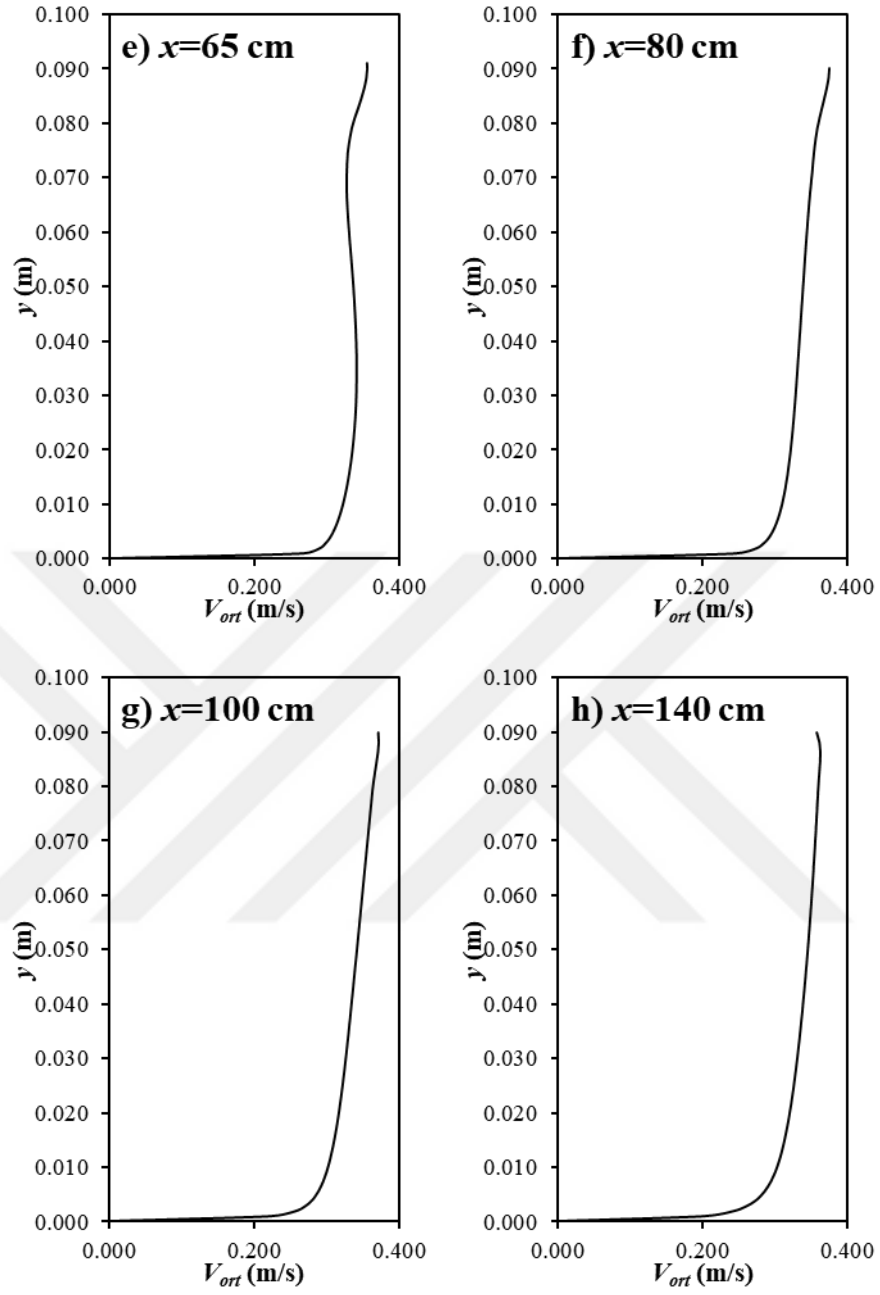
Şekil 4.11. Durum 2 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri

4.3.2.2. Hız profilleri ($Fr_1=3.29$)

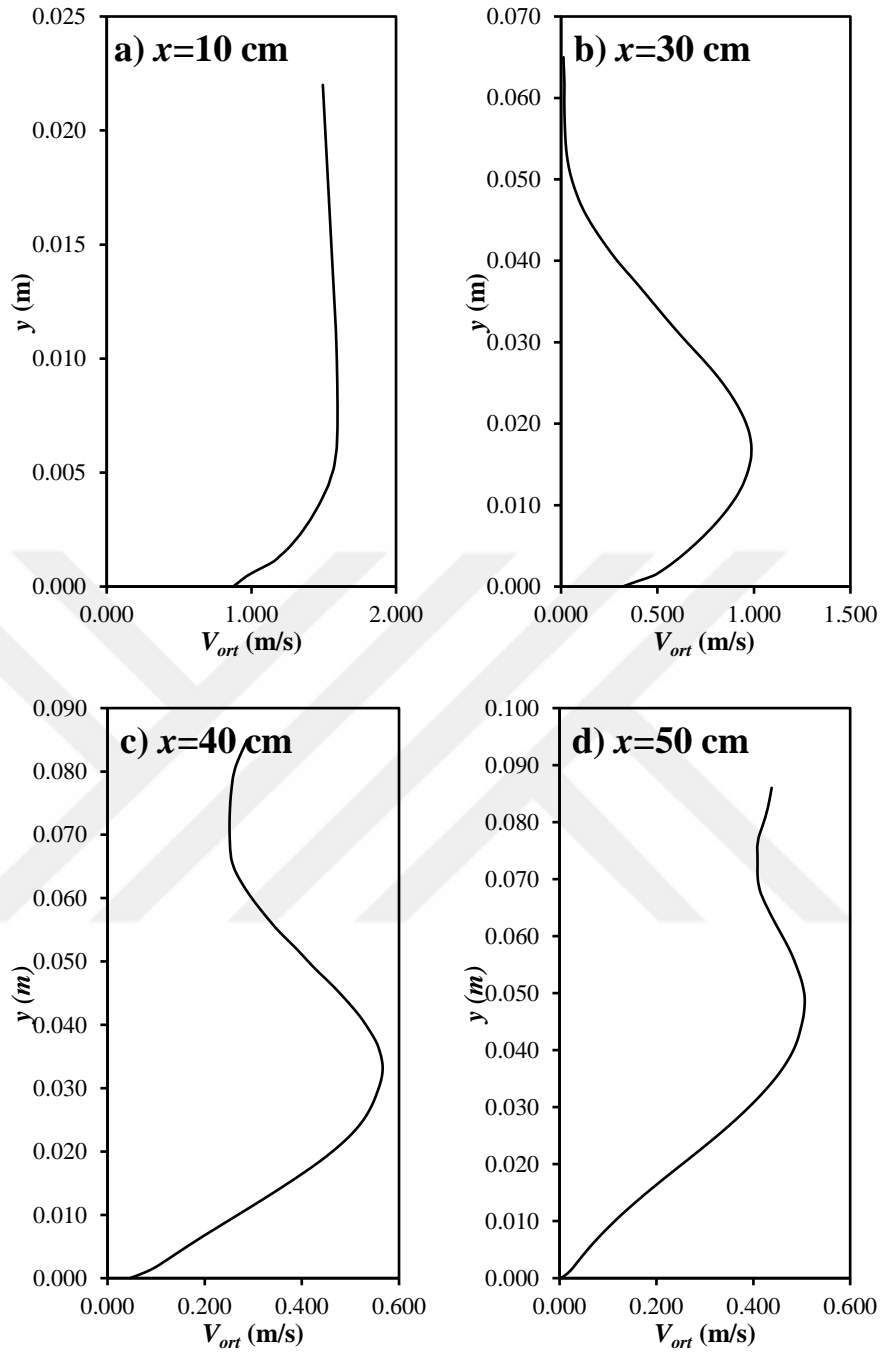
Durum 1 için sayısal olarak hesaplanan hız profilleri SKE, RNG, SST ve RNG için Şekil 4.10-Şekil 4.13'te sırasıyla verilmiştir. Buna göre, tüm modellerde sıçrama öncesi ($x=10\text{cm}$) oluşan hız profilleri benzer bir yapıdadır. Sıçramanın başladığı noktadan 10 cm uzaklıkta alınan $x=30\text{ cm}$ için SKE, RNG ve RSM modelleri benzer şekilde kanal tabanına yakın olan bölgede bir jet akımı oluşturduğu ve su yüzeyine yakın ise düşük bir hız değeri aldığı görülmektedir. SKE ve RSM modelinde jet akımının yaklaşık $x=65\text{ cm}$ 'de, RNG modelinde ise $x=80\text{ cm}$ 'de açık kanal akım profiline yakın bir profil sergilediği ve çalışma alanının sonuna doğru ise açık kanal akım profili sergilediği yani sıçrama etkisinden kurtulduğu görülmektedir. Buna göre, sıçrama bölgesinin içinde yer aldığı çalışma alanı için farklı türbülans kapatma modelleri ile hesaplanan sayısal olarak hız profillerinin yapısı incelendiğinde, SKE ve RSM modellerinin birbirine benzer bir şekilde sıçrama sonlandıktan sonra su yüzü profilinin hesaplanmasına benzer bir şekilde hız profilini de belirlemede başarılı oldukları görülmüştür.



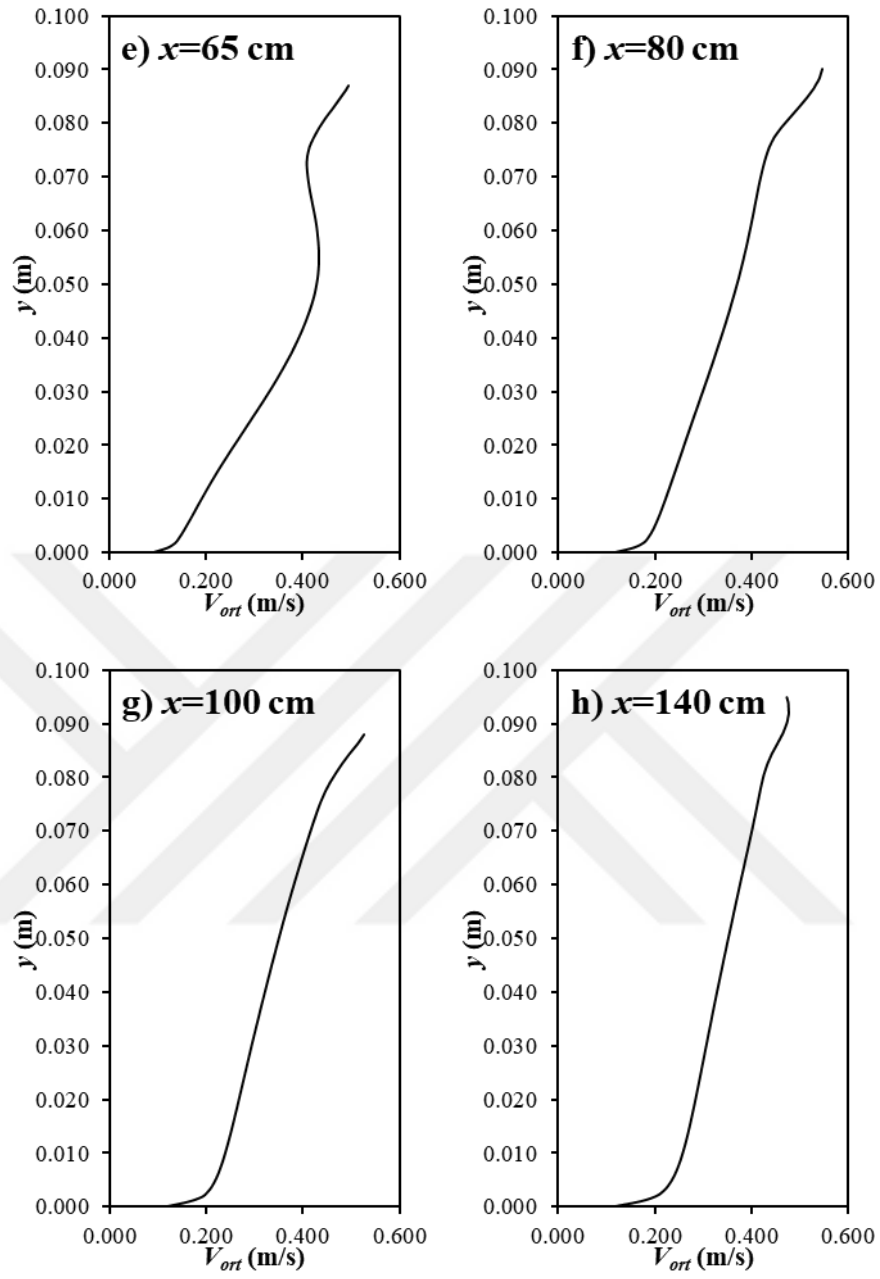
Şekil 4.12. Durum 2 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



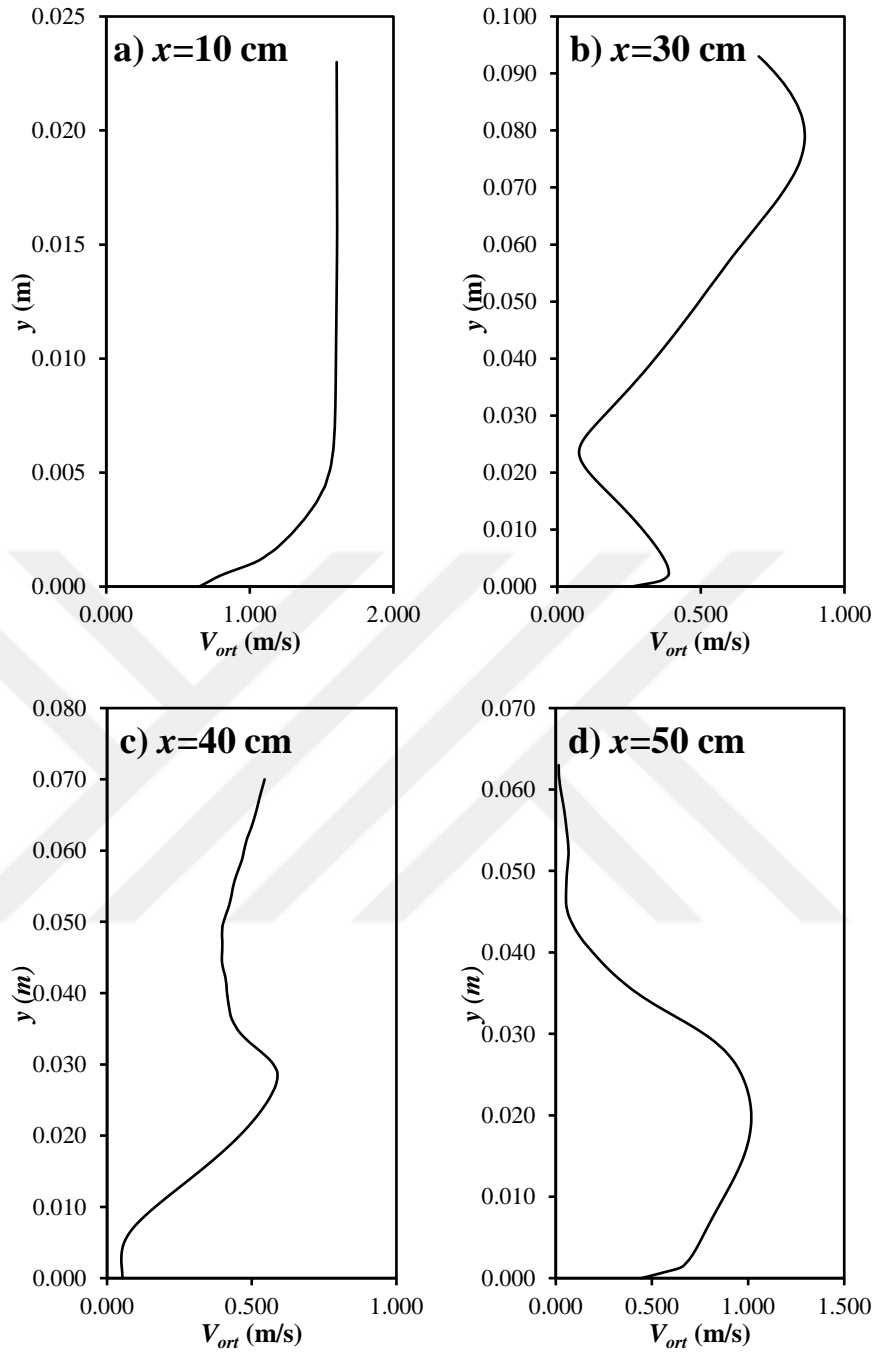
Şekil 4.12. (Devam)



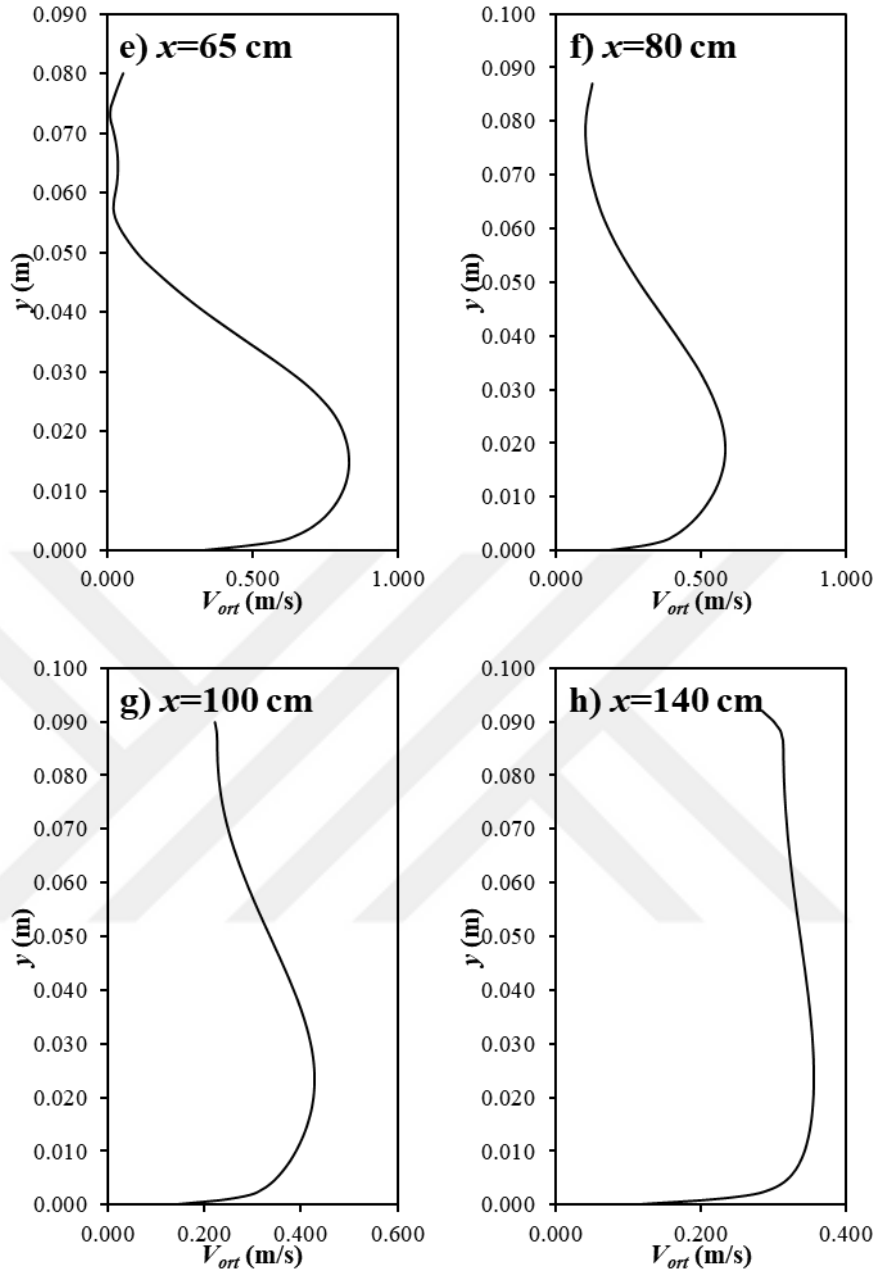
Şekil 4.13. Durum 2 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



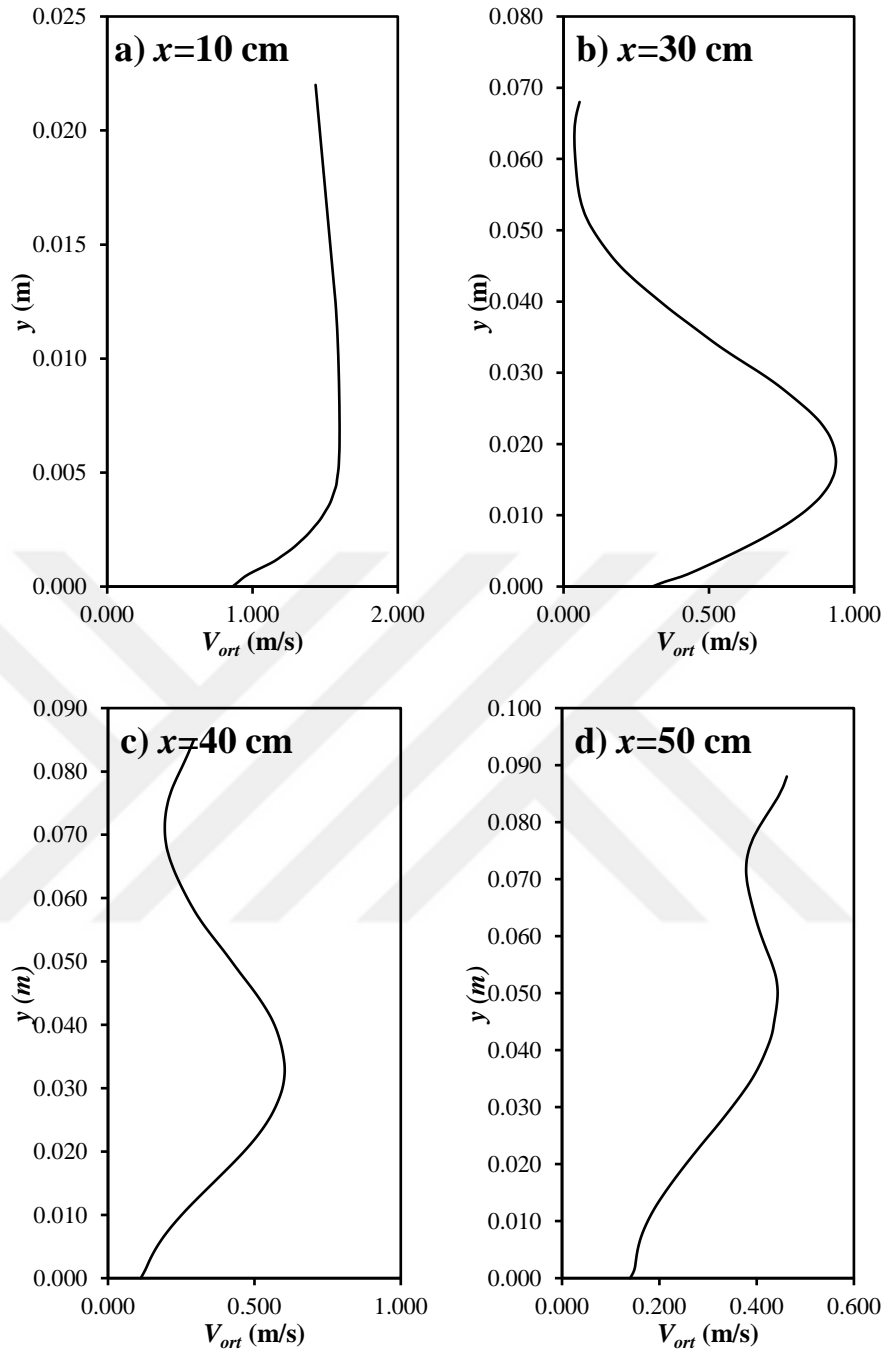
Şekil 4.13. (Devam)



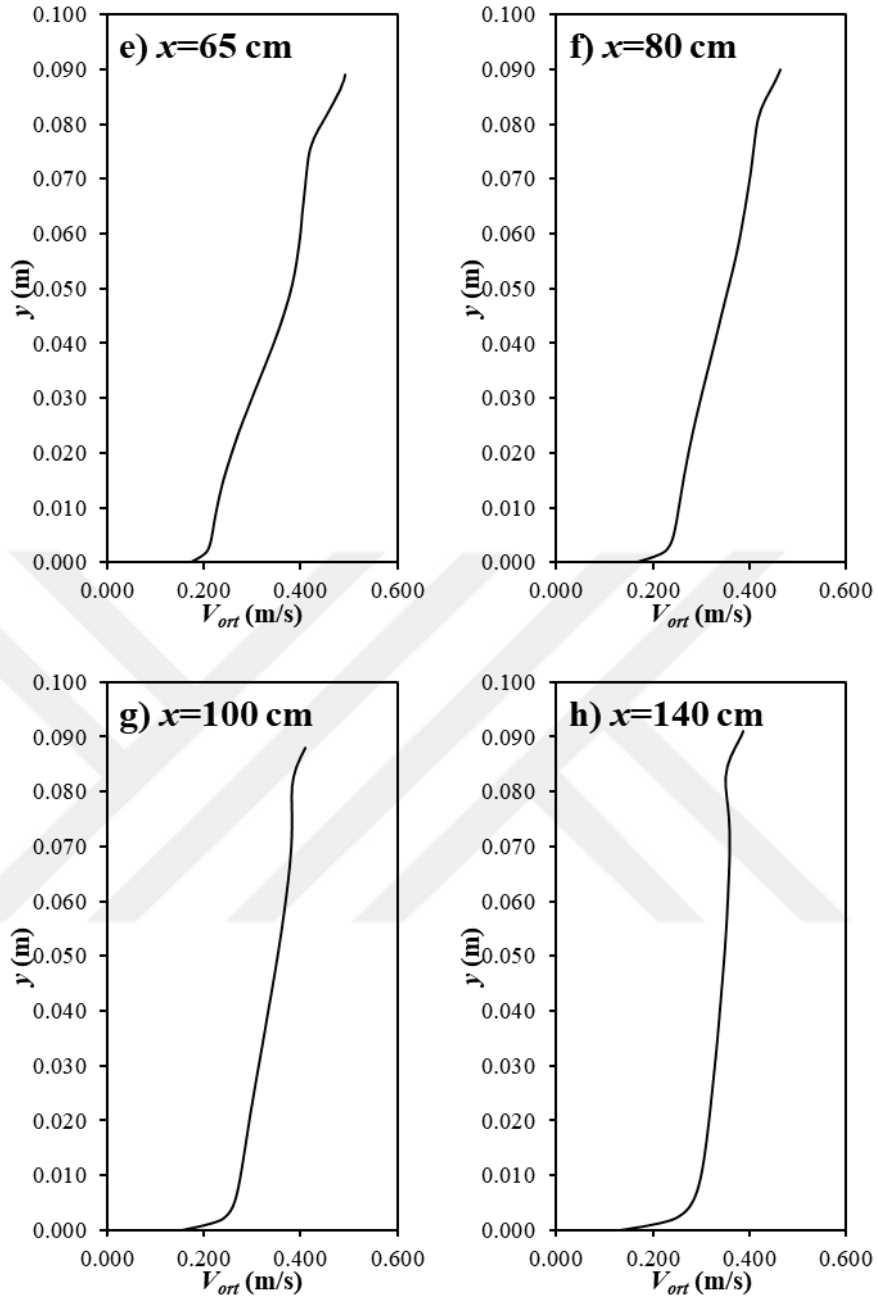
Şekil 4.14. Durum 2 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



Şekil 4.14. (Devam)



Şekil 4.15. Durum 2 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri

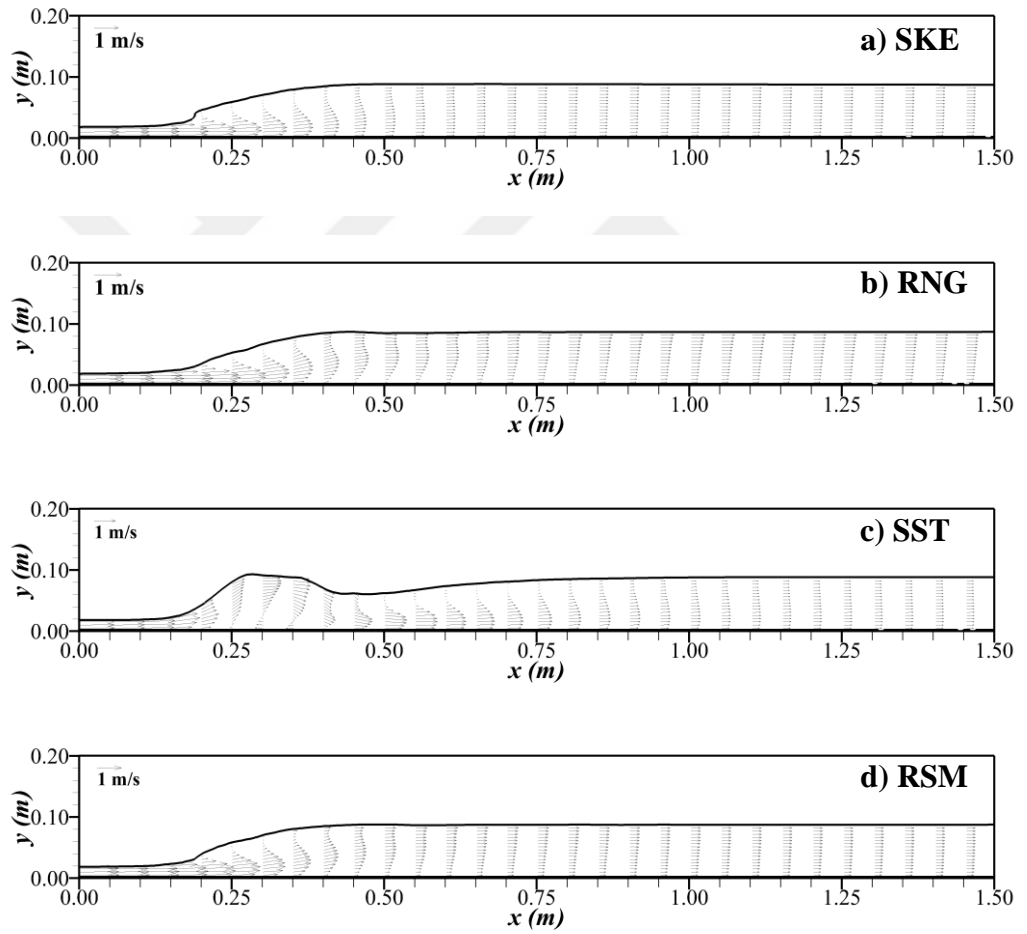


Şekil 4.15. (Devam)

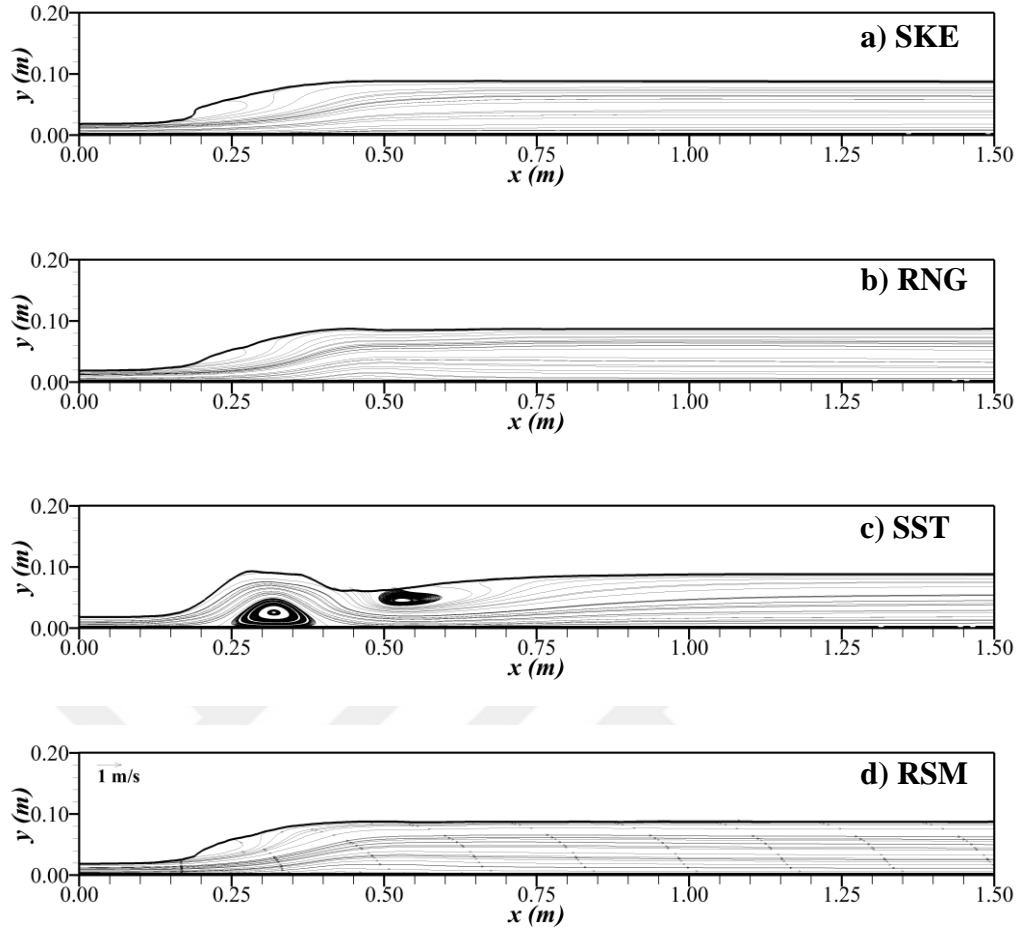
4.3.2.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=3.29$)

Durum 2 için farklı türbülans modelleriyle çalışma bölgesi boyunca elde edilen hız vektörleri Şekil 4.14'te, akım çizgilerinin dağılımı ise Şekil 4.15'te verilmiştir. Buna göre, SKE ve RSM modellerinde beklendiği gibi sıçrama öncesi kritik üstü akım durumunda yüksek hızlar bulunmakta, devamında sıçrama bölgesinde bir jet akımı

sergilemekte devamında da üniform bir açık kanal akımına dönüştüğü görülmüştür. Ancak RNG modelinde Durum 1'dekine benzer olarak akım çalışma bölgesinin sonunda bile üniform bir duruma geçmemiştir. SST modeli ise su yüzü profilinde Durum 1'e benzer olarak farklı bir sıçrama yapısı sergilediğinden jet akımı 45 cm bölgesinde meydana gelmiş sonrasında ise üniform bir açık kanal akımına dönüş eğilimi sergilemiştir. Akım çizgilerinin dağılımı incelendiğinde ise SST modelinde sıçramanın bazı bölgelerinde ayrılmalar görülürken, diğer modellerde herhangi bir ayrılma bölgesine rastlanmamıştır.



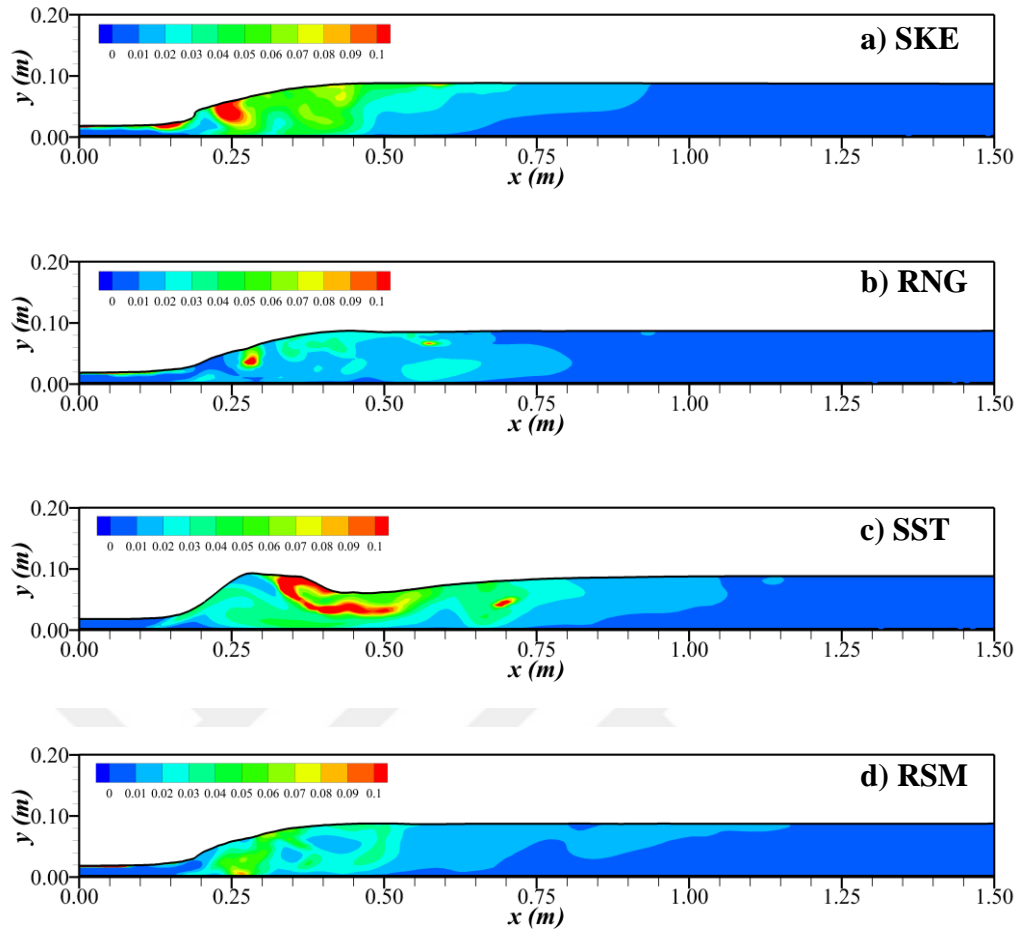
Şekil 4.16. Durum 2 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı



Şekil 4.17. Durum 2 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi

4.3.2.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=3.29$)

Durum 2 için farklı türbülans modelleri kullanılarak hesaplanan türbülans kinetik enerjilerinin (TKE) çalışma alanı boyunca dağılımı Şekil 4.16'da verilmiştir. Buna göre, en yüksek türbülans kinetik enerji değeri SKE ve SST modellerinde, en düşük türbülans kinetik enerji değeri ise RSM modelinde belirlenmiştir. Çalışma alanı için ele alına en düşük skala TKE değeri 0.01 olup bu değer SKE, RNG, SST ve RSM için sırasıyla 0.97 m, 0.80 m, 1.05 m ve 1.15 m'de meydana gelmiştir.



Şekil 4.18. Durum 2 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı

4.3.3. Durum 3'e ($Fr_1=4.31$) ait bulgular

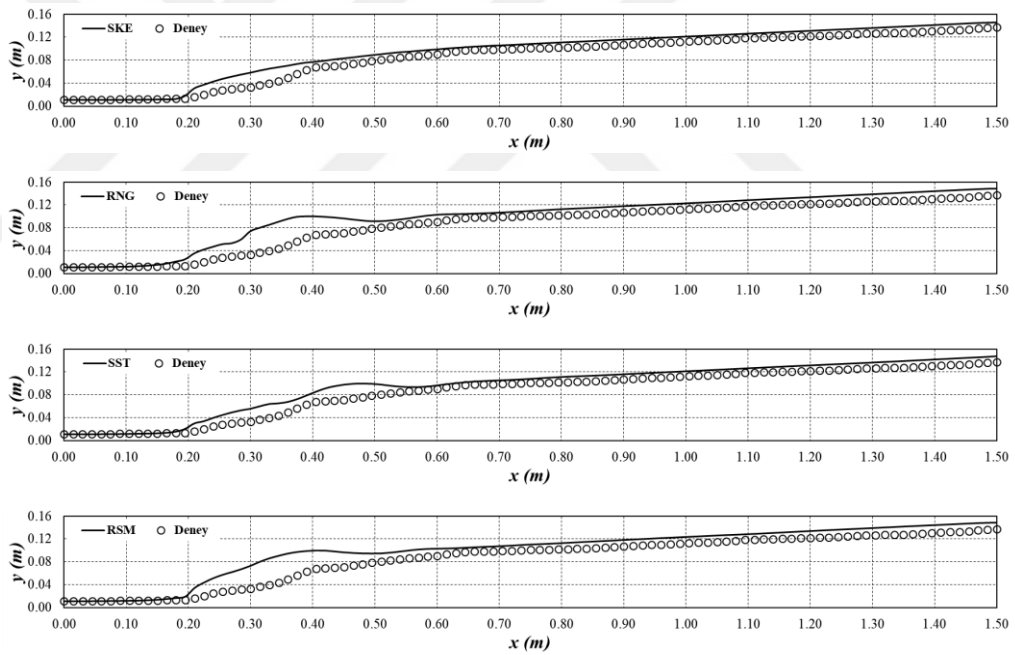
4.3.3.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=4.31$)

$Fr_1=4.31$ için deneysel olarak ölçülen su yüzü profili sonuçları sayısal olarak farklı türbülans kapatma modellerine göre yapılan çözüm sonuçları OKH ve OMGH parametrelerine göre karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre, ele alınan tüm modellerin sıçramayı belirlemede çok başarılı olmadığı, SKE modelinin ise OKH değerlerine göre en başarılı model olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Durum 3 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri

	OKH (cm ² /s ²)	OMGH (%)
SKE	1.110	15.590
RNG	2.921	23.692
RSM	3.165	24.071
SST	1.398	16.153

SKE, RNG, SST ve RSM türbülans kapatma modelleri ile elde edilen su yüzü profillerinin grafiksel karşılaştırılması Şekil 4.19’da verilmiştir. Buna göre, tüm modellerin sıçrama bölgesini modellemede yetersiz kaldığı ve deneysel verilerden yüksek bir profil belirlediği görülmüştür. Bunun yanında sayısal olarak hesaplanan sıçrama sonrası derinliğin deneysel verilerden biraz yüksek olduğu belirlenmiştir.

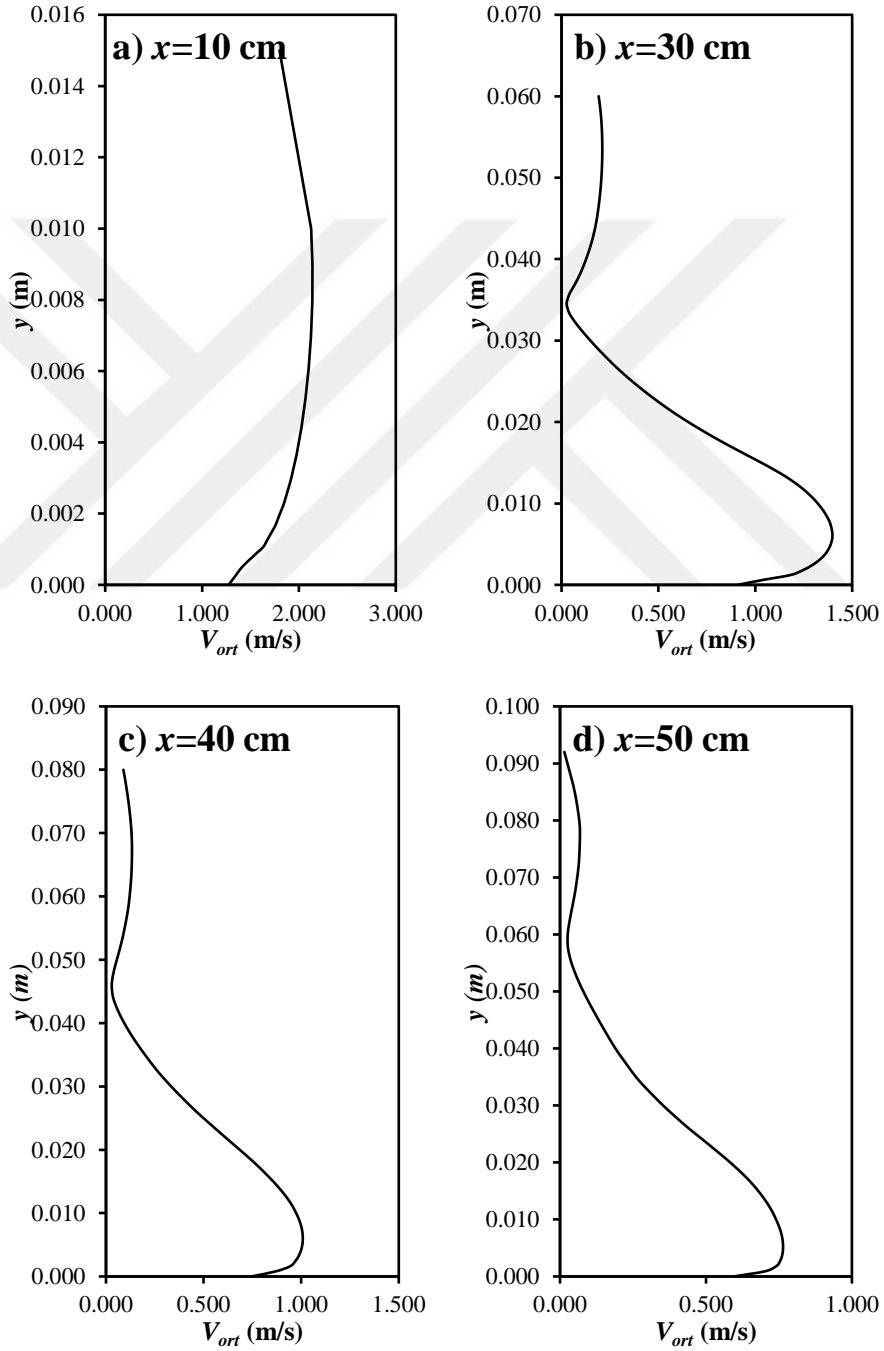


Şekil 4.19. Durum 3 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri

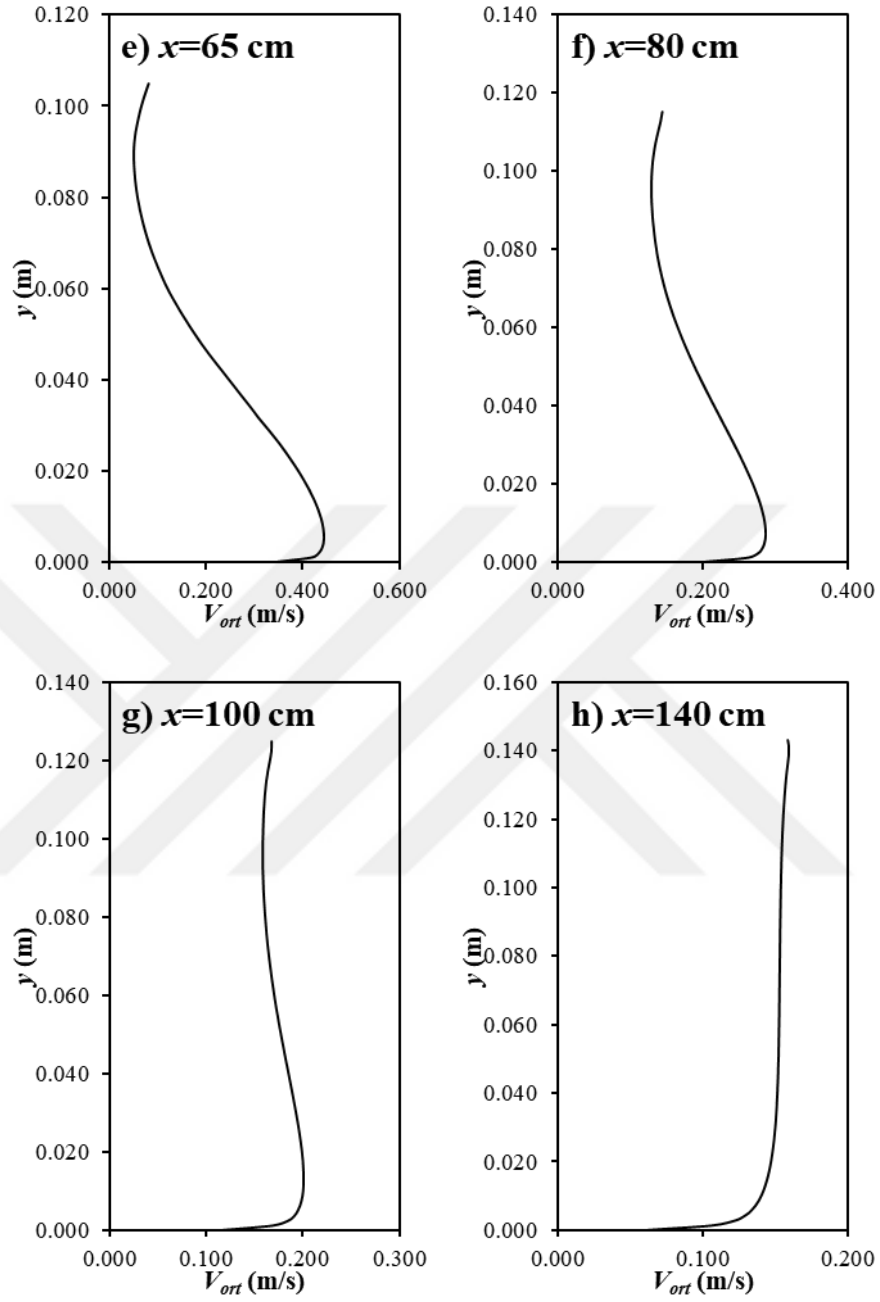
4.3.3.2. Hız profilleri ($Fr_1=4.31$)

Durum 3 için sayısal olarak hesaplanan hız profilleri SKE, RNG, SST ve RNG için Şekil 4.20-Şekil 4.23’te verilmiştir. Buna göre, tüm modellerde sıçrama öncesi ($x=10$ cm) oluşan hız profillerinin ortalama hız değerleri 2 m/s civarında olup benzer

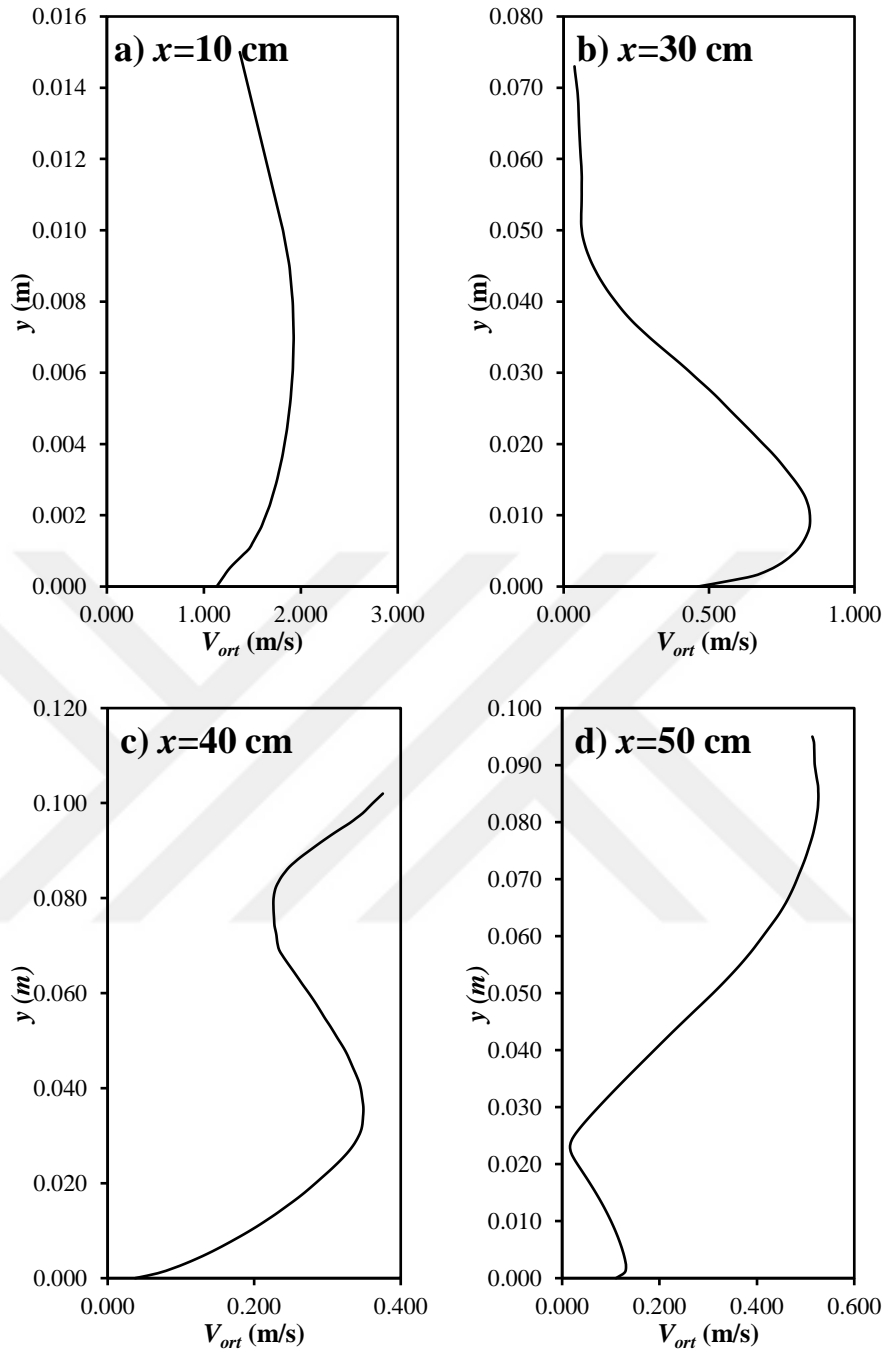
bir oluşum sergilemektedir. Sıçramanın başladığı noktadan 10 cm uzaklıkta alınan $x=30$ cm için tüm modellerin benzer bir profil belirlediği görülmüştür. Ancak sonki kesitlerde sadece SKE modeli jet akımının yavaş bir şekilde açık kanal akımına dönüş eğilimini göstermişken, diğer modeller ise $x=140$ cm'de hızlı bir şekilde tipik açık kanal akım profiline bir geçiş sağladığı görülmüştür.



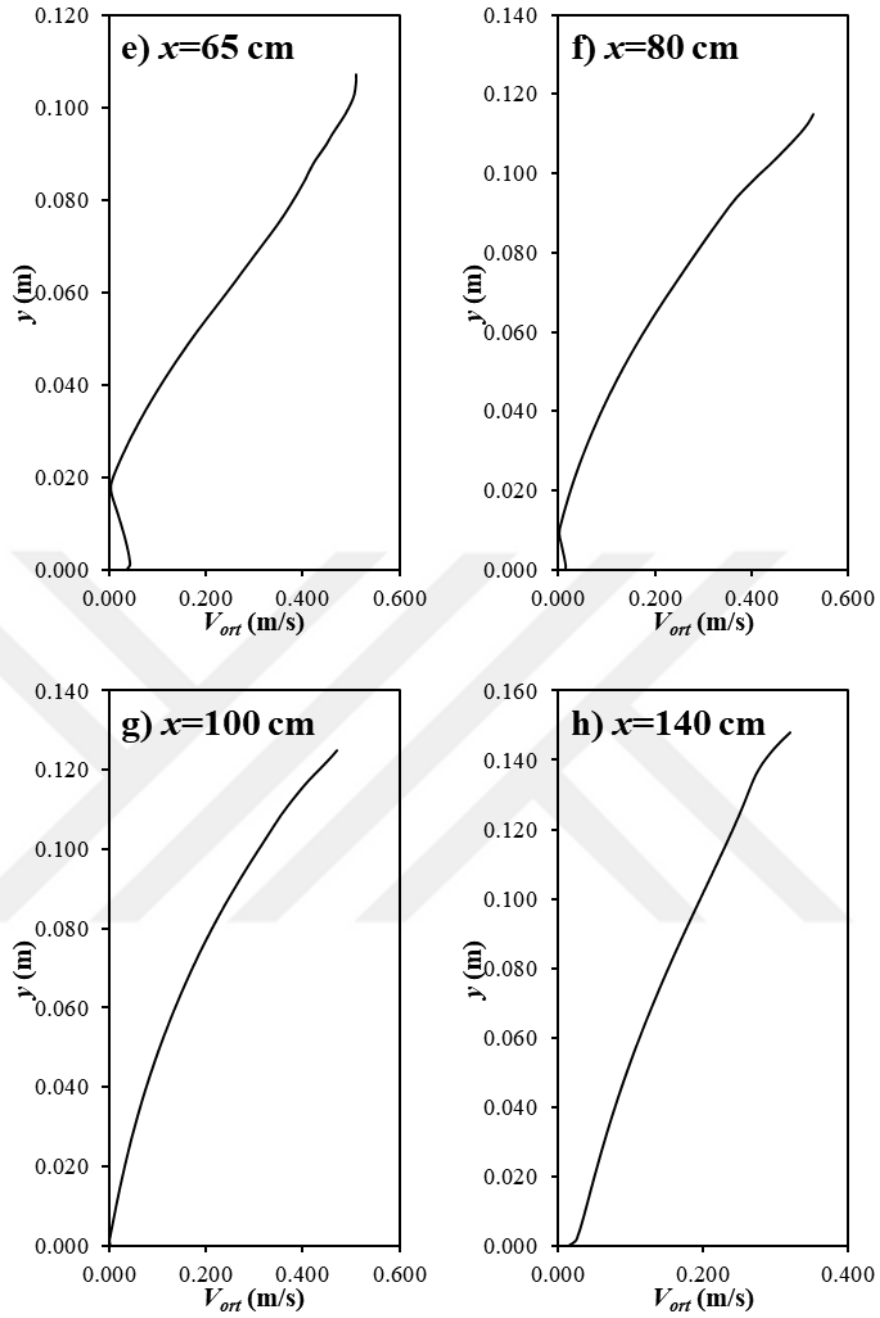
şekil 4.20. Durum 3 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



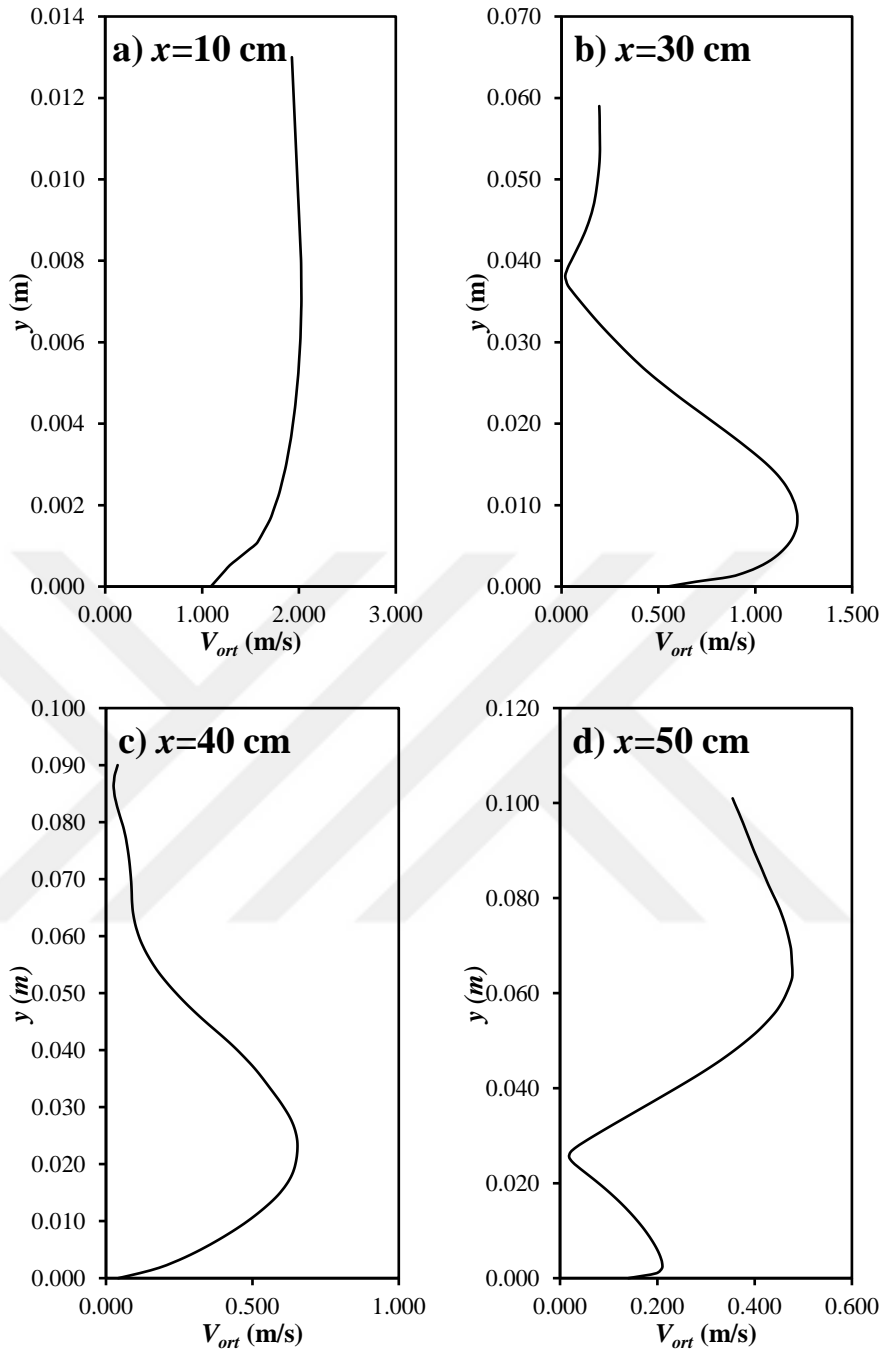
Şekil 4.20. (Devam)



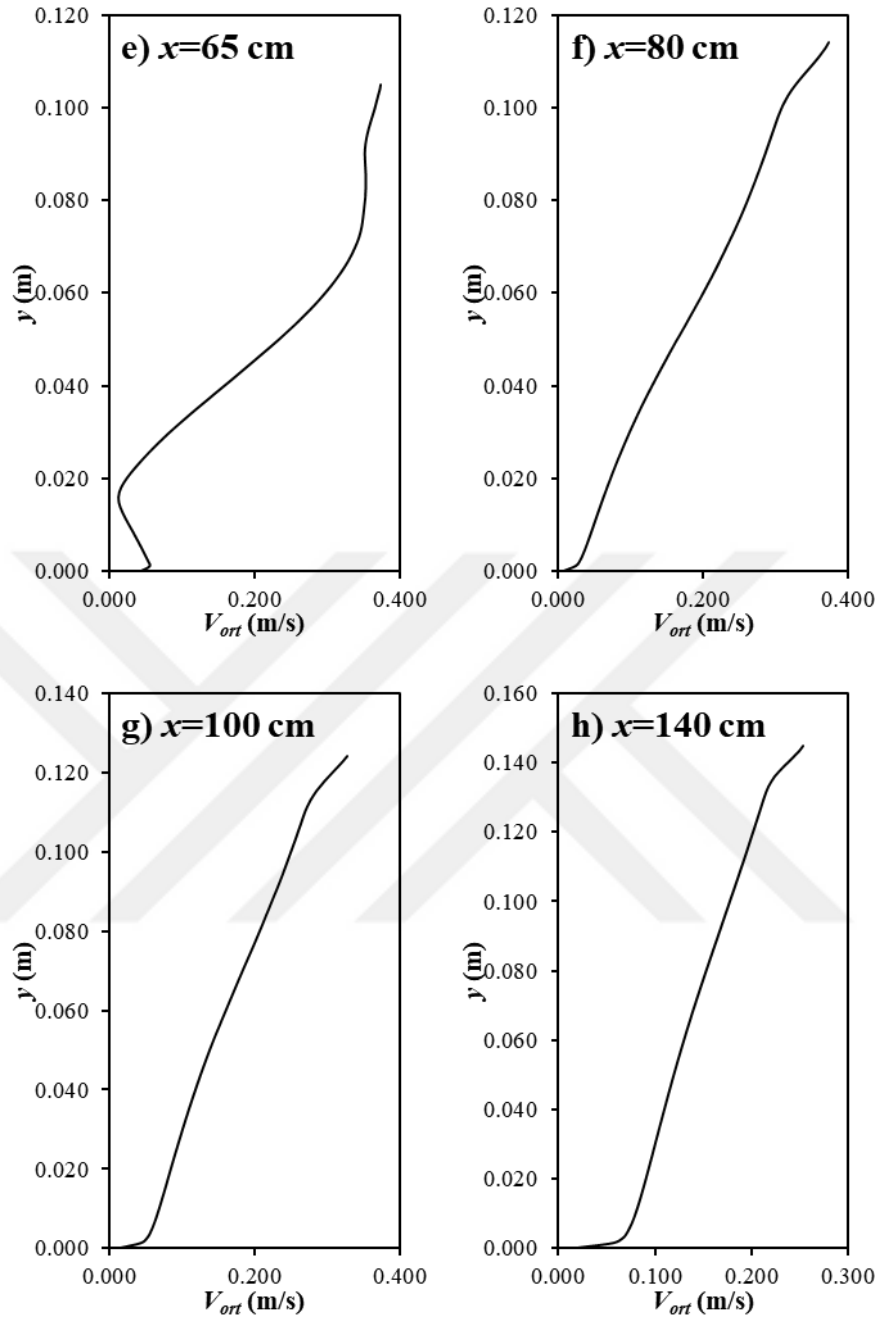
Şekil 4.21. Durum 3 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



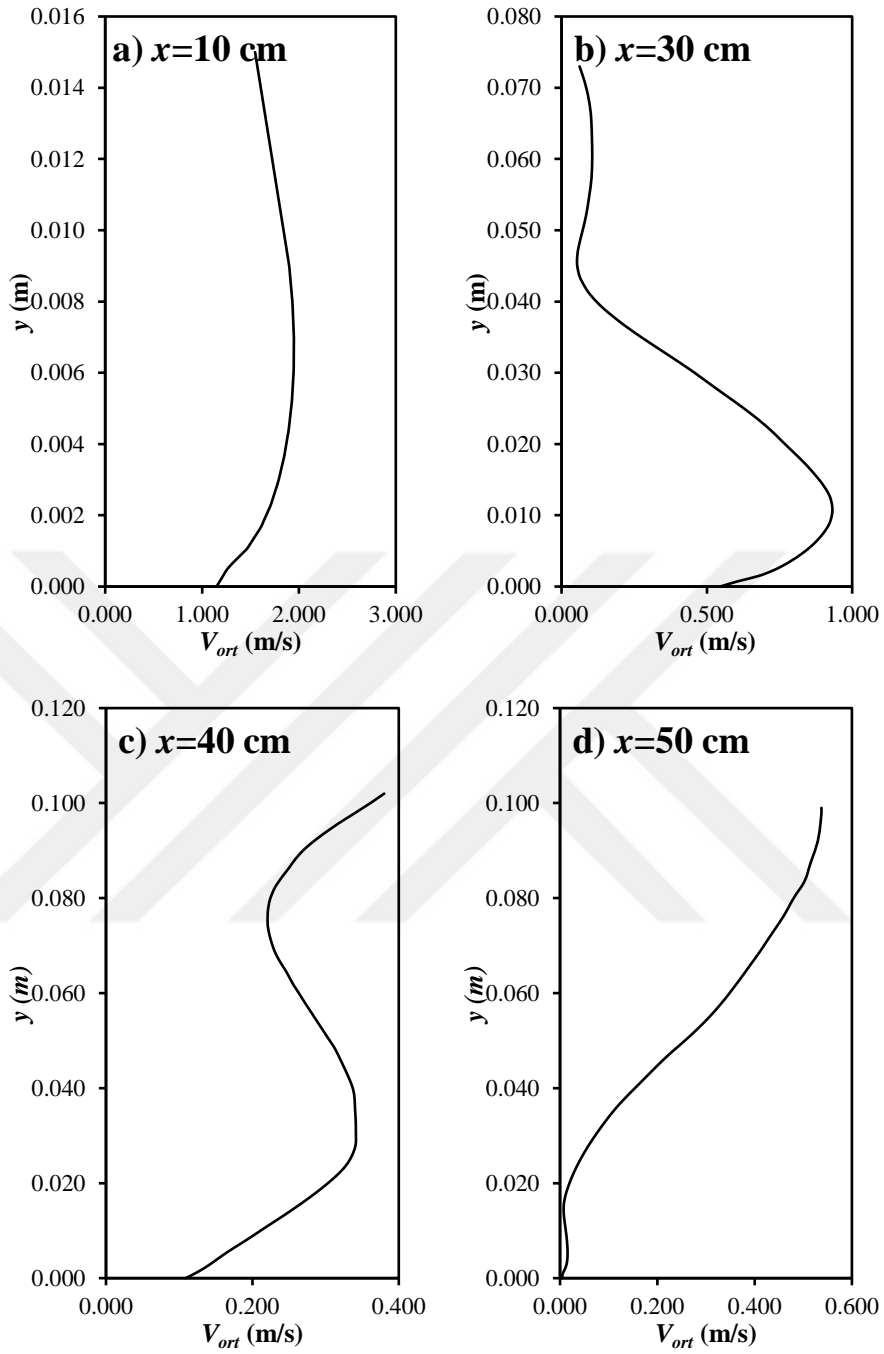
Şekil 4.21. (Devam)



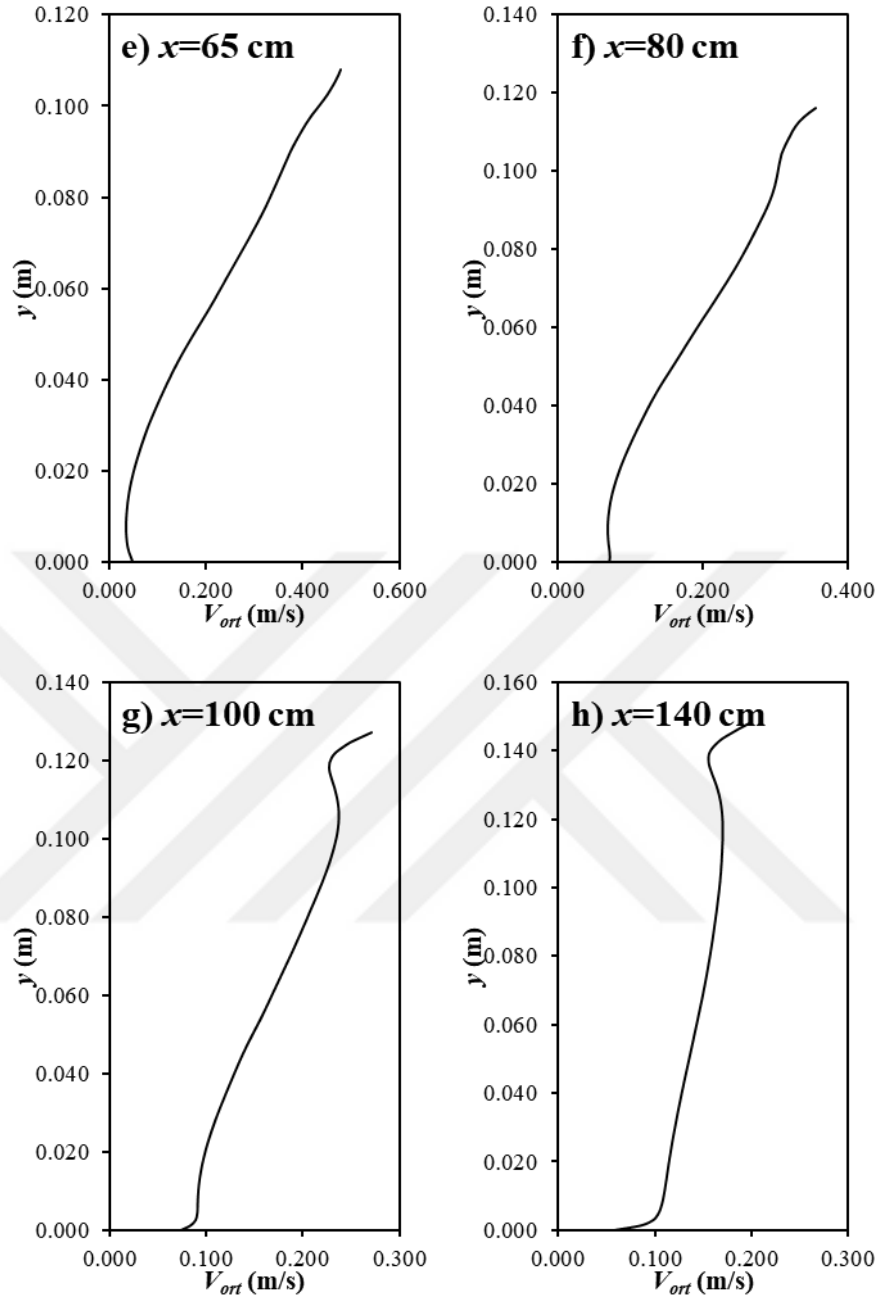
Şekil 4.22. Durum 3 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



Şekil 4.22. (Devam)



Şekil 4.23. Durum 3 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri

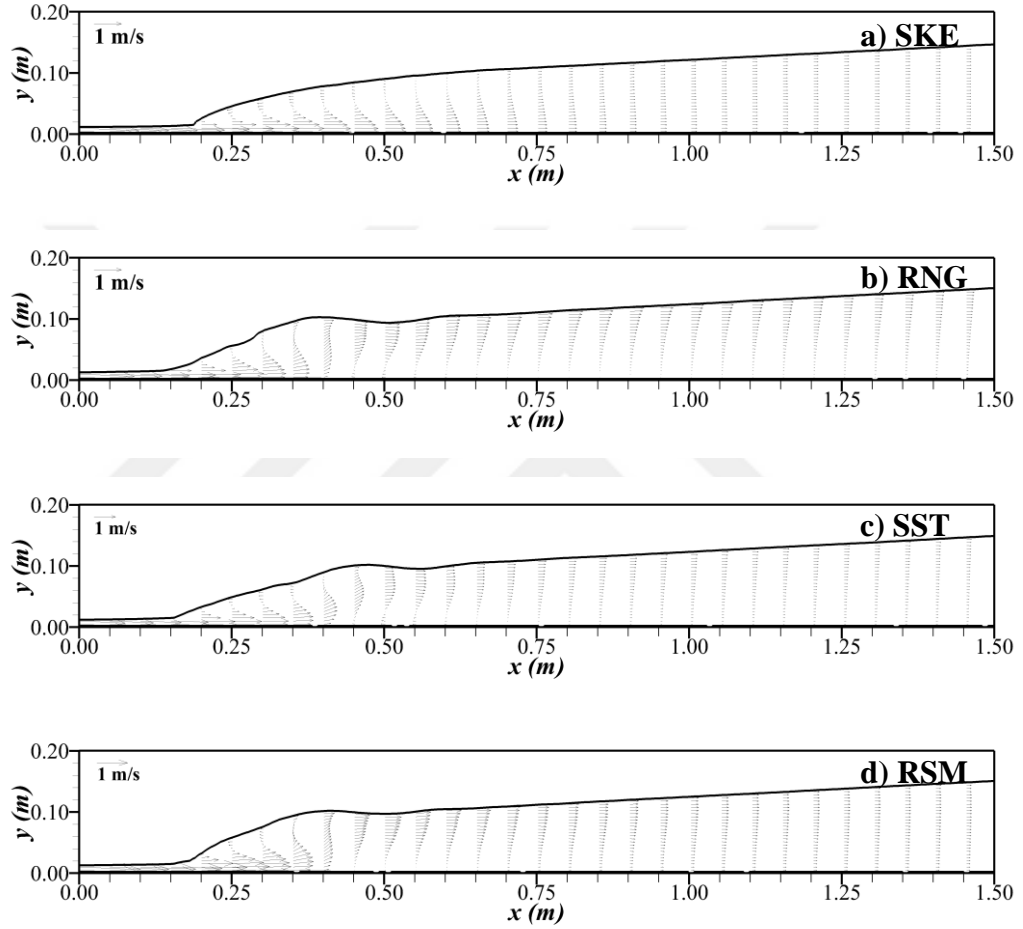


Şekil 4.23. (Devam)

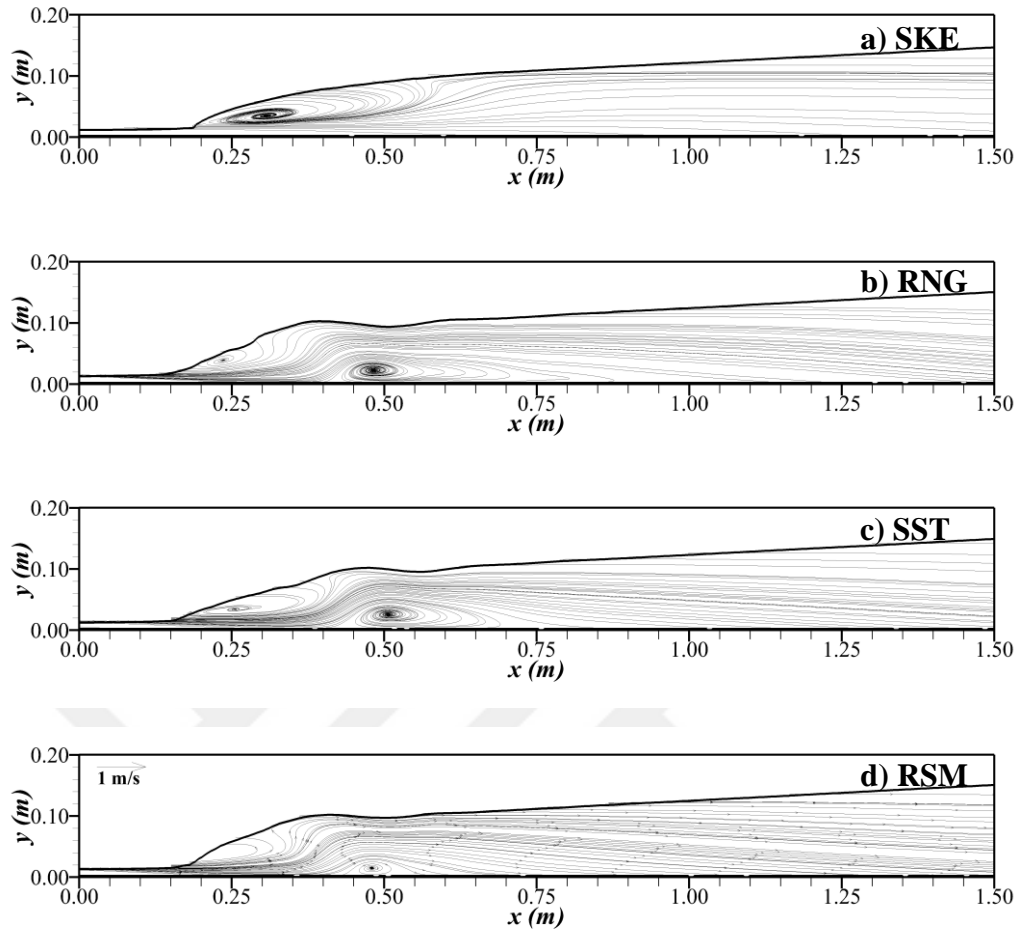
4.3.3.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=4.31$)

Durum 3 için farklı türbülans modelleriyle çalışma bölgesi boyunca elde edilen hız vektörleri Şekil 4.24'te, akım çizgilerinin dağılımı ise Şekil 4.25'te verilmiştir. Buna göre, SKE modelinde diğer durumlarda da görülen sıçrama öncesi kritik üstü akım durumunda yüksek hızlar bulunmakta, devamında sıçrama bölgesinde bir jet

akımı sergilemekte devamında da üniform bir açık kanal akımına dönüştüğü görülmüştür. Şekil 4.25'te verilen akım çizgilerinin yapısı incelendiğinde, RNG, SST ve RSM modellerinde $x=50$ cm'de bir ayrılma bölgesi meydana gelmiş, ancak SKE modelinde ortalama akım değerlerine göre bir ayrılma meydana gelmediği görülmektedir.



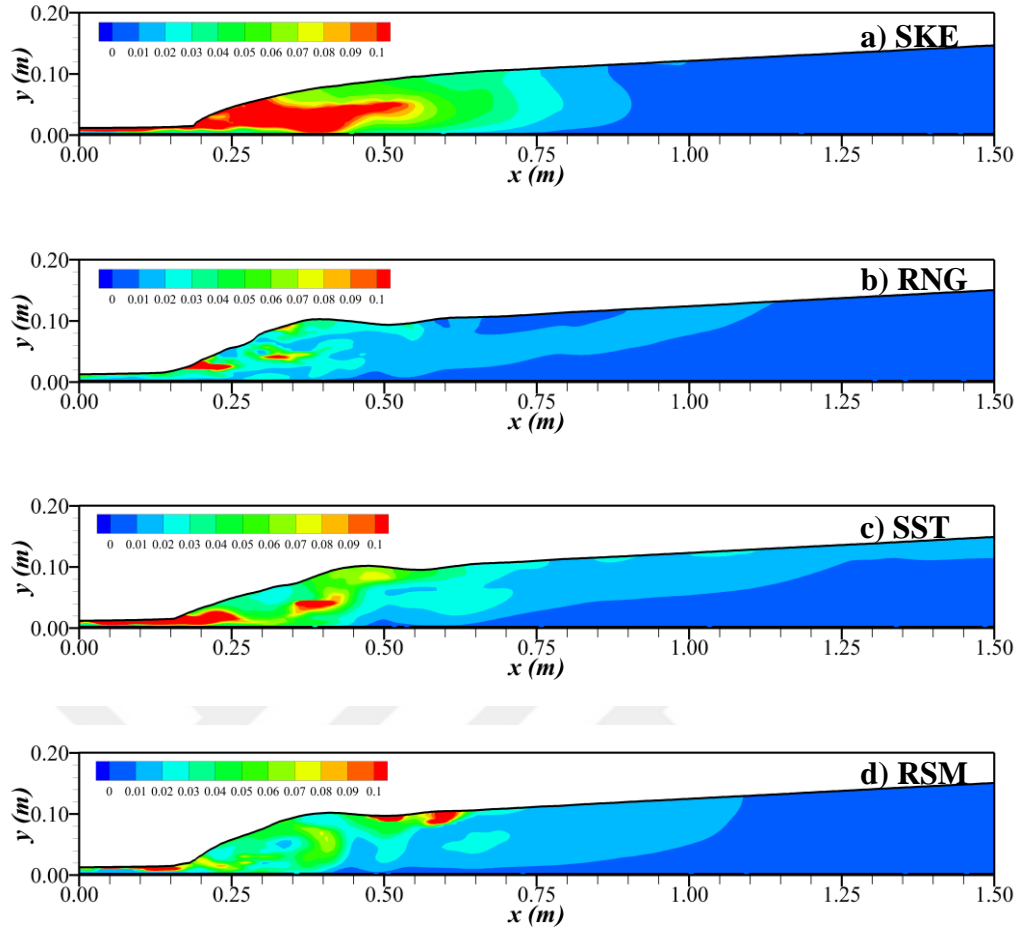
Şekil 4.24. Durum 3 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı



Şekil 4.25. Durum 3 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi

4.3.3.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=4.31$)

Durum 3 için farklı türbülans modelleri kullanılarak hesaplanan türbülans kinetik enerjilerinin (TKE) çalışma alanı boyunca dağılımı Şekil 4.26'da verilmiştir. Buna göre, en yüksek türbülans kinetik enerji değeri SKE ve RSM modellerinde, en düşük türbülans kinetik enerji değeri ise RNG modelinde belirlenmiştir. Çalışma alanı için ele alına en düşük skala TKE değeri $0.01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olup bu değer SKE, RNG, SST ve RSM için sırasıyla 0.90 m, 1.15 m, 1.50 m ve 1.10 m'de meydana gelmiştir.



Şekil 4.26. Durum 3 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı

4.3.4. Durum 4'e ($Fr_1=6.77$) ait bulgular

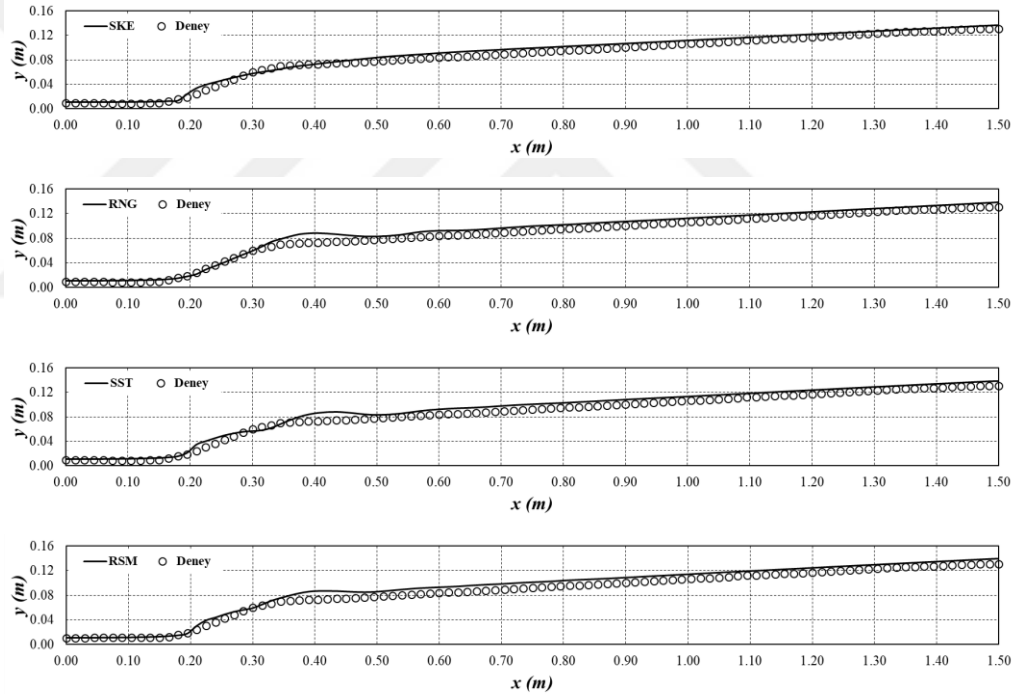
4.3.4.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1=6.77$)

Farklı türbülans kapatma modellerinin su yüzü profilini belirleme performansını test etmek OKH ve OMGH değerleri Çizelge 4.6' de sunulmuştur. Buna göre, ele alınan en düşük Froude sayısına sahip akımda su yüzünü belirlemede en başarılı türbülans kapatma modeli SKE olarak belirlenmiştir. Ancak, diğer modellerin de deneysel sonuçlara yakın çözüm yaptığı çizelgedeki değerlerden anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.6. Durum 4 için elde edilen OKH ve OMGH değerleri

	OKH (cm^2/s^2)	OMGH (%)
SKE	0.280	8.006
RNG	0.464	9.236
RSM	0.564	10.674
SST	0.506	10.266

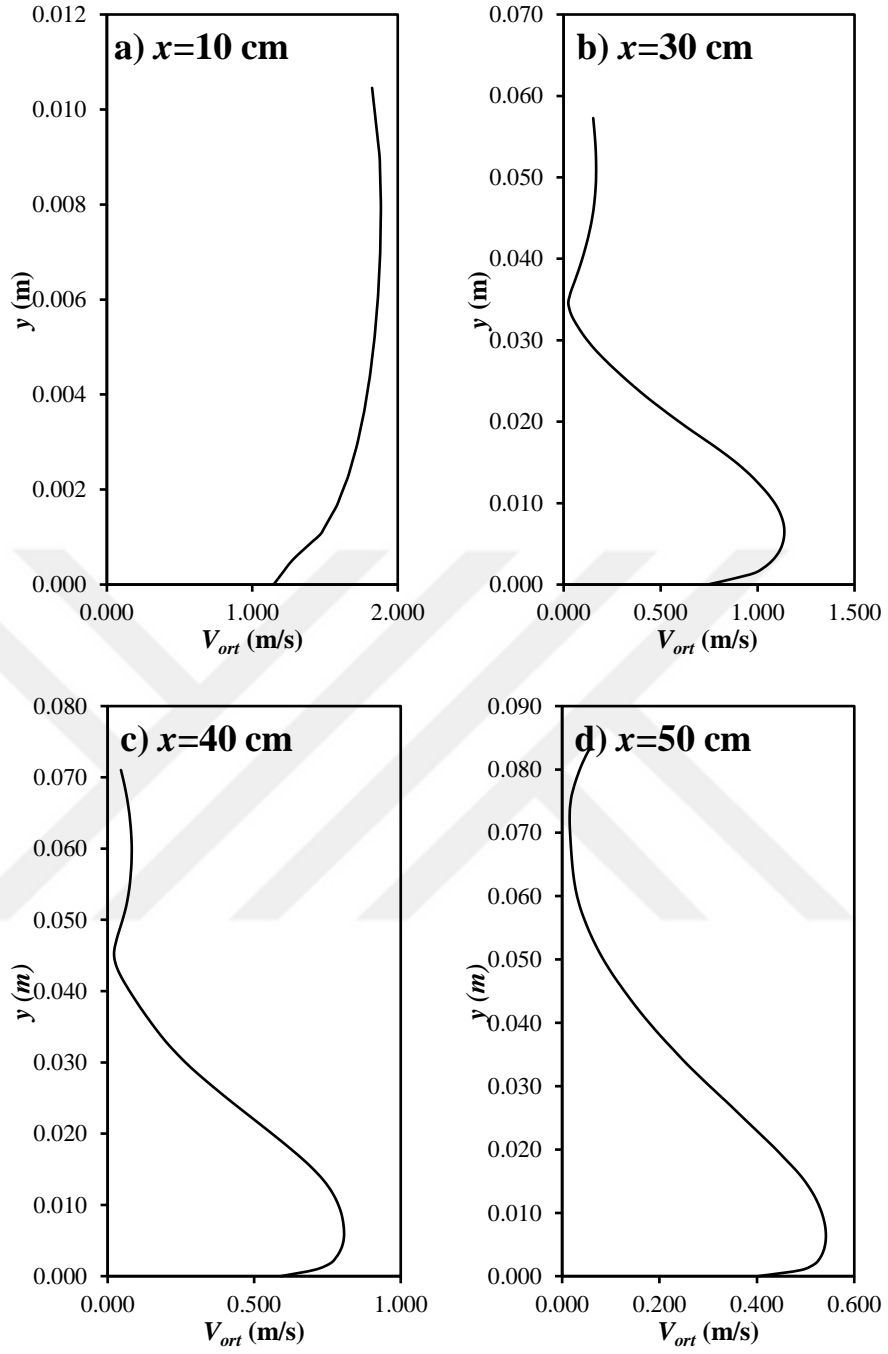
Ele alınan farklı türbülans modelleri ile elde edilen su yüzü profillerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 4.27’de verilmiştir. Buna göre tüm çalışma alanı boyunca en başarılı modelin SKE olduğu şekillerden anlaşılmaktadır. Bunun yanında sıçrama bölgesi sonrasında meydana gelen akımın su yüzü profilini belirlemede tüm modellerin benzer olarak başarılı olduğu görülmüştür.



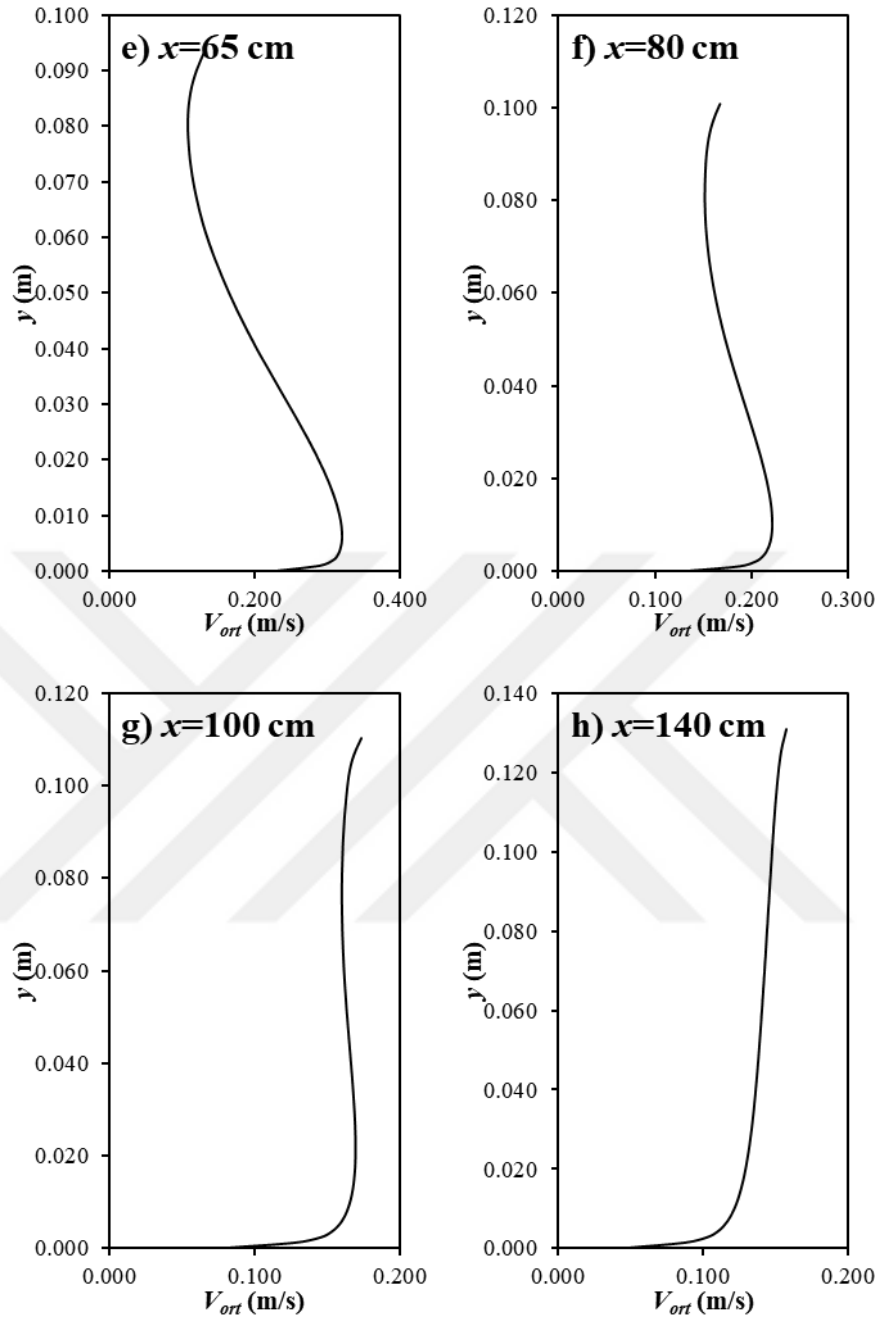
Şekil 4.27. Durum 4 için elde edilen sayısal ve deneysel su yüzü profilleri

4.3.4.2. Hız profilleri ($Fr_1=6.77$)

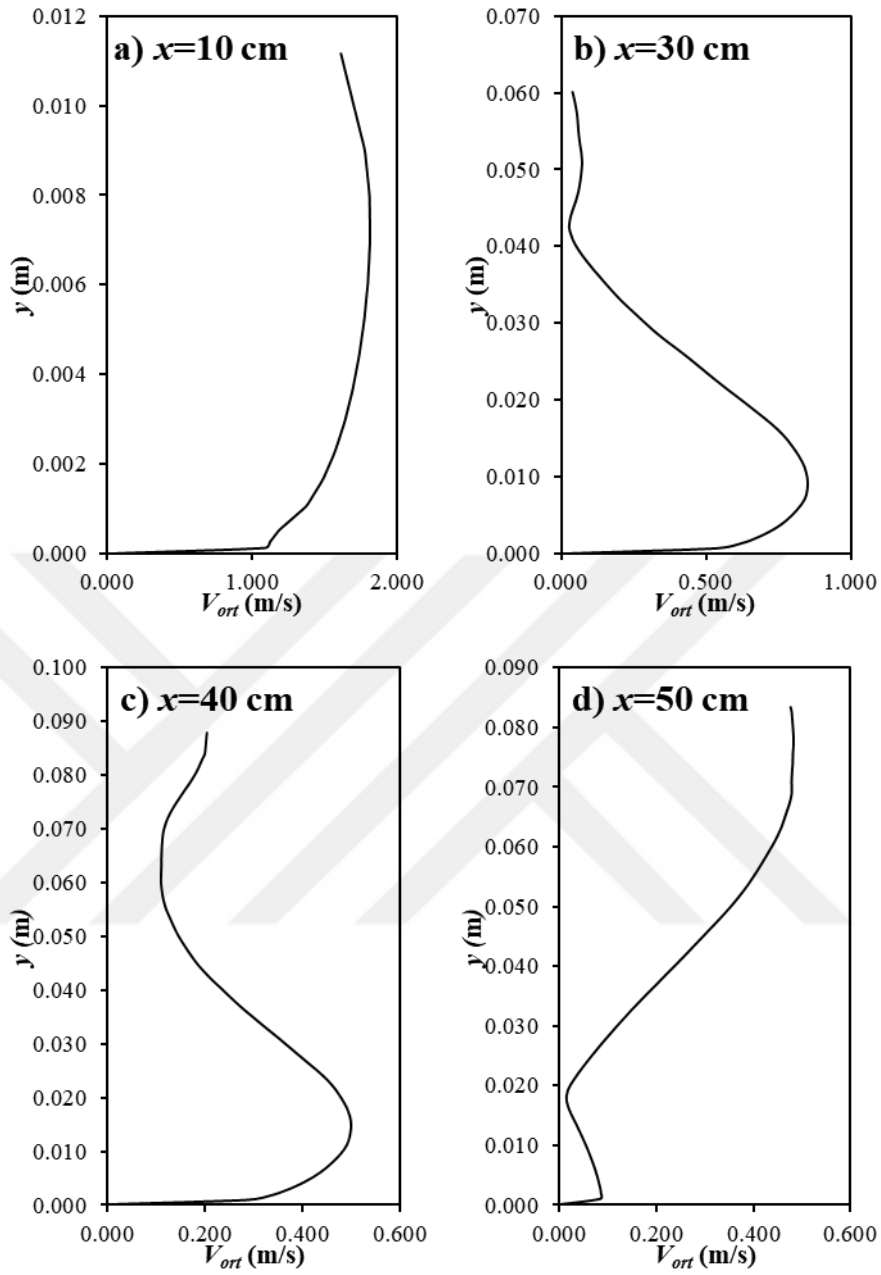
Durum 4 için sayısal olarak hesaplanan hız profilleri SKE, RNG, SST ve RNG için Şekil 4.28-Şekil 4.31’de verilmiştir. Buna göre, diğer durumlara benzer sonuçlar elde edilmiş ve SKE modeli diğer durumlara benzer bir yapı sergilemiştir.



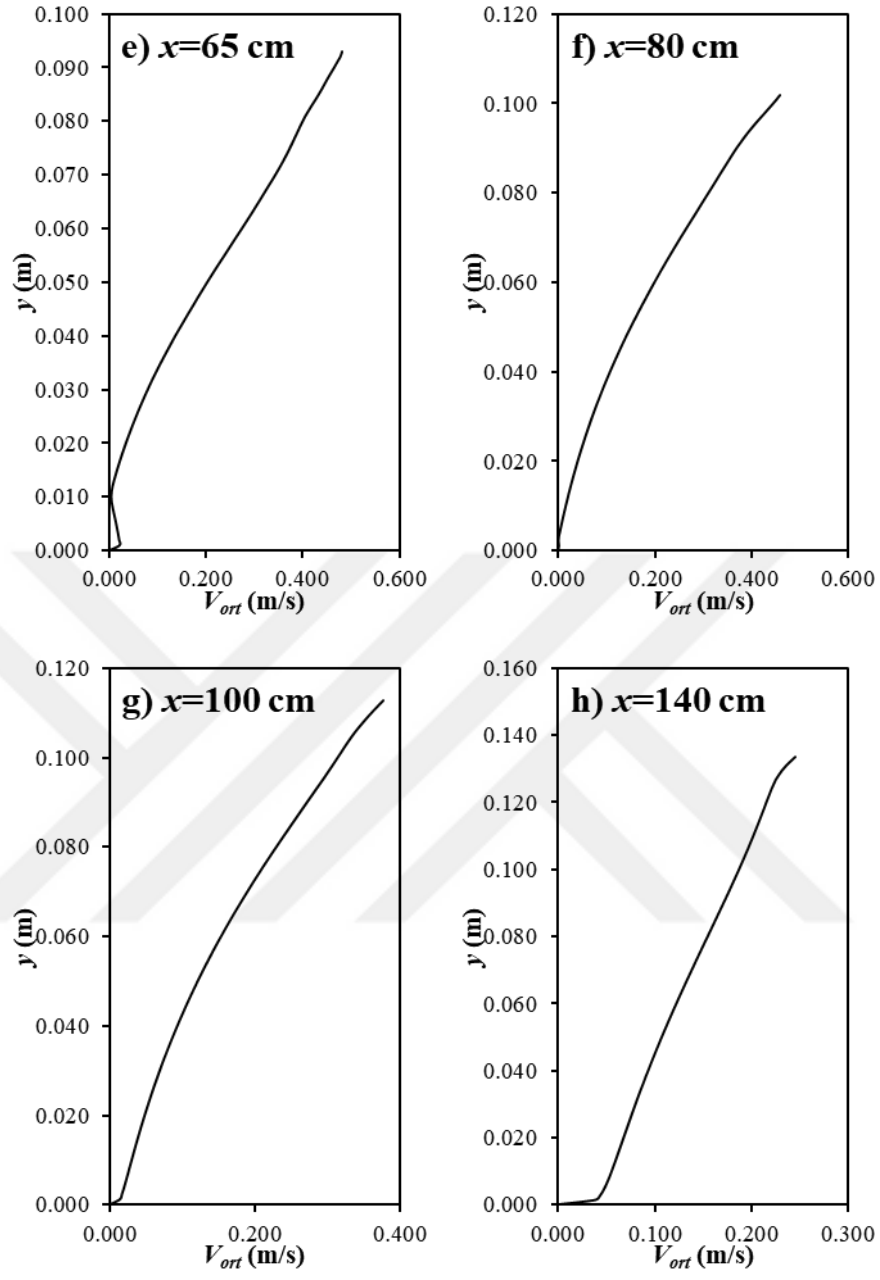
Şekil 4.28. Durum 4 için SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



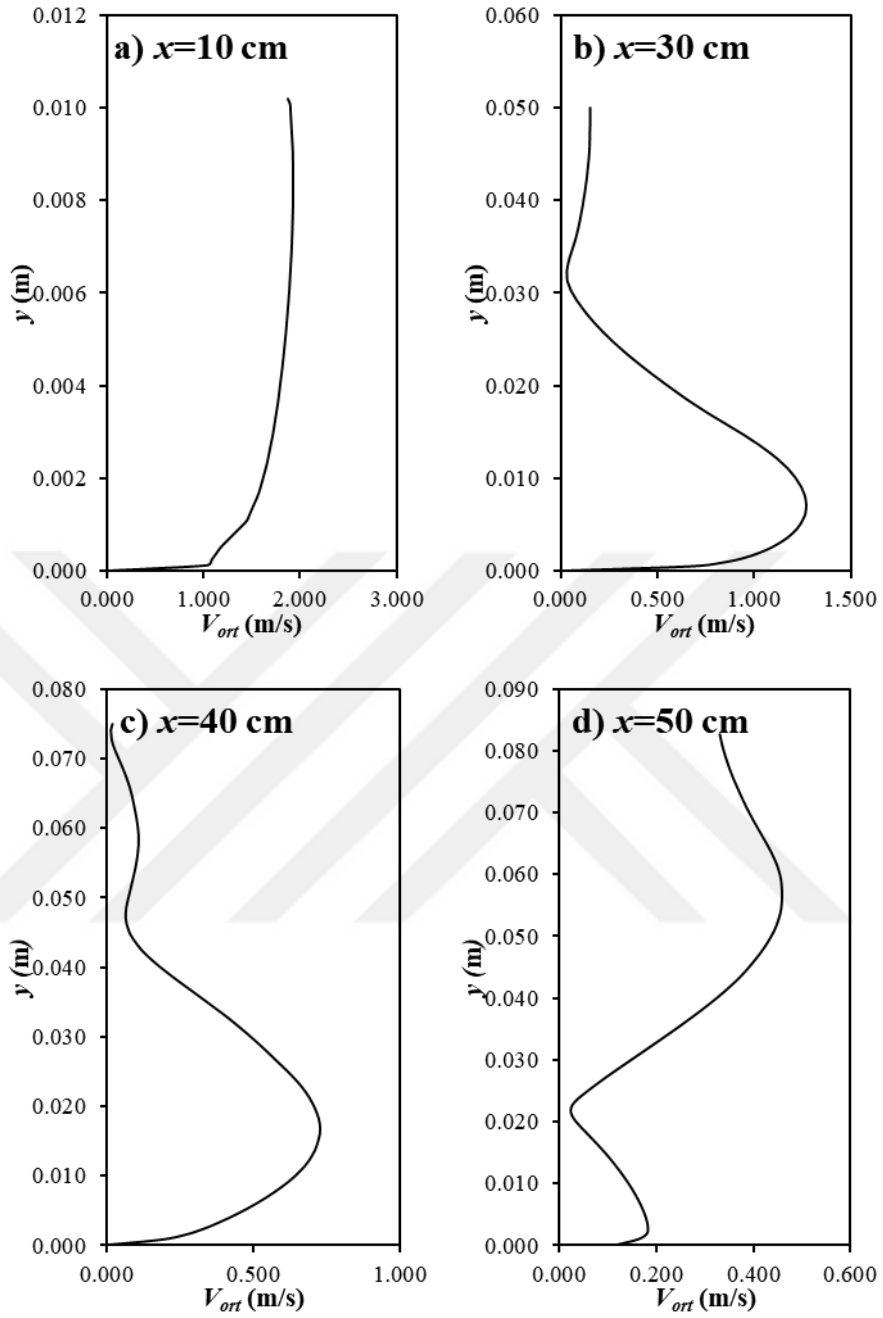
Şekil 4.28. (Devam)



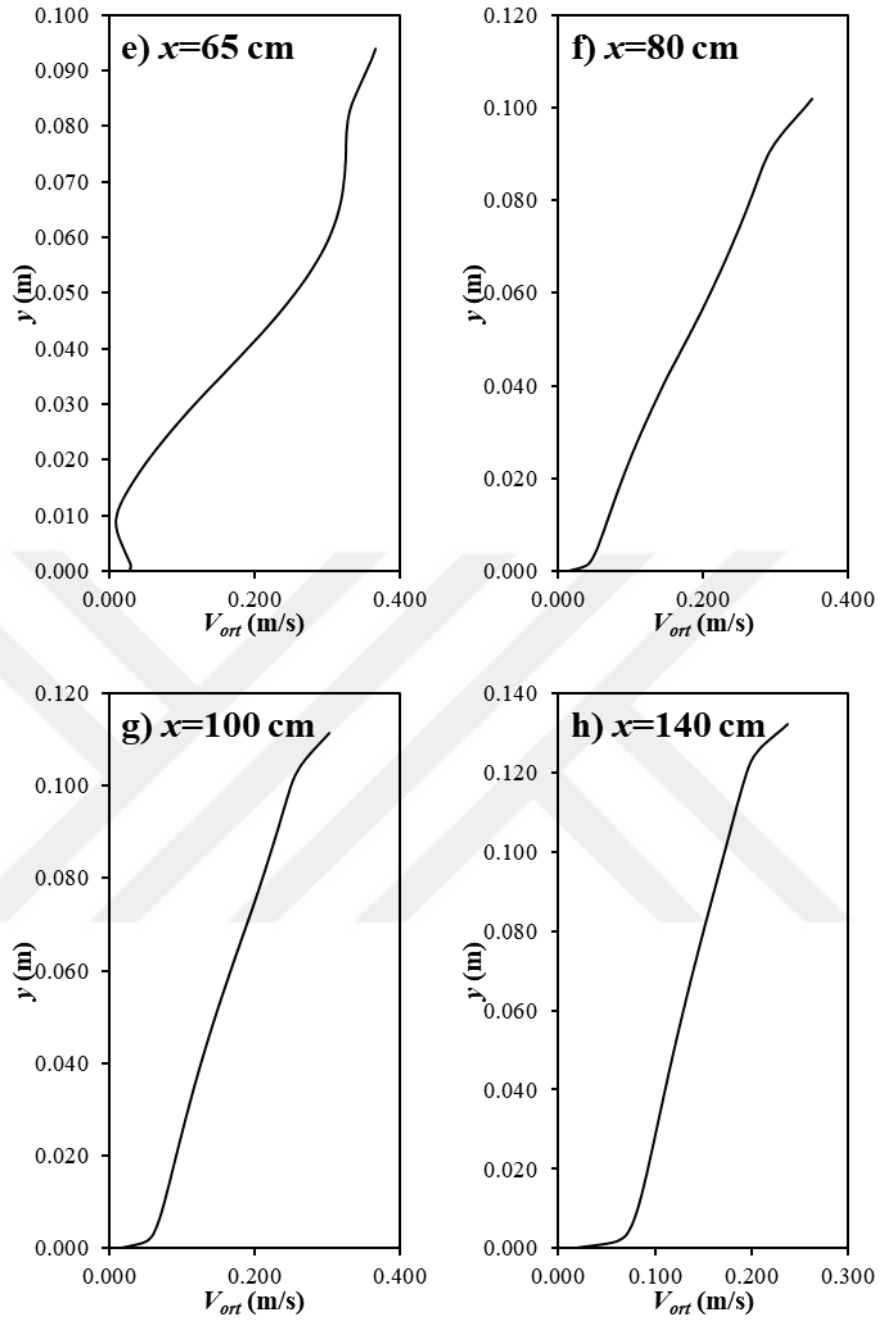
Şekil 4.29. Durum 4 için RNG modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



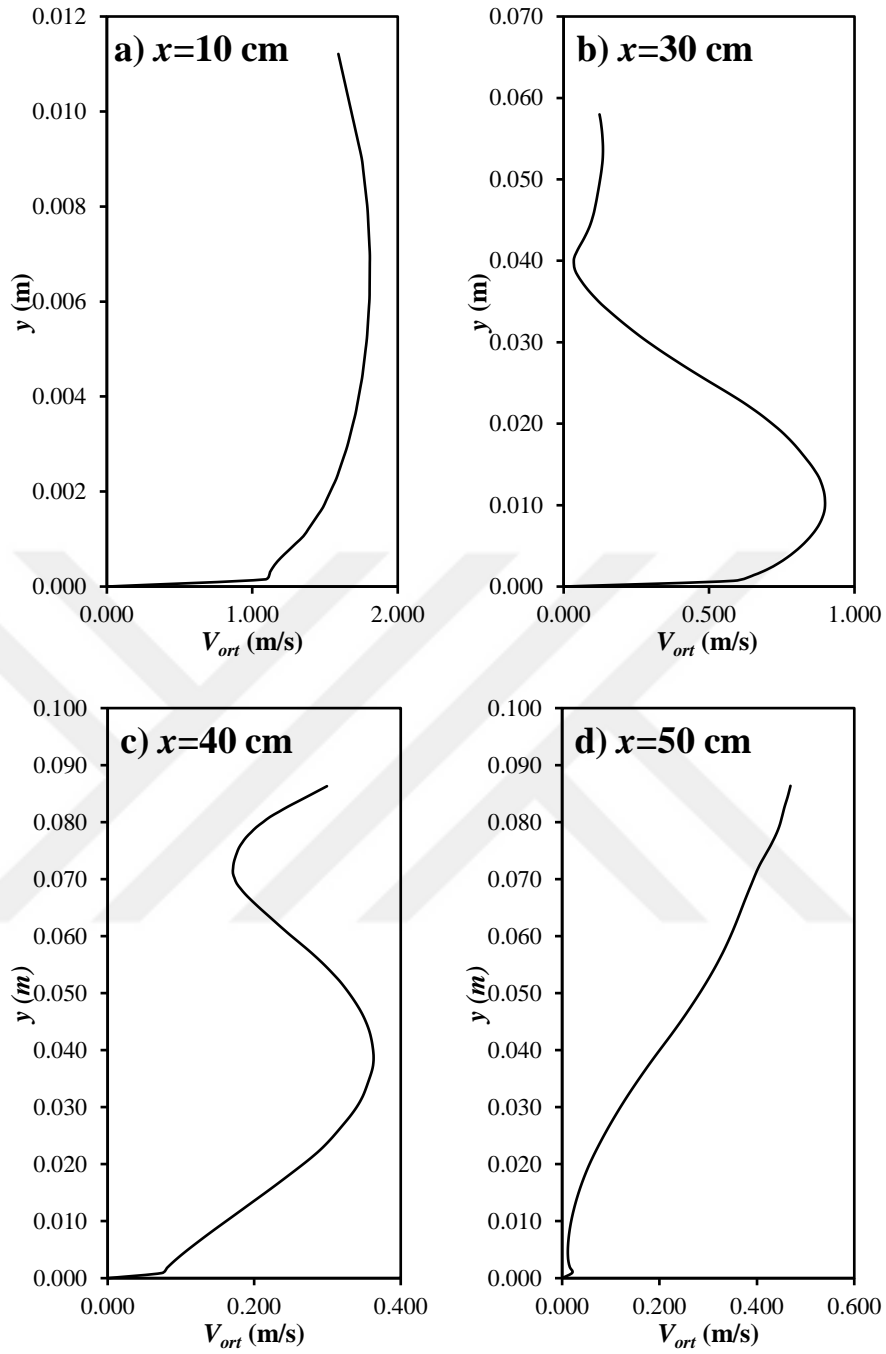
Şekil 4.29. (Devam)



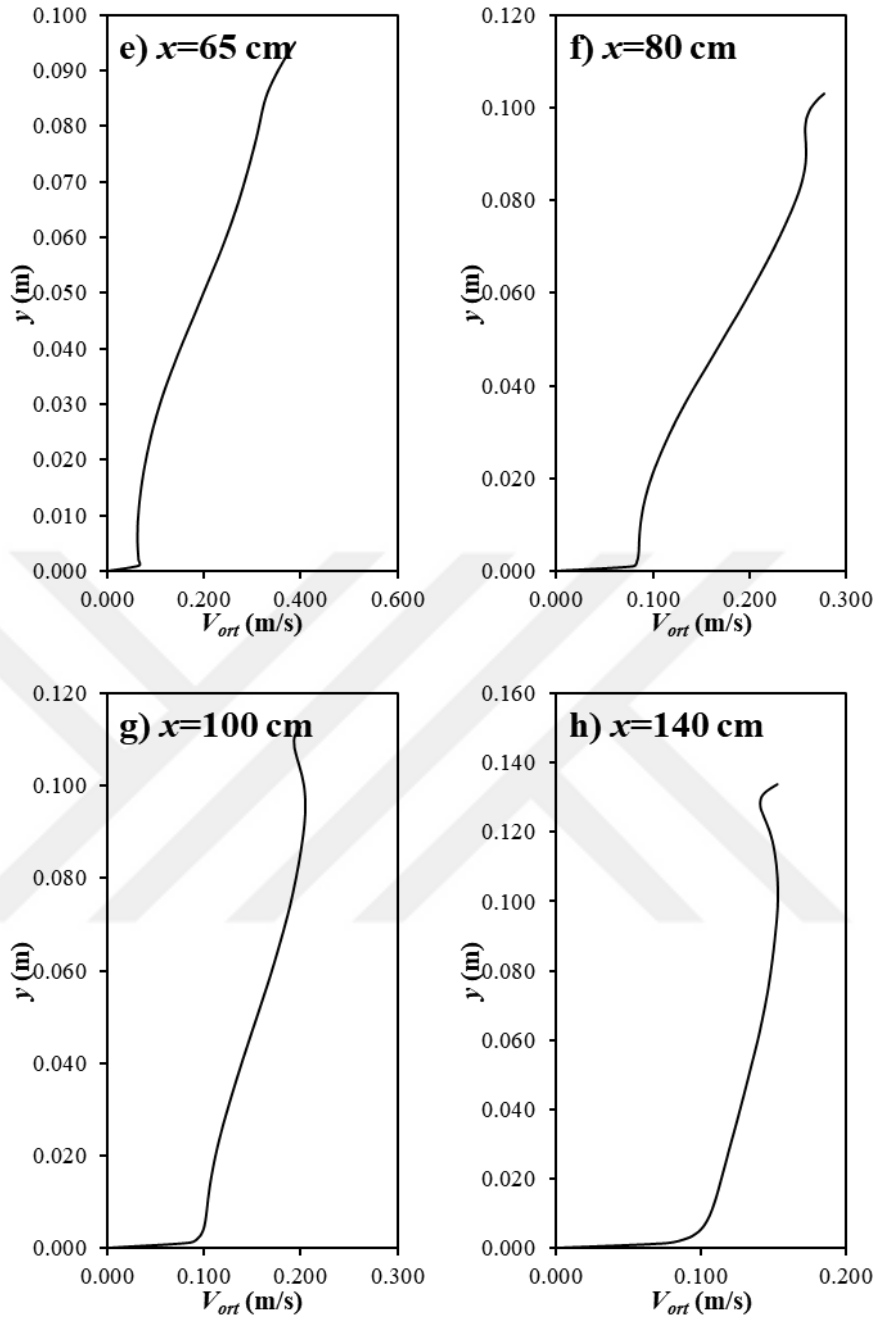
Şekil 4.30. Durum 4 için SST modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri



Şekil 4.30. (Devam)



Şekil 4.31. Durum 4 için RSM modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri

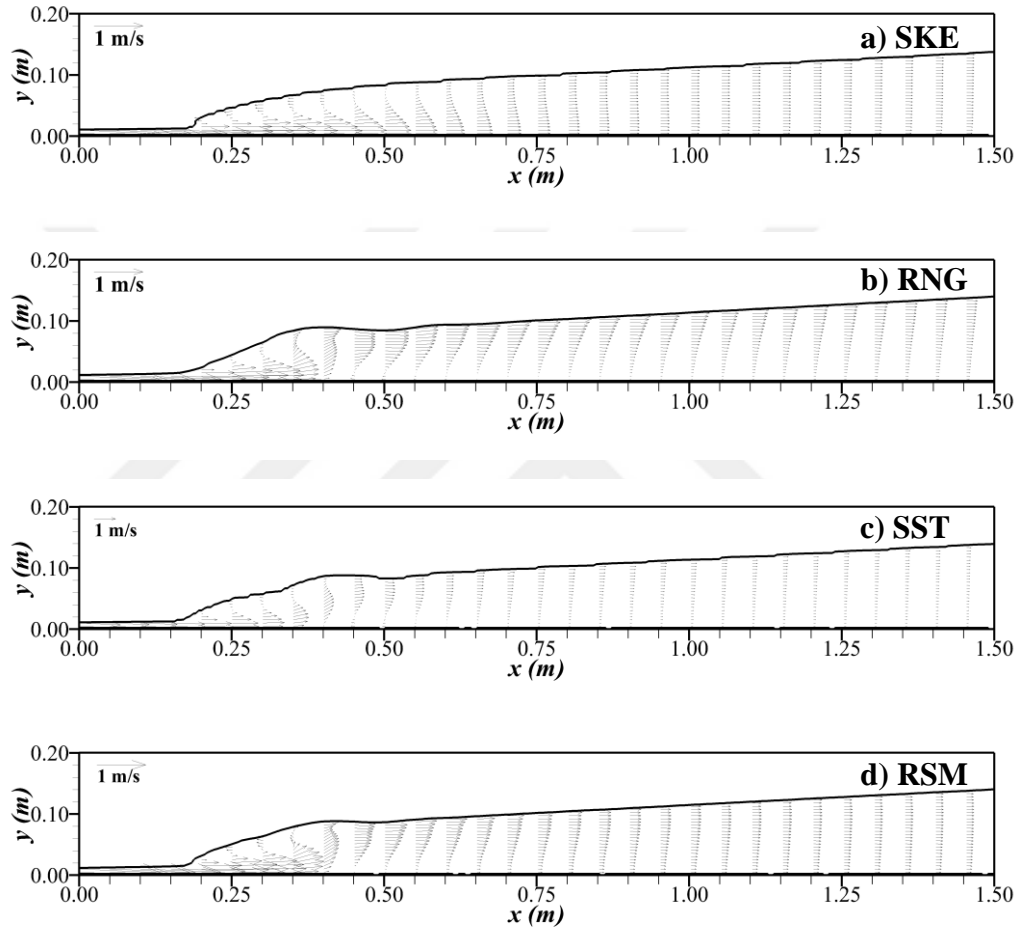


Şekil 4.31. (Devam)

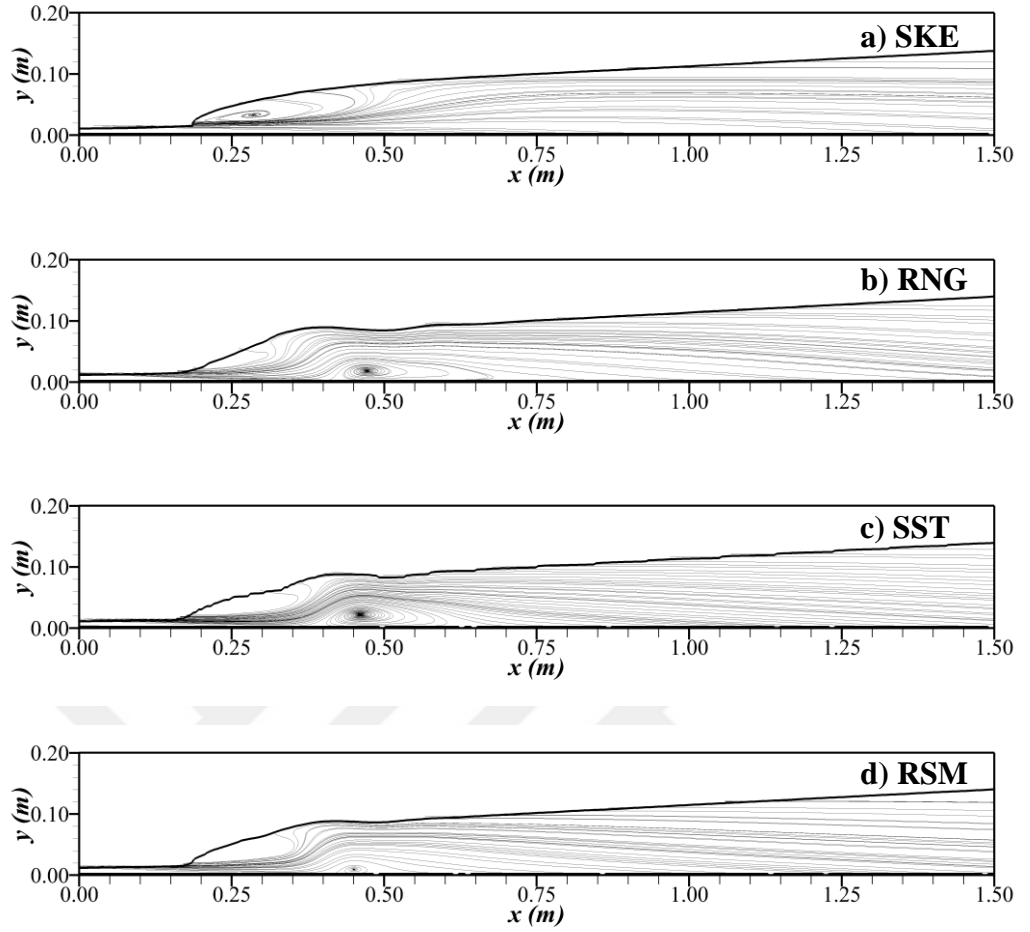
4.3.4.3. Hız vektörleri ve akım çizgileri ($Fr_1=6.77$)

Durum 4 için farklı türbülans modelleriyle çalışma bölgesi boyunca elde edilen hız vektörleri Şekil 4.32’de, akım çizgilerinin dağılımı ise Şekil 4.33’te verilmiştir. Buna göre, SKE modelinde diğer durumlarda da görülen sıçrama öncesi kritik üstü akım durumunda yüksek hızlar bulunmakta, devamında sıçrama bölgesinde bir jet

akımı sergilemekte devamında da üniform bir açık kanal akımına dönüştüğü görülmüştür. Şekil 4.25'te verilen akım çizgilerinin yapısı incelendiğinde, RNG, SST ve RSM modellerinde $x=45$ cm'de bir ayrılma bölgesi meydana gelmiş, ancak SKE modelinde ortalama akım değerlerine göre bir ayrılma meydana gelmediği görülmektedir.



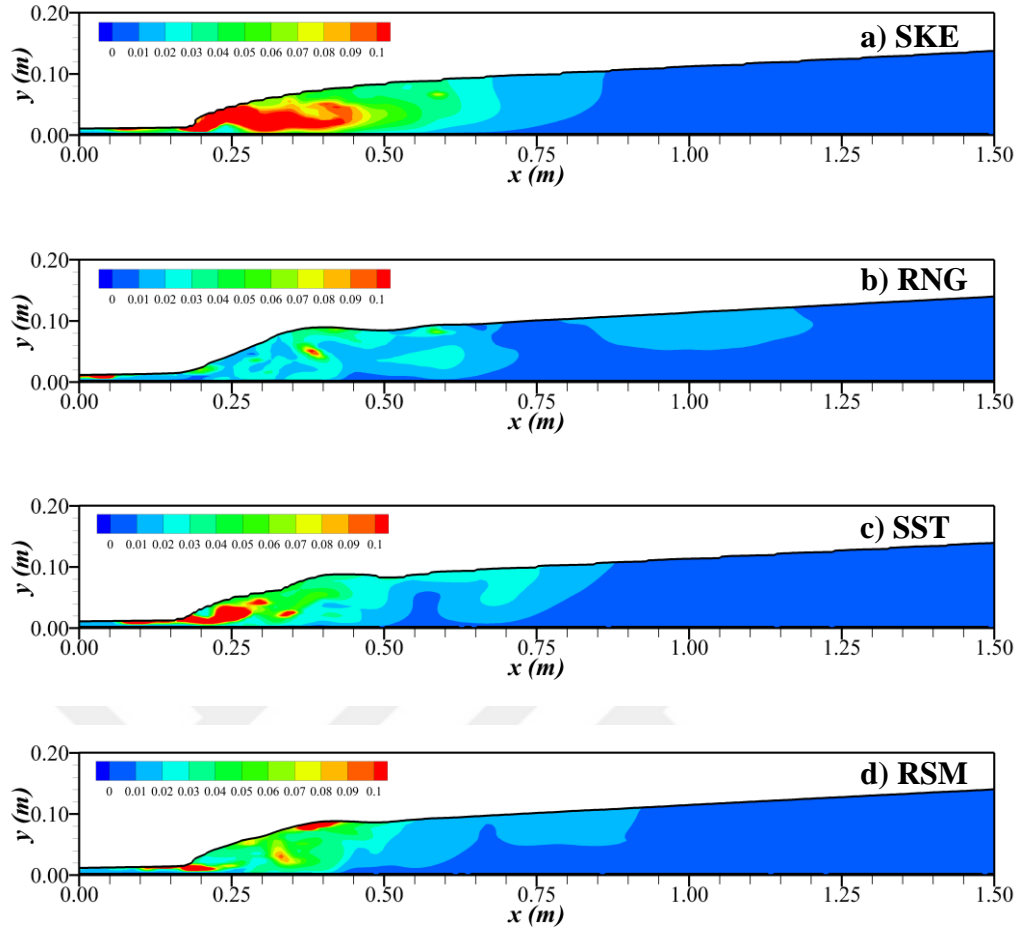
Şekil 4.32. Durum 4 için hesaplanan hız vektörlerinin dağılımı



Şekil 4.33. Durum 4 için hesaplanan akım çizgilerinin topolojisi

4.3.4.4. Türbülans kinetik enerji ($Fr_1=6.77$)

Durum 4 için farklı türbülans modelleri kullanılarak hesaplanan türbülans kinetik enerjilerinin (TKE) çalışma alanı boyunca dağılımı Şekil 4.34'te verilmiştir. Buna göre, en yüksek türbülans kinetik enerji değeri SKE ve SST modellerinde, en düşük türbülans kinetik enerji değeri ise RNG ve RSM modellerinde belirlenmiştir. Çalışma alanı için ele alına en düşük skala TKE değeri $0.01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olup bu değer SKE, RNG, SST ve RSM için sırasıyla 0.85 m, 1.20 m, 0.85 m ve 0.90 m'de meydana gelmiştir.



Şekil 4.34. Durum 4 için hesaplanan türbülans kinetik enerjisinin dağılımı

4.3.5. Enerji kayıpları

Dört farklı Fr_1 sayısı için elde edilen deneysel ve sayısal model sonuçlarına göre hidrolik sıçramanın neden olduğu enerji kaybının belirlenebilmesi için, sıçrama öncesindeki toplam enerji değerinin sıçrama sonrasındaki azalma oranı belirlenmiş ve sıçramanın meydana getirdiği toplam enerji kaybı belirlenmiştir. Tüm durumlar için deneysel ve sayısal olarak elde edilen enerji kayıpları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8’e göre, Durum 1’de deneysel olarak %17.7’lik bir enerji kaybı belirlenirken, RSM modeli deneysel verilere yakın bir enerji kaybı değeri belirlemiş, SKE modeli de deneysel enerji kaybından %2 daha az bir enerji kaybı hesaplamıştır. Durum 2’de, deneysel olarak hesaplanan %25’lik enerji kaybı belirlenmiş, ele alınan

tüm türbülans modelleri de bu değere yakın sonuçlar vermiştir. Durum 3’te deneysel olarak %41.9’luk bir enerji kaybı hesaplanmış ve Durum 2’de olduğu gibi tüm türbülans modelleri bu enerji kaybına yakın bir değer vermişlerdir. En yüksek Fr_1 değeri olan Durum 4’te ise deneysel olarak %51.3’lük bir enerji kaybı meydana gelmiş, deneysel sonuçlara en yakın sonuçları ise SKE modeli %48.8 olarak vermiştir. Tüm durumlar beraber incelendiğinde elde edilen enerji kayıplarının literatür ile uyumlu olarak Fr_1 değeri arttıkça arttığı ve deney koşulları ile elde edilen $Fr_1=6.77$ ile %50’nin üzerinde bir enerji kaybını modellemede sayısal modellerin başarılı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Sıçrama nedeniyle meydana gelen deneysel ve sayısal enerji kayıpları

Durum	Model	Sıçrama Öncesi Toplam Enerji (m)	Sıçrama Sonrası Toplam Enerji (m)	Enerji Kaybı (%)
Durum 1	Deney	0.101	0.083	%17.7
	SKE	0.101	0.085	%15.7
	RNG	0.104	0.089	%14.7
	SST	0.114	0.089	%21.8
	RSM	0.111	0.091	%17.7
Durum 2	Deney	0.125	0.094	%25.0
	SKE	0.122	0.093	%23.8
	RNG	0.120	0.091	%24.7
	SST	0.122	0.091	%25.2
	RSM	0.119	0.092	%22.4
Durum 3	Deney	0.113	0.066	%41.9
	SKE	0.125	0.073	%41.6
	RNG	0.126	0.074	%41.0
	SST	0.124	0.073	%40.8
	RSM	0.127	0.075	%40.8
Durum 4	Deney	0.117	0.057	%51.3
	SKE	0.125	0.064	%48.8
	RNG	0.120	0.064	%46.7
	SST	0.119	0.065	%45.4
	RSM	0.117	0.065	%44.4

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında laboratuvar ortamında farklı akım özelliklerine sahip hidrolik sıçramaların karakteristikleri deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen deneysel bulgular sonlu hacimler yöntemine dayalı Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ile sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede türbülansın tanımlanması için dört farklı türbülans kapatma modeli (SKE, RNG, SST ve RSM), serbest su yüzünün belirlenmesinde ise VOF yöntemi kullanılmıştır. Ağ hassasiyetinin uygunluğu için de GCI yöntemi ile belirlenmiştir. Buna göre dört farklı deney Durum 1, Durum 2, Durum 3 ve Durum 4 olarak ele alınmış ve bu durumlar için yapılan analiz sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Ağ yapısının uygunluğunun belirlenmesi için en yüksek debiye sahip akımda sıçrama öncesi kritik üstü akımın bulunduğu bölgede yapılan GCI analizleri neticesinde kesitte deneysel sonuçlar arasında ağ yapısının etkisinin %2'den az olması nedeniyle, ele alınan ağ sıklığının yeterli olduğu kanaatine varılmıştır.

Sıçrama bölgesinde sayısal su yüzleri akımın kararlı hale gelmesi sonrası 30 s boyunca çözüm yapması ve bu çözüm sırasında alınan ortalama su yüzü değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Dört farklı durum için yapılan sayısal çözümler sonucunda su yüzünün belirlenmesinde en başarılı modelin SKE modeli olduğu belirlenmiştir. SKE modelinin sıçrama bölgesinde ve sıçrama sonrasında deneysel su yüzlerine yakınsamada diğer modellere nazaran daha başarılı olduğu görülmüştür.

Ortalama hızlara göre elde edilen hız vektörleri sıçrama öncesi kritik üstü akım durumunda yüksek hıza sahip bulunmakta, devamında sıçrama bölgesinde bir jet akımı sergilemekte ve sonrasında ise klasik açık kanal akımına dönüşmesi beklenmektedir. Bu durum tüm modellerde sadece SKE modeli ile belirlenmiştir. Diğer modellerin özellikle kanal tabanına yakın olan bölgedeki jet akımının gelişimi belirlemede yetersiz kaldığı, bunun da su yüzünü belirlemede başarılı olan modelin hız vektörlerini hesaplamada da başarılı olduğu sonucu ortaya çıkarmıştır.

Dört farklı durum için sayısı için elde edilen deneysel ve sayısal model sonuçlarına göre hidrolik sıçramanın neden olduğu enerji kaybının belirlenebilmesi için, sıçrama öncesindeki toplam enerji değerinin sıçrama sonrasındaki azalma oranı belirlenmiş ve sıçramanın meydana getirdiği toplam enerji kaybı belirlenmiştir. Buna göre, Fr_1 sayısı arttıkça enerji kaybının arttığı ve elde edilen sayısal bulguların deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu ve en başarılı modelin SKE modeli olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma ile, oldukça karmaşık ve dinamik bir yapıya sahip olan serbest hidrolik sıçramanın karakteristikleri ve hidrolik sıçrama ile meydana gelecek enerji kayıpları sayısal olarak modellenildiği görülmüştür. Böylece gerçek boyutlu bir problemin bu tez kapsamında belirlenen sayısal model teknikleri kullanılarak fiziksel modele göre daha az maliyet gerektiren ve akım ile ilgili daha fazla parametre elde etme imkânı sunan sayısal çözümü mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmanın devamında, serbest hidrolik sıçramanın üç boyutlu analizlerinin yapılması, deneysel olarak ölçülecek hızların kanal boyunca ve kanal en kesitindeki değişimlerinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ABDEL-MAGEED, N. B. (2015). Effect of channel slope on hydraulic jump characteristics. *Phys Sci Int J*, 7(4), 223-233.
- AKSOY, C.H.S., (2019). Türbülanslı açık kanal akışlarında türbülans dağıtıcı sistemler ve kesit optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 209s
- BERNER, E. K. and BERNER, R. A. (2012). *Global environment: water, air, and geochemical cycles*. Princeton University Press., New Jersey. 464s.
- AYDIN, M. C. (2015). Investigation of a sill effect on rectangular side-weir flow by using CFD. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(2), 04015043.
- BABAALI, H., SHAMSAI, A. and VOSOUGHIFAR, H. (2015). Computational modeling of the hydraulic jump in the stilling basin with convergence walls using CFD codes. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(2), 381-395.
- BAYON, A., VALERO, D., GARCÍA-BARTUAL, R. and LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. A. (2016). Performance assessment of OpenFOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump. *Environmental modelling & software*, 80, 322-335.
- BEIRAMI, M. K., and CHAMANI, M. R. (2010). Hydraulic jump in sloping channels: roller length and energy loss. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(4), 535-543.
- CHIPPADA, S., RAMASWAMY, B. and WHEELER, M. F. (1994). Numerical simulation of hydraulic jump. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 37(8), 1381-1397.
- EBRAHIMI, S., SALMASI, F. and ABBASPOUR, A. (2013). Numerical study of hydraulic jump on rough beds stilling basins. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3(1), 19-24.
- GÜMÜŞ, V., AKÖZ, M. S. ve KIRKGÖZ, M. S. (2013). Kapak Mansabında Batmış Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellenmesi. *Teknik Dergi*, 24(117).
- GÜMÜŞ, V., (2014). Dolusavak Akımının Sayısal Modellemesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 144s
- GÜMÜŞ, V., ŞİMŞEK, O., SOYDAN, N. G., AKÖZ, M. S. ve KIRKGÖZ, M. S. (2015). Numerical modeling of submerged hydraulic jump from a sluice gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(1), 04015037.
- 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.
- HUSAIN, D., ALHAMID, A. A. and NEGM, A. A. M. (1994). Length and depth of hydraulic jump in sloping channels. *Journal of Hydraulic Research*, 32(6), 899-910.
- KATEBA, S., DEBABECHE, M. and RIGUET, F. (2015). Hydraulic jump in a sloped trapezoidal channel. *Energy Procedia*, 74, 251-257.
- KIRKGÖZ, M.S., (2018). Akışkanlar Mekaniği. Üçüncü Baskı, Birsen Yayınevi., İstanbul, Türkiye, 561s

- LAUNDER, B. E. and SPALDING, D. B. (1972). Lectures in Mathematical Models of Turbulence, Academic Press, New York. 169s.
- LAUNDER, B. E., REECE, G. J. and RODI, W. (1975). Progress in the Development of a Reynolds-Stress Turbulence Closure. *Journal of Fluid Mechanics*, 68(03): 537.
- MCCORQUODALE, J. A. and KHALIFA, A. M. (1980). Submerged radial hydraulic jump. *Journal of The Hydraulics Division*, 106(3), 355-367.
- MENTER, F. R. (1994). 2-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *Aiaa Journal*, 32(8): 1598-1605.
- ROACHE, P. J. (1994). Perspective - a Method for Uniform Reporting of Grid Refinement Studies. *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the Asme*, 116(3): 405-413.
- ROACHE, P. J. (1997). Quantification of Uncertainty in Computational Fluid Dynamics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 29: 123-160.
- ROACHE, P. J. (1998). Verification of Codes and Calculations. *Aiaa Journal*, 36(5): 696-702.
- SMITH, N.A.F., 1971. A history of dams. P. Davies, United Kingdom, 279s
- Lemperiere, F. (1993). Dams that have failed by flooding: an analysis of 70 failures. *Water Power and Dam Construction*, 45(9), 19-20.
- ŞİNŞEK, O., PARMAKSIZ, M., ve GÜMÜŞ, V. (2019) Radyal Kapak Ile Etkileşimde Bulunan Açık Kanal Akiminin Sayısal Modellenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 965-978.
- TELKIRAN, M. N., AKÖZ, M. S., ŞİMŞEK, O. ve SOYDAN, N. G. (2019). Dolusavak Üzerinden Geçen Akımın Sayısal Analizi: Mersin Dereyurt Göleti Dolusavak Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 155-168.
- YAKHOT, V. AND ORSZAG, S. A. (1986). Renormalization-Group Analysis of Turbulence. *Physical Review Letters*, 57(14): 1722-1724.
- WELAHETTIGE, P., LIE, B. and VAAGSAETHER, K. (2017). Flow regime changes at hydraulic jumps in an open Venturi channel for Newtonian fluid. *The Journal of Computational Multiphase Flows*, 9(4), 169-179.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet PARMAKSIZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa / 20.07.1986
Telefon : 0 (532) 175 81 83
e-mail : mhmtprmsz@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe / İl	Bitirme Yılı
Lise	Davut Zeki Akpınar Lisesi	Şanlıurfa	2005
Ön Lisans	Harran Üniversitesi Şanlıurfa Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi	Şanlıurfa	2009
Lisans	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	Şanlıurfa	2017
Y. Lisans	Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Şanlıurfa	2019

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2014	Reha Yapı Denetim Ltd. Şti.	İnşaat Teknikeri
2014-2017	Bepa İnşaat Ltd. Şti.	İnşaat Teknikeri
2017-2018	Bepa İnşaat Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi

UZMANLIK ALANI:

Sayısal modelleme, türbülans modelleri, açık kanal akımları

YABANCI DİLLER:

İngilizce

YAYINLAR:

ŞİMŞEK, O, PARMAKSIZ, M , GÜMÜŞ, V . (2019). “Radyal Kapak ile Etkileşimde Bulunan Açık Kanal Akımının Sayısal Modellenmesi”. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 8 (2) , 965-978 . DOI: 10.28948/ngumuh.519532

GÜMÜŞ, V, PARMAKSIZ, M , ŞİMŞEK, O , AVŞAROĞLU, Y . (2019). “Farklı Akım Koşullarına Sahip Serbest Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellemesi”. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , 6 (2) , . DOI: 10.35193/bseufbd.634637

- PARMAKSIZ, M., AVŞAROĞLU, Y., ŞİMŞEK, O., GÜMÜŞ V., (2018). “Radyal Kapak Kontrollü Açık Kanal Akımının Su Yüzü Profilinin Sayısal Modellemesi”. 6. Uluslararası GAP Mühendislik Kongresi 2018, 8-10 Kasım, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
- SEVEN, A., GÜMÜŞ V., ŞİMŞEK O., PARMAKSIZ, M., AVŞAROĞLU Y. (2019). “Kritik Altı Açık Kanal Akımının Nümerik Modellemesinde Ağ Yapısının Etkisinin İncelenmesi”. 3. Uluslararası GAP Matematik- Mühendislik- Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, 29 Kasım-3 Aralık 2019, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa
- PARMAKSIZ, M., GÜMÜŞ V, ŞİMŞEK, O. (2019). “Experimental and Numerical Modeling of a Low Froude Number Free Hydraulic Jump”. 4th International Energy & Engineering Congress, 24-25 Ekim 2019, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

