T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİKEY YARIKLI BALIK GEÇİTLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL MODELLEMESİ

Mehmet Celal CAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1.GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. MATERYAL ve YÖNTEM 10
3.1. Materyal 10
3.1.1. Balık geçitleri 10
3.1.1.1. Dikey yarıklı balık geçitlerinin prensipleri 11
3.1.1.2. Dikey yarıklı balık geçitlerinin tasarım kriterleri ve boyutları 12
3.1.2. Deneyler 14
3.2. Yöntem 18
3.2.1. Temel denklemler 18
3.2.2. Türbülans kapatma modelleri 18
3.2.2.1. RNG k-ε türbülans modelleri 19
3.2.2.2. SST k- ω türbülans modeli 19
3.2.2.4. Bağımsız Girdap Benzetimi (Detached-Eddy Simulation-DES) 20
3.2.4. Akışkan hacimler yöntemi (Volume of Fluid-VOF) 20
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 22
4.1. Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları 22
4.2. Deneysel ve Sayısal Su Yüzü Profilleri 23
4.3. Deneysel ve Sayısal Hız Profilleri 28
4.4. *u* Hızının Üç Boyutlu Dağılımı 48
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 52
KAYNAKLAR 53
ÖZGEÇMİŞ 55

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİKEY YARIKLI BALIK GEÇİTLERİNİN DENEYSEL VE SAYISAL MODELLEMESİ

Mehmet Celal CAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Yıl: 2021, Sayfa: 55

Farklı kullanım amaçları ile akarsulara regülatör, hidroelektrik santral gibi farklı su yapıları inşa edilmektedir. Bu yapılar her ne kadar suyun verimli kullanılmasına yardımcı olsa da ekolojik denge üzerinde olumsuz bazı etkileri bulunmaktadır. Bunlardan birisi de su yapısının inşa edildiği akarsularda balıkların geçiş yollarını da kapatmasıyla ilgili bölgedeki balık türlerinin azalması ya da yok olmasıdır. Bu ekolojik problemin önüne geçebilmek için akarsu yapıları üzerine balık geçitleri inşa edilmektedir. Bu tez çalışmasında, laboratuvar ortamında Amerika Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO)'nün belirlemiş olduğu standart yapıya geometrik benzerlik kurularak imal edilen dikey yarıklı balık geçitlerinin akım karakteristikleri akustik doppler hız ölçer ile üç boyutlu olarak ölçülmüştür. Sayısal modellemede Renormatization Group k-ε (RNG), Shear Stress Transport (SST) ve Detached-Eddy Simulation (DES) türbülans modelleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla karşılaştırılması neticesinde, akım alanını tahmin etmekte SST yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Sayısal olarak yapılan modelleme neticesinde, dikey yarıklı balık geçitlerine ait akım özellikleri üç boyutlu olarak irdelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Balık geçitleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, türbülans kapatma modelleri, akustik doppler hız ölçer

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL MODELING OF VERTICAL SLOT FISH PASSAGE

Mehmet Celal CAN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Year: 2021, Page: 55

Water structures such as regulators and hydroelectric power plants on rivers are built for different purposes. Although these structures help to use water efficiently, they also create some negative effects on the ecological balance. One of these is the decrease or extinction of fish species in the region, as the fish on the river where the water structure is built closes the passageways. In order to prevent this ecological problem, fish passages are built on river structures. In this thesis, the flow characteristics of vertically slotted fish passes, which are manufactured in a laboratory environment by establishing geometric similarity to the standard structure determined by the Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO, were measured in three dimensions with an Acoustic Doppler Speedometer. Renormatization Group k-ε (RNG), Shear Stress Transport (SST) and Detached-Eddy Simulation (DES) turbulence models were used in numerical modelling. As a result of the comparison of the experimental results with the numerical results, it was seen that the SST method gave more successful results in expressing the flow field compared to other methods. As a result of the numerical modeling, the flow characteristics of vertically slotted fish passages were examined in three dimensions.

KEY WORDS: Fish passages, computational fluid dynamics, turbulence closure models, acoustic doppler velocity meter

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, yüksek lisans eğitimime katkıda bulunan sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Oğuz ŞİMŞEK'e, tezin deney ve yazılma sürecinde desteklerini esirgemeyen, Öğr. Gör. Ahmet Erhan EREN'e, Arş. Gör Latif Doğan DİNSEVER'e, İnş. Yük. Müh. İbrahim Halil İFŞAAT'a, İnş. Müh. Abdülkadir ÖZLÜK'e, İnş. Yük. Müh. Yavuz AVŞAROĞLU'na ve İnş. Yük. Müh. İsmail GÜNEŞ'e, teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, annem, Gülizar CAN babam, Mustafa CAN, kardeşim, Salih CAN, Hikmet CAN, ablam Rahime Şeyda GÜNEŞ'e teşekkür ederim. Son olarak, tez aşamasında sabrını ve anlayışını benden esirgemeyen değerli eşim Nilüfer CAN'a teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Çift yarıklı balık geçidi örneği (şematik) 12
Şekil 3.2. Yarıklı geçidin boy kesiti(şematik) 14
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan açık kanal modeli ve şematik gösterimi 15
Şekil 3.4. FAO (2002)'te önerilen balık geçidi. 15
Şekil 3. 5. Akustik doppler hız ölçer cihazı (Acouistic doppler velocitmery -ADV)..... 16
Şekil 3. 6. (a) Dijital limnimetre, b- Pompa hız kontrol cihazı, (c)- Elektromanyetik debi ölçer..... 16
Şekil 3. 7. ADV elektronik düşey hareket sistemi ve kontrol paneli..... 17
Şekil 3.8. Ağ elemanlarının doluluk oranları 21
Şekil 4. 1. Çözüm bölgesinin sınır şartları 22
Şekil 4.2. Sayısal modelde kullanılan mesh yapısı..... 23
Şekil 4.3. Durum 1 orta eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri 24
Şekil 4. 4. Durum 1 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri 25
Şekil 4.5. Durum 2 kenar eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri 26
Şekil 4.6. Durum 2 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri 27
Şekil 4.7. Balık geçit modelinin hacimsel su yüzü profilleri..... 28
Şekil 4.8. Durum 1 orta eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri 33
Şekil 4.9. Durum 1 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri..... 37
Şekil 4.10. Durum 2 orta eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri 41
Şekil 4.11. Durum 2 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri..... 45
Şekil 4.12. Durum 1 için DES ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi..... 49
Şekil 4.13. Durum 1 için RNG ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi..... 49
Şekil 4.14. Durum 1 için SST ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi 50
Şekil 4.15. Durum 2 için DES ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi..... 50
Şekil 4.16. Durum 2 için RNG ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi..... 51
Şekil 4.17. Durum 2 için SST ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Ülkemizde yapımı tamamlanan su yapıları ve bu yapılarda bulunan balık geçitleri..... 11
Çizelge 3.2. Ülkemizde yapım aşamasında olan su yapıları ve bu yapılarda bulunan balık geçitleri .. 11
Çizelge 4. 1. Orta eksen hız profillerinin ortalama karesel hata değerleri..... 29
Çizelge 4. 2. Kenar eksen hız profillerinin ortalama karesel hata değerleri..... 30

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADV	Akustik Doppler Hız Ölçer (Acoustic Doppler Velocimeter)
DES	Bağımsız Girdap Benzetimi (Detached-Eddy Simulation)
Fr	Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
OKH	Ortalama Karesel Hata
Q	Debi
Re	Reynolds sayısı
RNG	Renormatization Group k- ε 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

Birçok balık türü, hayatlarının farklı zamanlarında uzun veya kısa mesafeli göç edebilmektedir. Bu türlerden en çok bilinenleri somon ve mersin balıklarıdır. Özellikle somonlar akarsulardaki yumurtlama alanlarına gidebilmek için binlerce kilometre mesafe gidebilmektedirler. Sadece somon veya mersin balıkları değil, diğer birçok balık türü ya da omurgasız canlılar da yaşamları süresince bu balıklara kıyasla kısa mesafeli sayılsa da göç edebilmektedirler.

Sanayileşme ve devamında dünya nüfusunun aşırı artışına bağlı olarak akarsular, insanoğlu tarafından farklı amaçlarda kullanılmaktadır. Mühendisler, özellikle sulama ve enerji üretiminde su yapılarına yönelmektedirler. Su yapılarının inşasında ekolojik dengenin bozulmasını engellemek amacıyla balık geçitleri de yapılmaktadır. Bu yapılar, suda yaşayan canlılarının göç yolları üzerindeki su yapılarını geçmelerine olanak sağlamaktadır. Bu geçiş, membadan mansaba olabildiği gibi mansaptan membaya doğru da olabilmektedir. Bu geçiş yolları, sadece balıkların değil, bütün su canlıları için, kısaca ekolojik denge için oldukça önemlidir. Bu nedenle, mühendisler tarafından balık geçitlerinin tasarımının bilinmesi oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Su yapıları üzerinden inşa edilen en eski dikey yarıklı balık geçidi, Kanada, British Columbia'daki Fraser Nehri üzerindeki Hell's Gate'te yapılmıştır (Clay ve Eng, 2017). Yakın geçmişte ekolojik duyarlılığın nispeten artmasıyla beraber, su yapılarında inşa edilen balık geçitleri ile ilgili yapılan çalışmalarda bir artış meydana gelmiştir. Ancak, özellikle balık geçitleri ile etkileşim halinde olan akım özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, farklı akım koşullarında, su-balık geçidi etkileşimi ile ilgili çalışmaların arttırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel olarak su-yapı etkileşiminde, akım karakteristiklerinin belirlenmesi için fiziksel deneyler uygulanmaktadır. Ancak, fiziksel deneylerin özellikle karmaşık akımları içeren sistemler için yapılması oldukça zahmetli ve masraflı olmaktadır. Balık geçitleri de yapısı gereği karmaşık bir yapıya sahip olduğundan yapılan fiziksel deneyler ile elde edilen akım parametre sayısı sınırlı olmaktadır. Bu nedenle bilgisayar teknolojilerinin gelişimine bağlı olarak, farklı su-

yapı etkileşim problemlerinde akım özelliklerini belirlemek için sayısal modelleme, diğer adıyla sayısal deneyler de yapılabilmektedir. Özellikle karmaşık akım problemlerinde akım karakteristikleri ile ilgili detaylı bilgileri kolaylıkla almayı sağlaması nedeniyle bu alan son 20 yıllık süreçte oldukça önemli bir gelişim sağlamıştır.

Bu çalışmada, açık kanal içerisine yerleştirilen tek yarıklı dikey balık geçitleri ile etkileşimde olan akım karakteristikleri deneysel olarak ölçülmüştür. Akım alanı akustik doppler hız ölçer (Acouistic doppler velocitmery-ADV) ile ve akım profili ise limnimetre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen deneysel bulgular sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal modellemelerde üç farklı türbülans kapatma modelleri kullanılmış ve ele alınan modellerin akım alanını ve su yüzü profilini tahmin etmedeki başarısı belirlenmiştir. Deneysel ölçümlere en yakın sonucu veren sayısal model ile, deneysel olarak elde edilmesi zor olan akım özellikleri sayısal olarak incelenmiş ve dikey yarıklı balık geçitlerinin akım yapısı değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde balık geçitleri ve farklı su-yapı etkileşiminin olduğu akım problemlerinin deneysel ve sayısal olarak değerlendirmeler özetlenecektir.

Wu ve ark. (1999), dikey yarıklı bir balık geçidindeki akım yapısını deneysel olarak incelemişlerdir. Yedi adet havuzu bulunan 912 mm genişliğinde alüminyum yatak ve 600 mm yüksekliğinde 9.75 m uzunluğunda hidrolik olarak cilalı yan duvarlara sahip dikdörtgen bir kanal üzerinde deneyler üç farklı eğim için yapılmıştır. Yarıklarda oluşan akışın bir jet akımına benzediği fakat klasik jet akımına göre bazı farklılıklara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında % 5'lik bir eğim durumunda, yapının her iki tarafında birer tane olmak üzere iki sirkülasyon bölgesi olan iki boyutlu bir jet akımı oluşturduğunu, ayrıca % 10 ve 20'lik eğimlerde ise ana akışın 3 boyutlu olduğunu göstermişlerdir.

Liu ve ark. (2006), eğimleri %5.06 ve% 10.52 olan dikey yarıklı bir balık geçidinde akışın ortalama ve türbülans yapılarını belirlemek için deneyler yapmışlardır. Buna göre, balık geçidi iki farklı akış bölgesi için ayrı ayrı incelenmiştir. Bu bölgeler jet akımının oluştuğu ve sirkülasyonun meydana geldiği akış bölgeleridir. Buna göre, jet akış bölgesinde ortalama kinetik enerjinin hızla azaldığı ve havuzdaki alanların çoğunda yayılma hızının 200 W/m^{3}'ten az olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, jet akışı boyunca boyutsuz ortalama hız profili, jetin orta kısmındaki bir düzlemsel türbülanslı jetinki ile oldukça uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Rodríguez ve ark. (2006), balık geçidi tasarımlarını hedef türlerin yüzme yetenekleri açısından değerlendirmek için bir metodoloji sunmuşlardır. Özel olarak, hidrolik özellikleri deneysel olarak önceki bir çalışmada karakterize edilen iki dikey yarıklı tasarımını ele almışlardır. Bu deneysel veriler ışığında, her bir tasarım için, (a) balıklar için kabul edilebilir minimum derinlikleri veren minimum debiler; (b) balıkların üstesinden gelebilecek kadar düşük akış hızlarını sağlayan maksimum havuz boyutları; (c) balıklar tarafından kabul edilebilecek kadar düşük türbülansı sağlayan

maksimum havuz boyutları araştırılmıştır. Bu tasarım kısıtlamaları, farklı eğimler (~6 veya ~% 10), farklı su sıcaklıkları (10, 15 veya 20 ◦C) ve farklı balık uzunlukları için hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, bu metodolojiyle balık geçidinin tasarım aşamasında balık yüzme yeteneklerini hesaba katmanın etkili bir yolunu sağlamıştır.

Cea ve ark. (2007), dikey yarıklı balık geçitlerinde akım alanını ve türbülansı hesaplamak için bir sığ su modeli kurmuşlardır. Sayısal analizlerde akım alanını ve türbülans karakteristiklerinin hesaplanması için, karışım uzunluğu modeli (mixing length model), bir k−ε modeli ve cebirsel gerilme modellerini (algebraic stress model) kullanmışlardır. Ele alınan dikey yarıklı balık geçitlerinde üç farklı debi için, akım hızı, serbest su yüzü yüksekliği, türbülans kinetik enerji ve Reynolds gerilmeleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular sayısal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, türbülans modelinin sayısal modellemedeki önemini vurgulanmış ve özellikle pratik tasarım amaçları için oldukça yararlı ve tamamlayıcı bir araç olacağını bildirmişlerdir.

Kadioğlu (2010), havuz savak tipi balık geçitlerinin iki boyutlu modellemesini Fluent yazılımı ile yapmıştır. Analizler sonucunda literatürdeki önerilen yöntemlerle yapılan hesaplamalarla bulunan ortalama hız ile sayısal hızlar arasında %8 oranında bir fark ortaya çıktığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda da havuz savak tipi balık geçitlerinin gökkuşağı alabalığı için en düşük ve en yüksek yüzme hızları açısından uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Chorda ve ark. (2010), dikey yarıklı balık geçidinin sayısal modellemesinde Saint Venant denklemlerini TELEMAC-2D programını kullanılarak çözmüşlerdir. Türbülansın sayısal modellenmesinde, klasik iki denklemli k-ε türbülans kapatma modeli kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında akustik hız ölçer (Acoustic Doppler Velocimetry -ADV) ve parçacık görüntüsü hız ölçer (Particle image velocimetry-PIV) ile kullanılarak elde edilen hız profilleri kullanılarak sayısal model sonuçlarını doğrulanmıştır. Bu çalışmada, sayısal modelle sadece k-ε modeli kullanılarak üç farklı eğimde yapılmıştır. Balıkların geçiş verimliliğinde oldukça önemli olan türbülanslı kinetik enerji ve enerji yayılma hızının mekânsal dağılımına odaklanılmıştır. Elde

edilen sonuçların karşılaştırılmasından, sayısal modellemenin düşük yarıklı balık geçitlerinin optimizasyonu ve balık dostu yeteneklerini geliştirmek için gerekli olan küçük ölçekli modellerde deneysel testleri en aza indirmek için çeşitli konfigürasyonlarda kapsamlı testler yapılmasına izin verdiği görülmüştür.

Bermúdez ve ark. (2010), iki farklı eğime sahip 16 farklı dikey yarıklı balık geçidi tasarımı üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmalarında, akış alanını hem fiziksel ölçekli bir modelle hem de k – ε türbülans modeli ile birleştirilmiş 2D derinlik ortalamalı sığ su denklemlerini çözen sayısal bir model kullanılarak incelemişlerdir. Yarıktaki ortalama hız veya su derinliği gibi çeşitli hidrolik parametreleri, balıkların biyolojik etkinliklerini değerlendirmek için kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, havuzun uzunluğunun balık geçidindeki akışı etkileyen ana geometrik boyut olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, sayısal ve deneysel model sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Puertas ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada biyolojik kriterlere göre bir balık geçidi modelinin verimliliğini analiz etmek için bir tasarım sunmuşlardır. Bu tasarım aracının, mevcut bir balık geçidinin analizinde veya yenisinin tasarım sürecinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Geliştirilen tasarım, kullanıcının havuzların ve yuvanın çok çeşitli geometrik boyutları ve farklı balık türleri arasında seçim yapmasına olanak tanımakta olduğu söylenmiştir. Bir tasarım aracı olarak kullanılacak ise geliştirilen bu tasarım, biyolojik etkinliklerine göre sınıflandırılmış uygulanabilir balık geçidi modelleri tasarımcına sunduğu için büyük avantajlara sahip olduğu vurgulanmıştır. Çalışma da önerilen tasarım aracının, bir balık geçidinde yüzme sürecine dahil olan hidrolik ve biyolojik olayların karmaşıklığı göz önüne alındığında, burada sunulan araç optimum bir tasarım belirlemeyi değil, yalnızca hidrolik yönleri dikkate alarak farklı balık geçidi tasarımlarını karşılaştırmak için nesnel bir yol oluşturmayı amaçladığı belirtilmiştir. Aynı zamanda bu tasarım aracı, hedef balık türlerinin biyolojik yönlerini de ölçme imkânı sunduğu ifade edilmiştir.

Fuentes-Pérez ve ark. (2014), dikey yarıklı balık geçitlerinin mansap su seviyesini içeren debi katsayılarını mantıksal bir algoritma ile birlikte kullanarak, bu

yapıların performanslarını farklı akım koşulları altında modellemeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, Duero Nehri'nde (Kuzey-Orta İspanya) bulunan, farklı hidrolik koşullara tabi olan iki dikey yarıklı balık geçidi, çalışmalarında önerdikleri formülasyonu doğrulamak için incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, gözlemlenen değerlerin, önermiş oldukları formülasyon ile tahmin edilen sonuçlarla tutarlı olduğunu ve mansap su seviyesindeki değişkenlerin dahil edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Ayrıca, algoritma ile birlikte önerilen debi katsayıları hem mevcut hem de gelecekte inşa edilecek dikey yarıklı balık geçitlerinin performansının iyileştirilmesini sağlayacağını ifade etmişlerdir.

Bombač ve ark. (2014), dikey yarıklı balık geçidini deneysel ve sayısal olarak modellemişlerdir. Sayısal modellemelerde, üç farklı türbülanslı model (sabit girdap viskozitesi, Smagorinsky ve k-ε) ile birleştirilmiş 2-D derinlik ortalamalı sığ su sayısal modeli PCFLOW2D programı kullanılmıştır. Dikey yarıklı balık geçidinin performansını değerlendirmek için hız alanının yanı sıra yarık bölgesindeki maksimum hız ve enerji yayılma oranı ε gibi önemli hidrolik parametre değerleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sayısal modelin doğrulanması için ölçekli fiziksel hidrolik modellerden elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Dikey yarıklı balık geçidinin değişken konfigürasyonlarının simülasyonları, geometrideki küçük değişikliklerin bile havuzlarda balıklar için daha elverişli akış özelliklerinin oluşabileceği sonucunu göstermiştir. Çalışma sonucunda, PCFLOW2D programının dikey yarıklı balık geçidinin tasarımının temel taleplerini karşılamak için uygun bir araç olduğu belirlenmiştir.

Bombač ve ark. (2015), etkili balık geçitlerinin akış özelliklerini, çeşitli sayısal ve fiziksel hidrolik modellerin sayısına kıyasla daha az sayıda gerçekleştirilen saha ölçümleriyle araştırmışlardır. Araştırmanın amacını, etkili bir şekilde çalışan dikey yarıklı balık geçidinde kapsamlı olarak akış alanını ölçmek ve ölçüm sonucunda elde edilen bulguları derinlik ortalamalı iki boyutlu (2B) sayısal hidrolik model PCFLOW2D'yi kalibre etmek ve doğrulamak için kullanmak olduğunu belirtmişlerdir. Sahada akım hızlarını güvenirliği oldukça yüksek olan üç boyutlu (3B) akustik hız ölçer (Acoustic Doppler Velocimetry -ADV) kullanarak ölçülmüşlerdir. Çalışmanın

sonucunda, ölçülen hızlar değerlerinin, literatürde son olarak önerilen bir denklemden hesaplanan değerlerden %50'ye kadar daha büyük olduğu, ancak simülasyonlarımızın sonuçlarına göre PCFLOW2D, balık geçidini modellemek için yararlı bir araç olduğunu ve benzer hidro-çevresel problemlerde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Bice ve ark. (2017), Avusturalya'nın Murray nehrinin çıkış noktasında, hidrolik açıdan farklı (büyük dikey yarık: maksimum hız 2.0 m/s, maksimum türbülans 95 W/m^3, debi yaklaşık 0.36 m^3/s; küçük dikey yarık: maksimum hız 1.0 m/s, maksimum türbülans 26 W/m^3, debi 0.03 m^3/s) dikey yarıklı balık geçitlerini deneysel olarak incelemiştir. Balık geçidinin giriş ve çıkışında 32 günden fazla sürede günlük 2 defa ölçüm yapmış, küçük dikey yarıktan 19 türe ait 183.659 adet balığın, büyük dikey yarıktan 19 türe ait 291.483 adet balığın geçtiğini belirlemiştir. Farklı boyuttaki dikey yarıklı balık geçitlerinde balık türü kompozisyonunun benzer olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, dikey yarıklı balık geçitlerinin, deneyimlenen kafa farklılığı aralığı boyunca çeşitli göçmen balık topluluklarının geçişini kolaylaştırdığı; bu da farklı hidrolik özelliklere sahip çift dikey yarıklı balık geçitlerinin uygulanmasının muhtemelen diğer düşük seviyeli nehir ağzı bariyerlerinde uygulanabilir bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir.

Bombač ve ark. (2017), tarafından, altı sapma açısı, iki yuva boyutu, iki büyük bölme boyutu ve bitişik havuzlar arasında dört su seviyesi farkı olmak üzere çeşitli dikey yarıklı balık geçitleri sayısal modellenmiştir. Sayısal simülasyonları gerçekleştirmek için derinlik ortalamalı iki boyutlu sayısal model PCFLOW2D kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar sapma açısının, derinlik-deşarj eğrileri ve yarıktaki maksimum hızlar üzerindeki önemli etkisini göstermiş ve bunların ikisinin de balık geçidinin verimliliğini güçlü bir şekilde etkilediği belirlenmiştir. Yarığın enine yer değiştirmesinin, debi ve maksimum hız üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Beklendiği gibi balık geçidinde debi ve maksimum hızı belirleyen en önemli parametrenin, bitişik havuzlar arasındaki su seviyesi farkının olarak belirlenmiştir. Yuva düzeni optimizasyonu ile bitişik havuzlar arasındaki daha büyük su seviyesi farklılıklarında

bile aynı deşarj ve maksimum hızı elde etmenin mümkün olduğu, bunun balık geçidi inşaat maliyetlerini oldukça azaltacağı görülmüştür.

Fuentes-Pérez ve ark. (2018), balık geçidi tasarımı ve analizindeki mevcut metodolojilerin, genellikle su seviyesi dağılımının bir boyutlu (1B) yaklaşımlarına dayanan tek tip performans varsaydığını, kendi yaptıkları çalışmada ise tek tip olmayan performansın dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar tarafından, tek tip olmayan koşullar için daha kapsamlı bir analiz metodolojisi sağlayarak, üç boyutlu (3B) modellerin düzenli ve doğru bir şekilde karakterize etmesi ve 1B ve 3B modeller arasındaki sinerjiden yararlanma gerekliliğini ortaya konmuştur. Sayısal modellemelerde akışkan hareketini idare eden temel denklemler RANS tabanlı Standard k-ε ve LES Smagorinsky modelleriyle çözülmüş ve paket program olarak OpenFOAM yazılımı kullanılmıştır. Su yüzünün belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yönteminden yararlanılmıştır.

Fuentes-Pérez ve ark. (2019), dikey yarıklı balık geçitlerinin modellenmesinde çoğunlukla incelenen eğim ve diğer geometrik değişikliklerin yanında yarıklar arasındaki düşü (ΔH) ve havuzlar arasındaki su seviye farklarındaki (h_0) değişiklikler tarafından kontrol edildiğini göstermişlerdir. Akımın üniform yapıda olmaması, havuzlardaki akım yapısını ve hidrodinamik değişkenlerin mekânsal dağılımlarını değiştirdiğini ve üniform olmayan akım koşullar altında bir yapı tasarlanırken önerilen eğimlerle tasarlanmış düşey yarıklı balık geçitlerinin, balıklar için önemli olan hidrodinamik değişkenlerin kritik eşiklerine ulaşılabileceğini bildirmişlerdir.

Sanagiotto ve ark. (2019), tarafından dikey yarıklı balık geçitlerinin tasarımını kolaylaştırmak adına deneysel ve üç boyutlu sayısal modelleme çalışması yapılmıştır. Deneysel ve sayısal model çalışmalarında, türbülansla ilgili ortalama hızlar, basınçlar ve farklı parametreler analiz edilmiştir. Maksimum akım hızının, basitleştirilmiş bir teorik denklem kullanılarak elde edilen değerlerden %32 daha büyük olduğu; dağıtılan hacimsel gücün değerlendirilmesi, havuz için ortalama değerin 150 W/m^3'ten düşük olduğu; ancak, uzamsal dağılımın analizi bazı bölgelerde değerlerin hacimsel gücün 1000 W/m^3'ü aşabileceğini göstermiştir. Çalışma sonucunda, dikey yarıklı balık

geçitleriyle etkileşimde olan akımların sayısal model sonuçlarının, deneysel model sonuçlarıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sayısal modellemenin, farklı tip balık geçitlerinin tasarımında ve mevcut olanların farklı parametrelerle analizinde tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle son yıllarda akım özelliklerini belirlemede sayısal deney çalışmalarının yoğunlaştığı görülmektedir. Karmaşık bir akım yapısına sahip balık geçitlerinin akım özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi ve sayısal sonuçlar ile karşılaştırılması, özellikle karmaşık akımların modelleyen uygulayıcılar açısından önemli olacağı değerlendirilmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Balık geçitleri

Su yapılarının inşası sonrası balık ekosisteminin korunması için yapılan balık geçitleri farklı balık türlerinin hidrodinamik özelliklerine göre altı sınıf altında toplanabilir. Bunlar, dikey yarıklı geçitler, havuzlu geçitler, denil geçitleri (ters akışlı geçitler), yılan balığı merdivenleri, balık eklüzleri ve balık asansörleridir.

Ülkemizde de son yıllarda balık ekosisteminin korunması için, özellikle inşa edilen hidroelektrik santrallerinde (HES) ve regülatör inşaatlarında balık geçitleri kullanılmaya başlanmıştır. 2014 yılında düzenlenen HES'ler ve Balık Geçitleri Çalıştayı'nda, akarsular üzerinde balık geçişini sağlamak amacıyla inşa edilecek depolama ve çevirme yapılarında (regülatör) yapısal ve işlevsel balık geçiş yapılarının tesis edilmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir (Çalıştay, 2014). Ayrıca, DSI (2019)'den alınan işletmedeki ve planlama aşamasındaki balık göç yapıları verileri sırasıyla Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Buna göre, DSİ dışında inşaat edilen HES'lerin %69'unda ve DSİ tarafından inşa edilen regülatörlerin %27'sinde balık geçitleri yapılmıştır. Fakat, planlanan ve inşa aşamasındaki yapılarında balık geçidi projelendirmelerinin yapılmadığı görülmüştür. Bu durumun inşa ya da planlama aşamasındaki su yapılarının balık göç yollarında bulunmaması olduğu değerlendirilmektedir. Çünkü yapımı tamamlanan HES'lerde balık geçit inşaatlarının yapılmasının, ülkemizde bu konu ile ilgili bir bilinç olduğunu göstermektedir. Çizelgeye göre, ülkemizde yapılan balık geçitlerinin oldukça önemli bir kısmı (%94) havuzlu balık geçitleri olduğu görülmektedir. Dikey yarıklı balık geçitleri ise inşa edilen geçitler içerisinde sadece %5 'lik bir kısmı oluşturduğu anlaşılmaktadır. Alabalık ve sazan gibi ülkemizde oldukça fazla bulunan balık türlerine uygun olduğu değerlendirilen dikey yarıklı balık geçitlerinin çalışılarak geliştirilmesi ile ülkemizde

daha sık kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında tek yarıklı dikey balık geçitleri ele alınmıştır.

Çizelge 3.1. Ülkemizde yapımı tamamlanan su yapıları ve bu yapılarda bulunan balık geçitleri

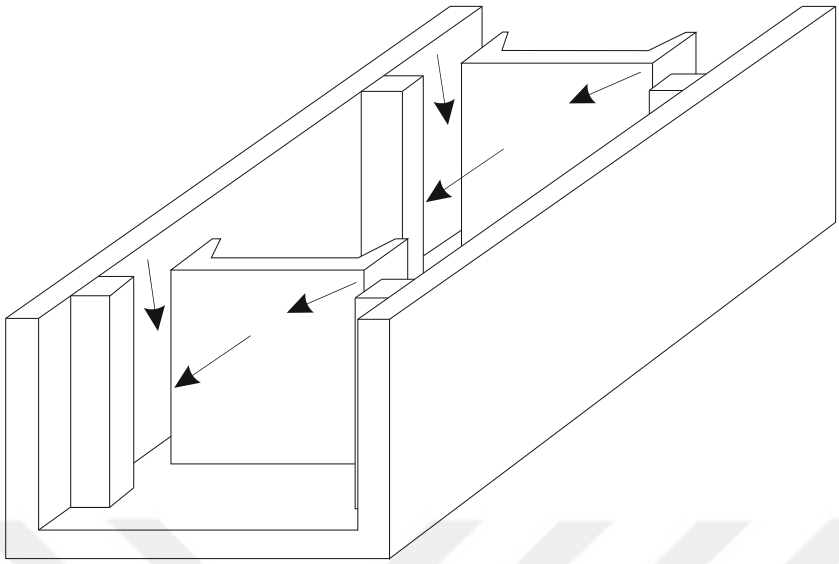
Su Yapıları (2019 Sonu İtibariyle)	Toplam Sayı	Havuzlu Balık Geçidi Sayısı	Dikey Yarıklı Balık Geçidi	Asansör - Kova	Eklüz
DSİ Tarafından İnşa Edilen İşletmedeki HES ve Barajlar	67				
Diğer Kurum ve Kuruluşlarca İnşa Edilen İşletmedeki Hidroelektrik Santraller	583	375	22	4	1
DSİ'ce Tamamlanan Depolamalı Barajlar	846				
DSİ'ce Tamamlanan Göletler	521				
DSİ'ce Tamamlanan Regülatörler	173	47			
Doğal Göller	200	1			

Çizelge 3.2. Ülkemizde yapım aşamasında olan su yapıları ve bu yapılarda bulunan balık geçitleri

Su Yapıları (2019 Sonu İtibariyle)	Toplam Sayı
DSİ Tarafından İnşa Edilen İşletmedeki HES ve Barajlar	65
Diğer Kurum ve Kuruluşlara ait Nehir Tipi HES Tesisleri	210

3.1.1.1. Dikey yarıklı balık geçitlerinin prensipleri

Amerika'da araştırmacılar tarafından önerilen ve farklı akarsularda inşa edilen dikey yarıklı balık geçitleri su yapılarında sıklıkla kullanılmaktadır (Clay ve Eng, 2017; Rajaratnam ve ark., 1986). Ancak, sonrasında Amerika dışında özellikle Almanya'da ciddi bir kullanım alanı oluşmuştur. Dikey yarıklı balık geçitleri, havuzlu balık geçitlerine benzerlik göstermektedir, ancak geçitlerinde bulunan perde duvarlar ve bu duvarların yükseklikleri boyunca açılan yarıklar nedeniyle "Dikey Yarıklı" ismini almışlardır (Şekil 3.1.). Temel kullanım alanı akışı yönlendirmek olan perde duvarlar, akarsuyun en kesitinin yapısı ve debisine bağlı olarak tek veya birden çok yarıklı olarak tasarlanabilmektedir. Tek yarık bulunan geçitlerin tasarımında, yarıklar sağ veya sol kıyıda olmak üzere aynı tarafta bulunur.



Şekil 3.1. Çift yarıklı balık geçidi örneği (şematik)

3.1.1.2. Dikey yarıklı balık geçitlerinin tasarım kriterleri ve boyutları

Yarıklı bir geçidin boy kesiti Şekil 3.2.'te verilmiştir. Dikey yarıklı balık geçitlerinde, su derinliği, yarıkta meydana gelen akım hızı ve havuzda oluşan enerji kaybı için, geçitteki debi ve enerjinin izlenmesi gerekir. Perde duvar altındaki su derinlikleri ve yarıkta meydana gelebilecek ani su yükselmesiyle meydana gelecek taşkının oluşmasını engellemek için geçidin ortalama kotundan (taban malzemesinin orta kotu referans alınarak) ölçülen su yüksekliğinin (h_u) yeterince yüksek olmalıdır (FAO, 2002).

$$h_u > \left(h_{gr} = \sqrt[3]{Q^2 / gs^2} \right) \tag{3.1}$$

$$\left(v_{\max} = \sqrt{2g\Delta h} \right) > \left(v_{gr} = \sqrt{gh_{gr}} \right) \tag{3.2}$$

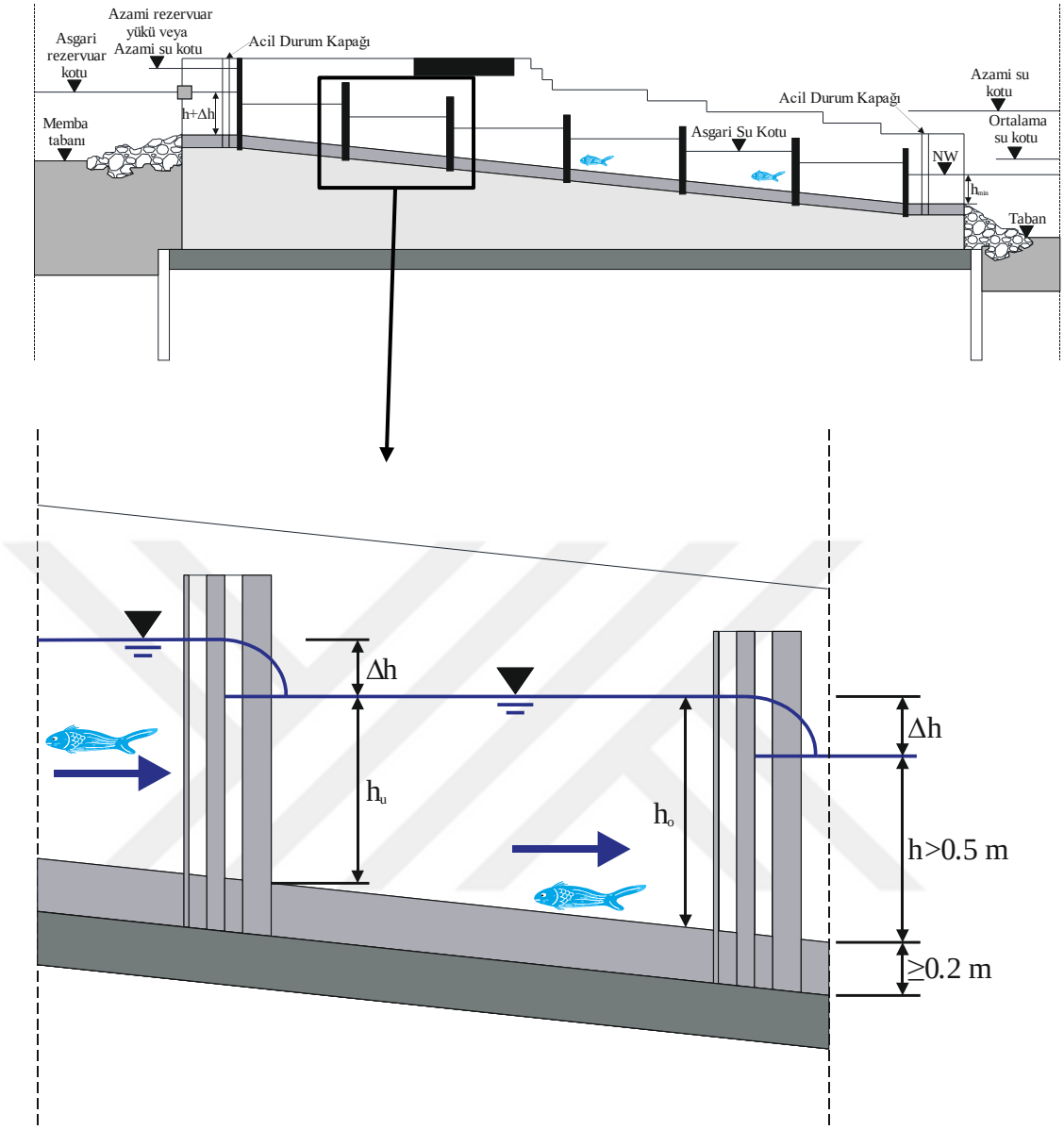
FAO (2002) tarafından hazırlanan ve DSİ (2009) tarafından Türkçe 'ye çevrilen "*Balık geçitleri – Tasarım, boyutlandırma ve izleme*" el kitabında, bu derinliklerin sağlanması için aşağıda verilen hususlar önerilmektedir (Şekil 3. 2.):

- Memba su kotu, suyun giriş kısmındaki taban seviyesini belirlemede etken bir parametredir. Membadan mansaba doğru inşa edilen ilk havuzdan (h_{min} + Δh)

çıkarılarak bu değer bulunabilir. h_{min}, taban malzemesinin üst kotunu, Δh ise memba su kotunu temsil etmektedir.

- Anormal durumlar hariç yılın büyük bir bölümünde meydana gelen en düşük su kotu (NW), mansap su kotunu belirler. İnşa edilen son havuzun mansabındaki taban malzemesinin üst kotu NW – h_{min} olmalıdır.
- Memba ve mansap su kotlarında su derinliği bütün havuzlarda aynı, ardışık iki havuz arasındaki su kotu farkı, geçidin tamamında birbirine eşit olmalıdır. Bu durumu sağlayabilecek havuz sayısı $n = \left(h_{top} / \Delta h - 1\right)$ şeklinde hesaplanır, burada $\Delta h \leq 0{,}20$ m olarak kullanılmalıdır.

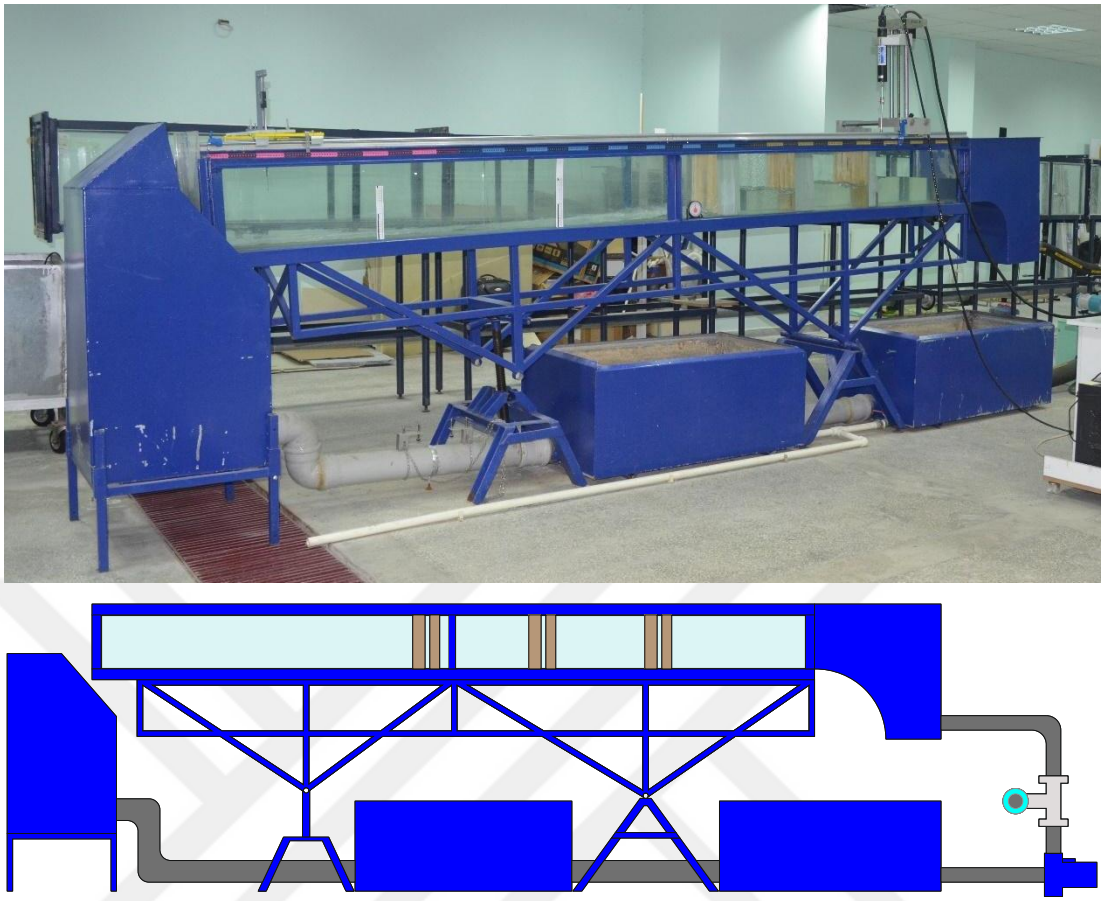
Akım hızının en yüksek değeri olan v_{max} yarıklar meydana gelir ve su kotu farkı ile ilişkisi $v_{\max} = \sqrt{2g\Delta h}$ şeklindedir. Bu durumda yarıkta meydana gelecek debi ise $Q = \frac{2}{3}\mu_r s\sqrt{2g}h_0^{3/2}$ şeklinde hesaplanır, burada bulunan $\mu_r = f(h_u / h_o)$ 'dir (Şekil 3.2.): Rajaratnam ve ark. (1986) tarafından yapılan laboratuvar deneylerinde ve Krüger (1993) tarafından yapılan arazi ölçümlerinden s = 0,12 ila 0,30 m, h_u = 0,35 ila 3,0 m ve Δh = 0,01 ila 0,30 m aralığında olduğu belirtilmektedir. Daha büyük yarık ölçüleri kullanılacaksa, ölçekli modellerle denemelerin yapılması tavsiye edilmektedir



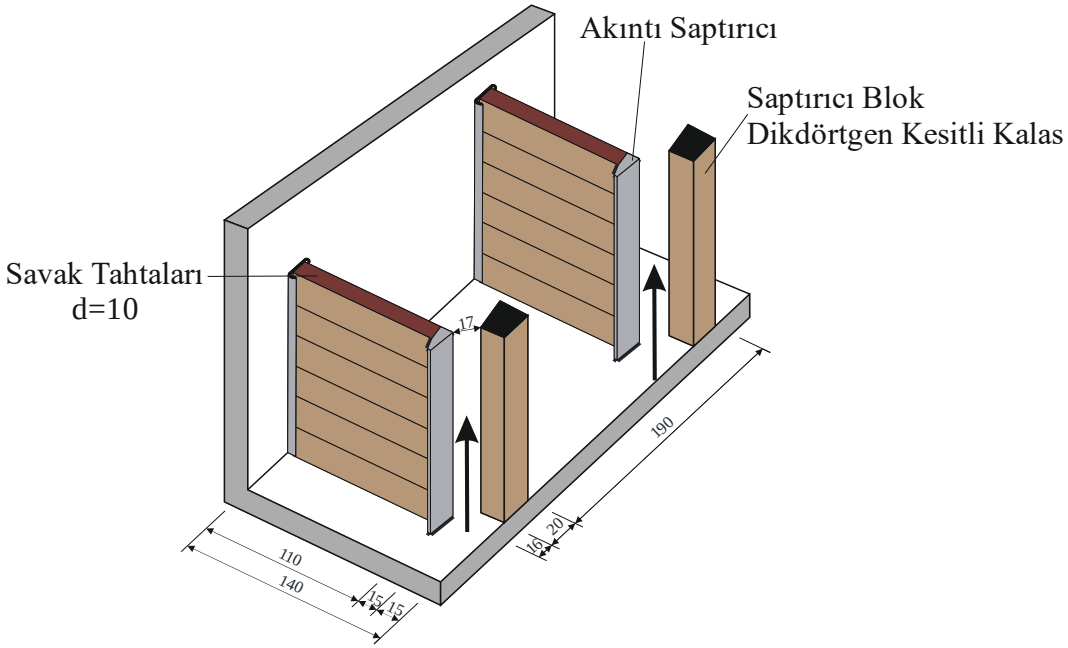
Şekil 3.2. Yarıklı geçidin boy kesiti(şematik)

3.1.2. Deneyler

Deneyler Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü Hidrolik laboratuvarında bulunan 400x35x35 cm boyutlara sahip Şekil 3.3.'te verilen açık kanal modeli üzerinde yapılmıştır. Kanal içerisine üç adet balık geçidi modeli yerleştirilmiştir. Buradaki boyutlar Şekil 3.4.'te verilen ve FAO (2002)'te önerilen boyutların geometrik olarak ¼ ölçeğinde imal edilmiştir. Böylece tasarım kriterleri açısından geometrik bir benzerlik kurulmuştur.

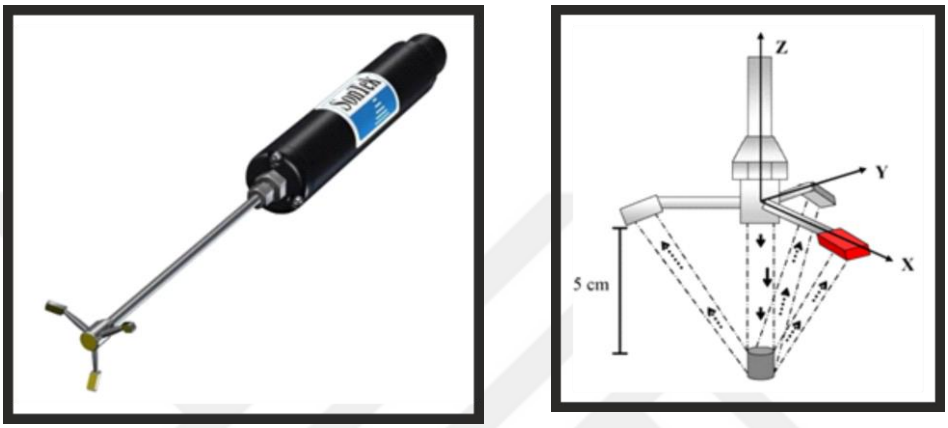


Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan açık kanal modeli ve şematik gösterimi

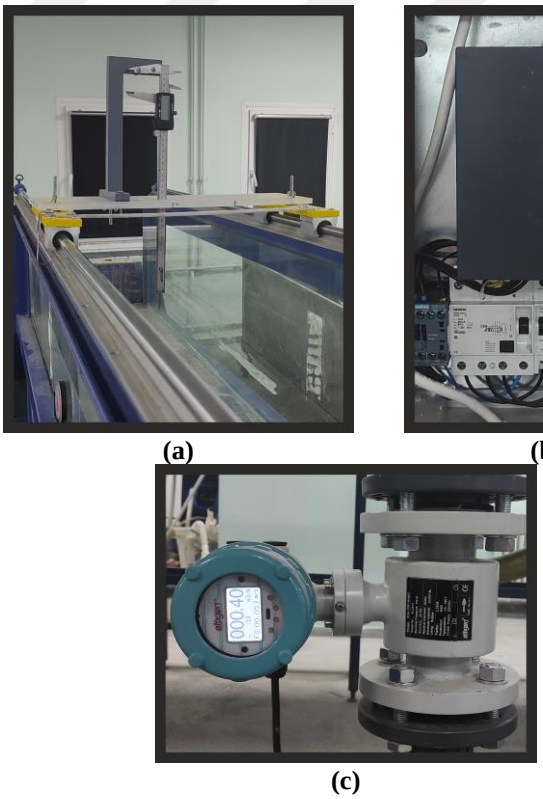


Şekil 3.4. FAO (2002)'te önerilen balık geçidi.

Deneylerde hız ölçümü için Şekil 3. 5'te verilen akustik doppler hız ölçer (Acouistic doppler velocitmery-ADV) cihazı kullanılmış, cihaz üç eksende hareket kabiliyetine sahip bir traverse sistem ile kontrol edilmiştir. Serbest su yüzünün belirlenmesi için de Şekil 3. 6 (a)'da verilen dijital limnimetre kullanılmıştır. Giriş debisi pompa hız kontrol cihazı (Şekil 3. 6-b) yardımıyla sabit bir seviyede tutulmuş ve debi ölçümlerinde elektromanyetik debi ölçüm cihazı (Şekil 3.6-c) ile yapılmıştır.



Şekil 3. 5. Akustik doppler hız ölçer cihazı (Acouistic doppler velocitmery -ADV)



(a) **(b)**

(c)

Şekil 3. 6. (a) Dijital limnimetre, b- Pompa hız kontrol cihazı, (c)- Elektromanyetik debi ölçer

ADV cihazının kanal içerisindeki üç boyutlu hareketini sağlayabilmek için Şekil 3.7. (a)'da verilmiş olan travers sistemi kullanılmıştır. Bu sistem düşey eksende (z) Şekil 3.7. (b)'deki kontrol paneli yardımıyla 0.01mm hassasiyetle hareketi sağlanmaktadır. X ve y eksenlerinde ise hareket manuel olarak yapılmıştır.



Şekil 3. 7. ADV elektronik düşey hareket sistemi ve kontrol paneli

Deneysel olarak ölçülmüş akım özelliklerine göre Froud (Fr) sayısı Denklem 3.3 ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, V kesit ortalama hızı, g yerçekimi ivmesi, h ise su derinliğini temsil etmektedir.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \tag{3.3}$$

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde giriş debisi Durum 1 için 6.35 l/s, Durum 2 için ise 5.53 l/s memba Fr sayısı ise Durum 1 için 0.0667 , Durum 2 için ise 0.057 olarak hesaplanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Temel denklemler

Balık geçitlerinin akım ile etkileşiminde meydana gelen akım türü türbülanslı akımdır. Bu akım türünü idare eden temel denklemlerden süreklilik (Denklem 3.4) ve Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) (Denklem 3.5) denklemleridir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{3.4}$$

$$\rho\left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) = \rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij}) \tag{3.5}$$

Süreklilik ve RANS denklemlerinde bulunan u_i ortalama hızın üç boyuttaki bileşenleri, p ortalama basınç, μ akışkanın dinamik viskozitesi, ρ akışkanın yoğunluğu, ρg_i yerçekimi sonucunda meydana gelen kütlesel kuvvet, t zamanı, τ_{ij} ise türbülans yani Reynolds gerilmeleridir. Boussinesq yaklaşımına türbülans yani Reynolds gerilmeleri Denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\tau_{ij} = -\rho\overline{u_i' u_j'} = \mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\delta_{ij}\rho k \tag{3.6}$$

Denklem 3.6'da verilen u_i' ve u_j' türbülans hız sapınçları ve μ_t türbülans viskozitesi olup δ_{ij} Kronecker deltayı ifade etmektedir (i=j için δ_{ij}=1).

3.2.2. Türbülans kapatma modelleri

Denklem 3.5'te verilen üç boyutlu akışa ait RANS denklemlerinde üç hız, altı türbülans kayma gerilmesi, bir basınç bileşeni ile toplam 10 bilinmeyen vardır. Ancak, x, y ve z bileşenleri için toplam üç RANS denklemi ve bir süreklilik denklemi olmak üzere sadece dört denklem bulunduğundan denklem sisteminin çözümü mümkün değildir. Denklem sisteminin çözülebilmesi için farklı türbülans kapatma modelleri

geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında türbülansın sayısal olarak tanımlanabilmesi için literatürde karmaşık akım yapısında başarılı olduğu belirtilen RNG k-ε, SST k-ω ve DES (Detached-Eddy Simulation-Bağımsız Girdap Benzetimi) modelleri kullanılmıştır.

3.2.2.1. RNG k-ε türbülans modelleri

RNG k- ε türbülans modeli, türbülans kinetik enerjisi, "k" ve türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı, "ε" büyüklüklerini kullanarak iki farklı geçiş (transport) denklemini kullanarak türbülansı tanımlayan ve Launder (1972) tarafından önerilen Standart k- ε modelinin modifikasyonu ile geliştirilmiş bir modeldir (Yakhot ve Orszag, 1986; Yakhot ve ark., 1992). Bu modelin Standart k- ε modelinden temel farkı yeniden normalleştirme grup teorisi (Renormalization Group Theory) yardımıyla geliştirilen istatiksel bir yaklaşımdır. RNG k- ε modelinde ε taşınım denkleminin içerisinde bulunan bir terim ile akım hızının ani değişim gösterdiği akışlarda daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Böylelikle türbülans alanından bağımsız olarak gelişen ikincil bir akışın olduğu durumlarda ve girdap durumunun meydana geldiği akımlarda standart k-ε modeline göre daha doğru sonuçlar verebilmektedir (Aksoy, 2019). Bu model ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.

3.2.2.2. SST k- ω türbülans modeli

Wilcox (1998) tarafından geliştirilen Standart k-ω türbülans modeli taşınım denklemi olarak türbülans kinetik enerjisini ve türbülans kinetik enerjisinin özgül kayıp oranı, ω=ε/k, kullanmaktadır. SST k- ω türbülans modeli Menter (1994) tarafından Standart k-ω modelinin geliştirilmesine dayanmaktadır. SST k- ω türbülans modelinde sınır tabakanın iç bölgesinden dış bölgesine doğru standart k- ω türbülans modelinden Standart k- ε modeline bir fonksiyon ile geçişi mümkün olabilmektedir. Bu fonksiyon, türbülans kayma gerilmelerinin geçiş etkilerini yakalayabilmek amacıyla modifiye edilmiş bir türbülans viskozitesi denklemini kullanmaktadır (Aksoy, 2009).

SST k- ω modeli, akımda ayrılmanın gözlendiği ve ters basınç gradyanlarının

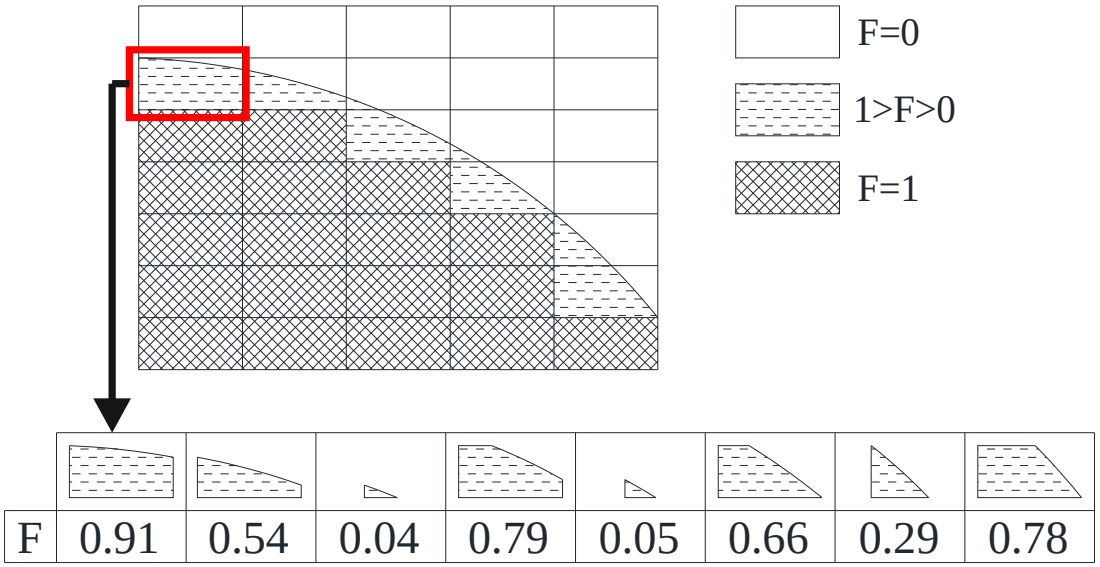
oluştuğu durumlarda türbülanslı kayma gerilmesini transport denklemlerinde kullanarak türbülansın tahmininde oldukça başarılı sonuçlar elde edebilmektedir. Bu model ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.

3.2.2.4. Bağımsız Girdap Benzetimi (Detached-Eddy Simulation-DES)

Bağımsız girdap benzetimi modeli (Large Eddy Simulation-LES) ve RANS denklemlerinin hibrit bir şekilde kullanılması üzerine Bağımsız Girdap Benzetimi (Detached-Eddy Simulation-DES) modeli önerilmiştir. DES modeli, büyük çalkantıların oluştuğu bölgelerde LES, küçük çalkantıların oluştuğu bölgelerde ise RANS denklemi ile çözüm yapmaktadır. Bu modelde duvar yakını modellenmesinde RANS denklemlerinde kullanılan türbülans modellerinin herhangi birini kullanmak mümkündür. Bu çalışma kapsamında duvar yakınının modellenmesinde Realizable k-ε türbülans kapatma modeli DES modelinde kullanılmıştır. Bu model ile ilgili detaylar ANSYS (2018)'te verilmiştir.

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

Akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid-VOF), sistemdeki iki veya daha fazla akışkanın birbirlerine karışmaması prensibine dayalı olarak kullanılan ve hesaplama ağında akışkanın serbest su yüzünün şeklini veren bir yöntemdir (Hirt ve Nichols, 1981). Bu tez çalışması kapsamında kullanılan akışkanlar su ve havadır, birbirlerine karışmayan bu iki akışkanın ara kesitini vermek için VOF yöntem kullanılmıştır. Çözüm ağındaki hücrelerin boş, kısmen ya da tam su ile dolu olduğunu belirleyen bu yöntemde ilgili hücrenin doluluk oranı akışkan hacmi (F) olarak tanımlanır. Çözüm ağındaki hücredeki hesaplanan F değerinin 1 olması su ile tam dolu, 0 olması boş, 0 ile 1 arasında olması ise su ile kısmen dolu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.8.). VOF yönteminde ara kesitin hesaplanmasında farklı algoritmalar bulunmaktadır (ANSYS, 2018). Ancak bu çalışmada Gümüş (2014) tarafından önerilen "Geo-Reconstruct" yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntem ile ilgili detaylar Gümüş (2014)'te verilmiştir.



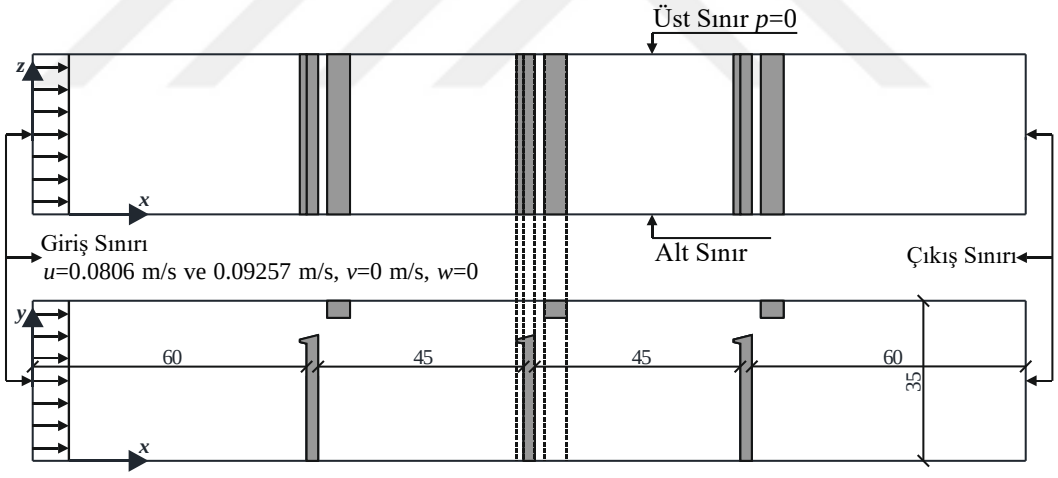
F	0.91	0.54	0.04	0.79	0.05	0.66	0.29	0.78

Şekil 3.8. Ağ elemanlarının doluluk oranları

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

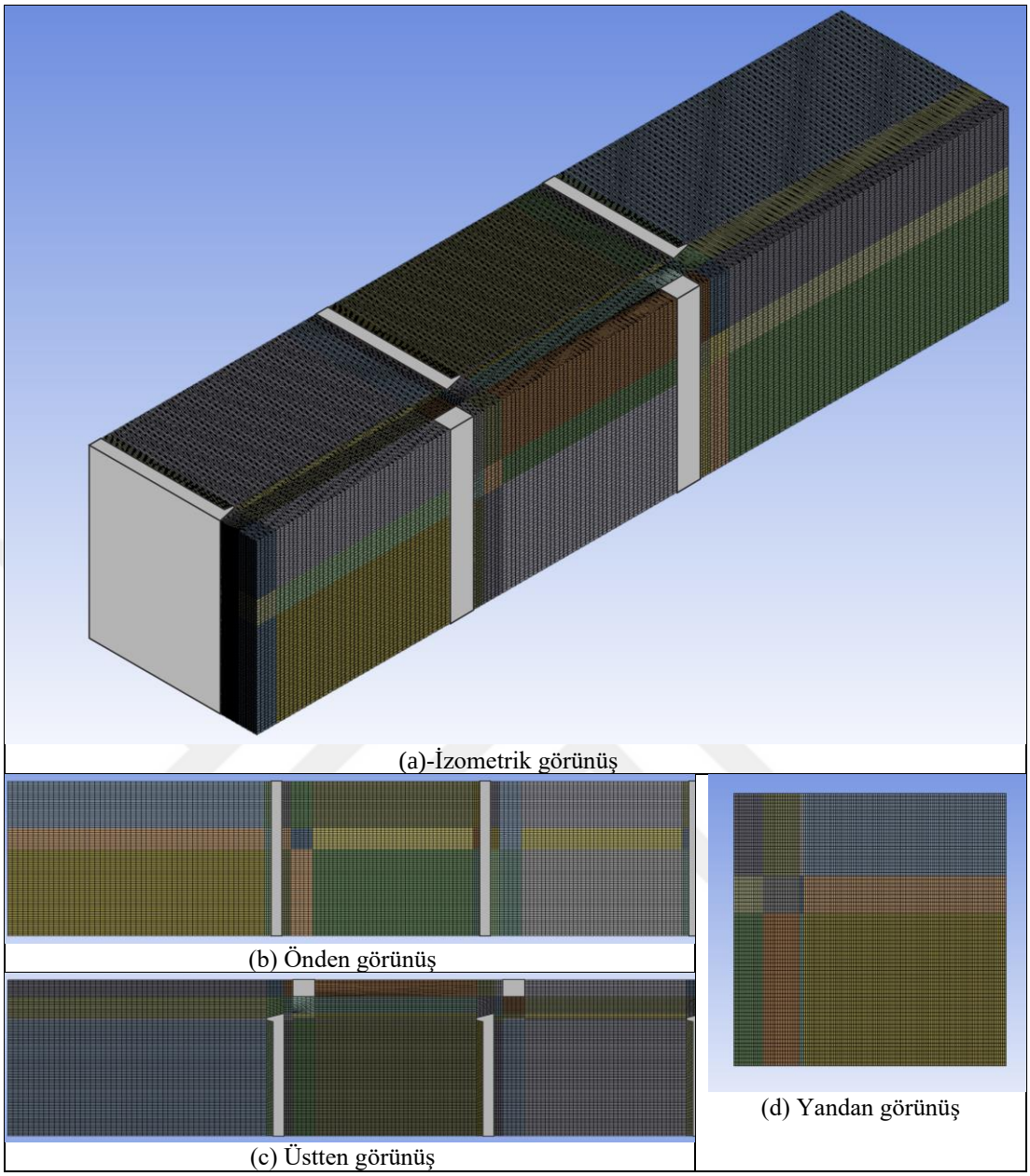
4.1. Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları

Şekil 4.1.'de, içerisinde düşey yarıklı balık geçidi bulunan açık kanal akımının modellenmesi için kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartları görülmektedir. *x, y, z* kartezyen koordinat sisteminin başlangıç (*x*=0, *y*=0 ve *z*=0) noktası, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Balık geçidi içeren açık kanal akımının çözüm bölgesinin üst ve çıkış bölgelerinde sınır şartı *p*=0, kanal tabanında ve balık geçidi üzeri ise, *u*=0, *v*=0 (sıfır-hız) olarak tanımlanmıştır. Giriş sınır şartında ilk başlangıç anındaki *v* ve *w* hızları 0 alınmıştır. Yatay hız bileşeni *u* ise Durum 1 için 0.09257 m/s, Durum 2 için ise 0.0806 m/s olarak alınmıştır. Yine giriş sınır şartı olarak VOF yöntemindeki F değeri 1 alınmış ve *t*=0 anında ise tüm sistemde *F*=0 olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4. 1. Çözüm bölgesinin sınır şartları

Şekil 4.2.'de ise balık geçidi içeren açık kanal akımının mesh yapısı görülmektedir. Toplam 165 hacimsel bölgeye ayrılan sayısal modelde, toplam elaman sayısı ise 2.969.178 olmuştur. Mesh yapısı düzenli ve dörtgen yapıda tasarlanmıştır.



(a)-İzometrik görünüş

(b) Önden görünüş

(c) Üstten görünüş

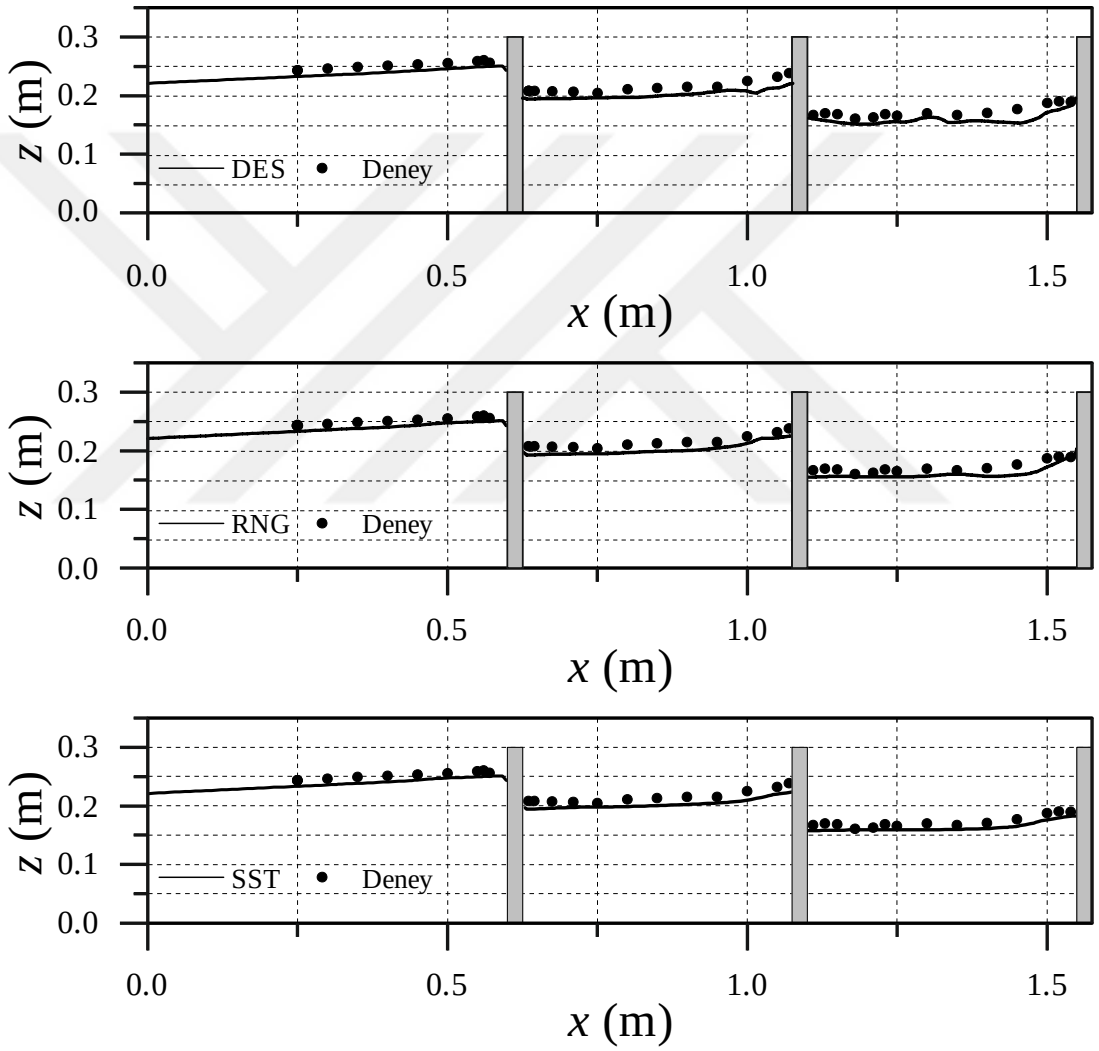
(d) Yandan görünüş

Şekil 4.2. Sayısal modelde kullanılan mesh yapısı

4.2. Deneysel ve Sayısal Su Yüzü Profilleri

Balık geçidinin laboratuvar ortamında modellenmesi sonucunda üç farklı türbülans modeline göre elde edilmiş olan deneysel ve sayısal su yüzü profilleri değerlendirilmiştir. Durum 1 için kanal orta ekseninde (y=17.5 cm), deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 4.3.'de verilmiştir. Verilen şekillerden deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. SST türbülans kapatma modeli

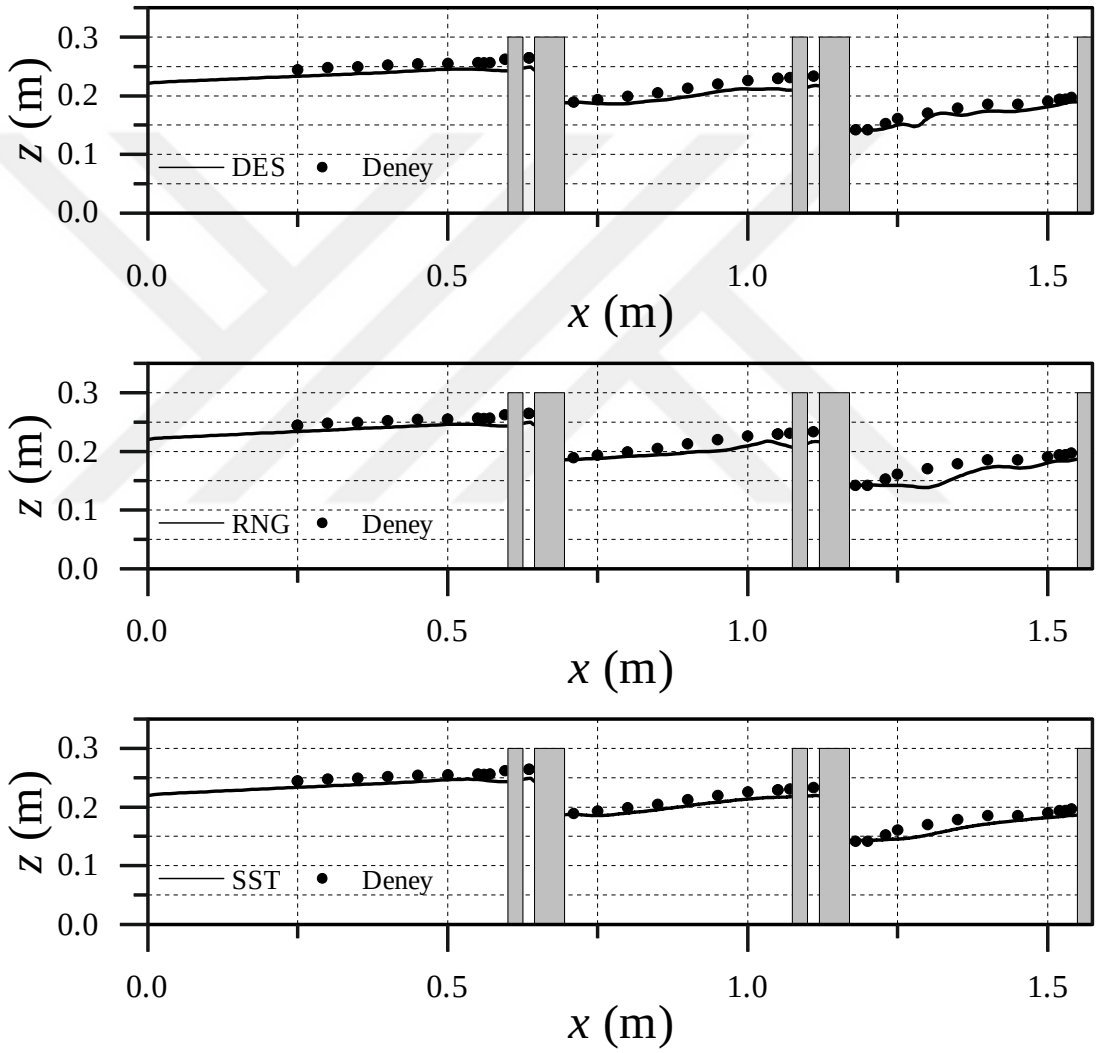
kullanılarak elde edilen su yüzü profilinin RNG ve DES modelleri kullanılarak elde edilen su yüzü profillerine kıyasla deneysel su yüzüne daha yakın tahminde olduğu belirlenmiştir. Su yüzü profillerinden dikey yarıklı balık geçidinin bulunduğu kesitlerde alanın daralmasına bağlı olarak bu bölgede su yüksekliklerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, memba kısmında mansap bölgesine doğru ilerledikçe balık geçitleri bölgesinde (x=0.50-1.65 m) su seviyesinde kademeli bir düşüş meydana gelmektedir.



Şekil 4.3. Durum 1 orta eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri

Durum 1'de kanal kenar ekseninde (y=3.5 cm) deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 4.4.'te verilmiştir. Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılmasından,

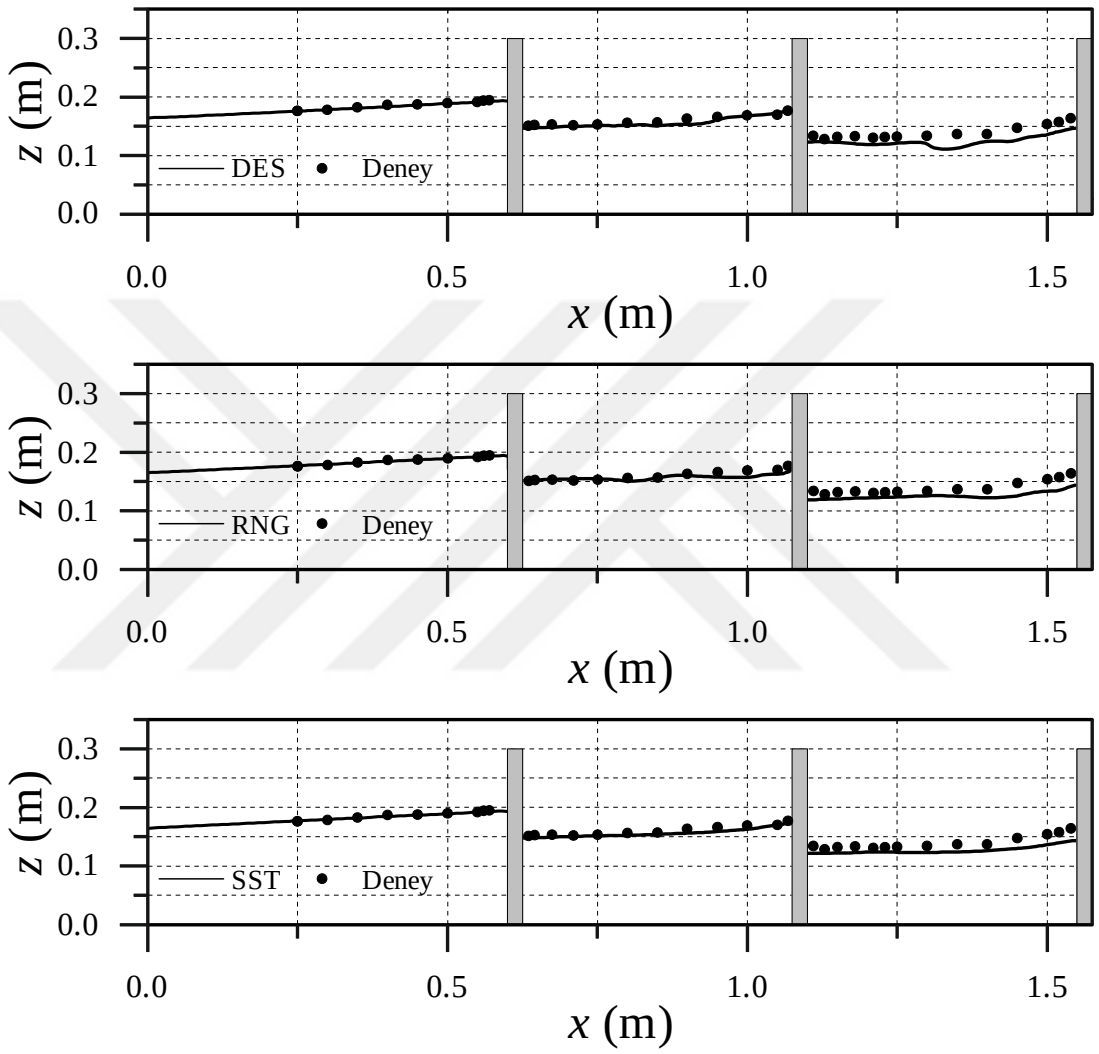
DES, RNG ve SST türbülans modelleri kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinin deneysel su yüzü profiliyle oldukça uyumlu olduğu değerlendirilmiştir. RNG ve SST türbülans modelleri kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinin DES modeliyle elde edilen su yüzü profillerine kıyasla özellikle x=1.25 ile x=1.50 m bölgesinde deneysel profille uyumunun azaldığı dikkat çekmektedir. Balık geçitlerinin bulunduğu bölgede su yüksekliklerindeki değişimin kanal orta ekseninden daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 4. Durum 1 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri

Durum 2'de kanal orta ekseninde deneysel ve DES, RNG ve SST türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 4.5.'te verilmiştir. Deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen su

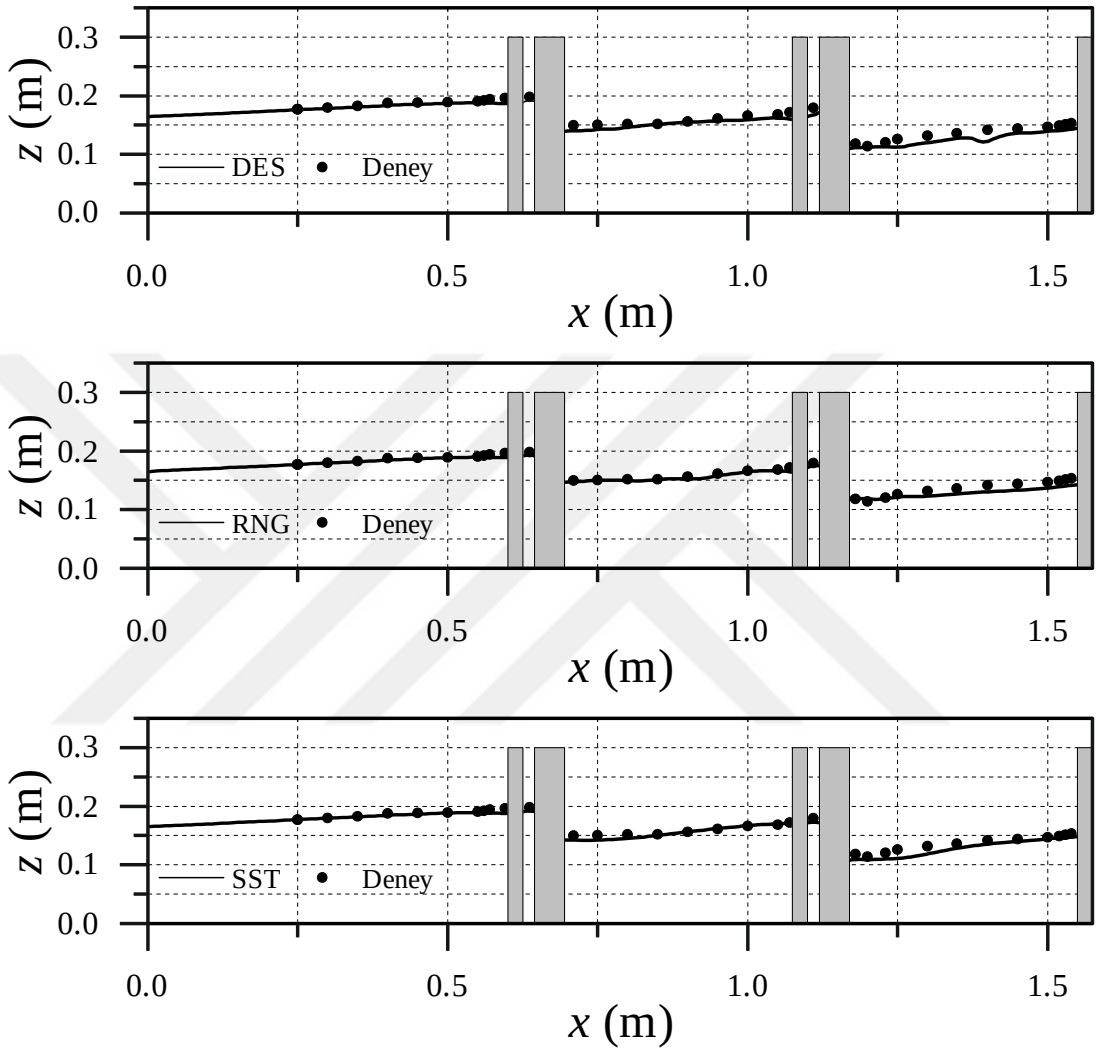
yüzü profillerinin karşılaştırılmasından, sayısal su yüzü profillerinin deneysel profillerle genel olarak paralel olduğu görülmektedir. Durum 1'de olduğu gibi bu akım durumunda da deneysel ve sayısal su yüzü profilleri arasındaki uyum üçüncü balık geçidi memba bölgesinde diğer bölgelere kıyasla azalmaktadır.



Şekil 4.5. Durum 2 kenar eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri

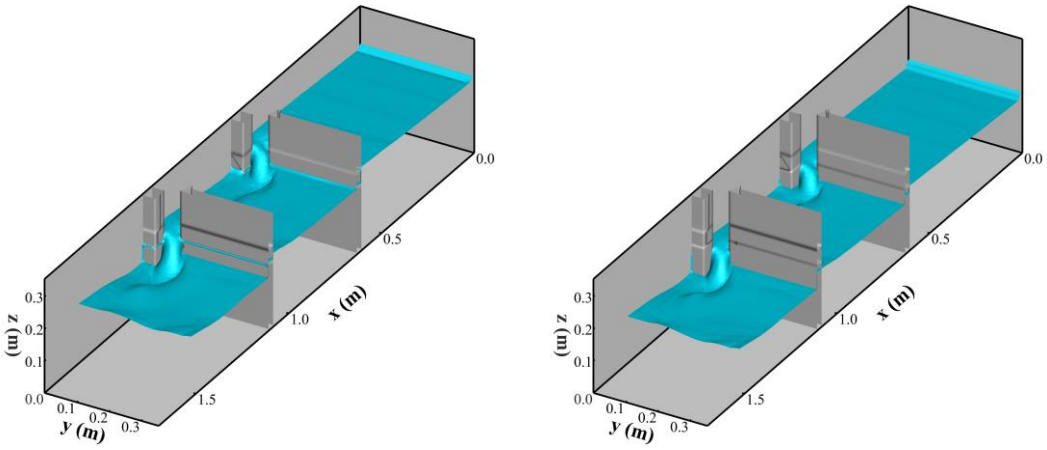
Durum 2'de kanal kenar ekseninde deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 4.6.'da verilmiştir. Deneysel ve DES, RNG ve SST modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profillerinin birbirine oldukça benzer olduğu belirlenmiştir. Şekillerden, farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profillerinin arasında büyük farklılıkların bulunmadığı görülmektedir. Durum 1'e göre debinin azalmasıyla

balık geçidi bölgesinde elde edilen su yüksekliklerinin azaldığı belirlenmiştir. Sayısal modelleme tekniklerinin balık geçidi ile etkileşimde bulunan akımların su yüzünü modellemede oldukça başarılı olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 4.6. Durum 2 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal su yüzü profilleri

Durum 1 ve Durum 2'den elde edilmiş olan hacimsel su yüzü profilleri de Şekil 4.7.'de verilmiştir. Ortalama hacimsel oranlar (volume fraction) değerleri dikkate elde edilmiş olan bu profillerde balık geçit kısımları dışında kalan kısımlarda akışın durağan olduğu, ancak geçiş bölgelerinde ciddi bir değişkenlik olduğu anlaşılmaktadır. Sayısal modelleme ile akımın değişken yapıya sahip su yüzlerinin, gerçek durum ile oldukça uyumlu sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır.



(a)-Durum 1 (b)-Durum 2

Şekil 4.7. Balık geçit modelinin hacimsel su yüzü profilleri

4.3. Deneysel ve Sayısal Hız Profilleri

Durum 1 ve 2'de kanal orta ekseninde deneysel ve DES, RNG ve SST türbülans modelleriyle elde edilen sayısal hız profillerinin (bileşke hız=*V*) karşılaştırılması sonucunda elde edilen OKH değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Akımın ilk balık geçidiyle etkileşime girdiği bölgede Durum 1'de DES modeli, Durum 2'de ise genel olarak SST türbülans modeli diğer modellere kıyasla daha başarılı olmuştur. Daha sonraki bölgelerde ise Durum 1'de SST türbülans modeli diğer modellere kıyasla daha ön plana çıkarken, Durum 2'de *x*=50-120 cm aralığında SST türbülans modeli en başarılı model olurken, 130 ve150 cm kesitlerinde DES modeli, 140 cm kesitinde ise RNG modeli deneysel hız profillerine en yakın tahminde bulunmuştur. Tablonun son satırında ele alınan kesitlerde elde edilen OKH değerlerinin ortalaması verilmiştir. Bu değerler üzerinde parantez içinde verilen rakamlar ise o modelin başarı sıralamasını ifade etmektedir. Bu değerler incelendiğinde, Durum 1 ve 2'de SST türbülans modeli en başarılı model olmuştur. Türbülans modellerinin başarı sıralaması Durum 1 için SST, RNG ve DES modeli şeklinde oluşurken, Durum 2 için ise modellerin başarı sıralaması SST, DES ve RNG şeklinde olmuştur. Ayrıca, tablo sonunda verilen ortalama OKH değerlerine göre debinin azaldığı Durum 2'de türbülans modelleri deneysel hız profillerine daha yakın tahminde bulunmuştur.

Çizelge 4. 1. Orta eksen hız profillerinin ortalama karesel hata değerleri

***x* (cm)**	**Durum 1 orta eksen (17.5 cm)**			**Durum 2 orta eksen (17.5 cm)**		
	OKH (cm^2/s^2)			**OKH (cm^2/s^2)**		
	RNG	**SST**	**DES**	**RNG**	**SST**	**DES**
30	0.00106(2)	0.00108(3)	**0.00103(1)**	0.00346(3)	0.00284(2)	**0.00229(1)**
50	0.00054(3)	0.00039(2)	**0.00036(1)**	0.00180(3)	**0.00046(1)**	0.00142(2)
55	0.00024(2)	0.00027(3)	**0.00023(1)**	0.00101(2)	**0.00099(1)**	0.00116(3)
70	0.00408(2)	0.01181(3)	**0.00153(1)**	0.00233(2)	**0.00104(1)**	0.00283(3)
80	**0.00468(1)**	0.0378(3)	0.01615(2)	0.00536(3)	**0.00163(1)**	0.00519(2)
90	0.08370(2)	**0.02663(1)**	0.08750(3)	0.01086(2)	**0.00824(1)**	0.02857(3)
100	0.04841(3)	**0.01872(1)**	0.02416(2)	0.00226(2)	**0.00169(1)**	0.00604(3)
120	0.05836(2)	**0.03534(1)**	0.12984(3)	0.00363(2)	**0.00094(1)**	0.00364(3)
130	0.15595(2)	**0.06191(1)**	0.29159(3)	0.03895(3)	0.01172(2)	**0.00510(1)**
140	0.04181(3)	**0.03841(1)**	0.17328(2)	**0.02097(1)**	0.02752(3)	0.02505(2)
150	0.02880(2)	**0.00959(1)**	0.05906(3)	0.01643(3)	0.00383(2)	**0.00294(1)**
Ortalama	0.03888(2)	**0.02199(1)**	0.07134(3)	0.00973(3)	**0.00554(1)**	0.00766(2)

Çizelge 4.2.'de Durum 1 ve 2'de kanal kenar ekseninde (y=3.5 cm) RNG, SST ve DES modelleriyle hesaplanan OKH değerleri verilmiştir. Durum 1'de elde edilen OKH değerlerine göre ele alınan kesitlerde belirli bir bölgede bir türbülans modeli herhangi bir üstünlük sağlamaz iken satır sonunda verilen ortalama değerlere göre türbülans modeli başarı sıralaması SST, DES ve RNG olarak belirlenmiştir. Durum 2'de ise x=72 cm ile x=130 cm kesitleri arasında ele alınan kesitlerde SST türbülans modeli diğer türbülans modellerine kıyasla daha başarılı olmuştur. Türbülans modellerinin başarılı sıralaması Durum 1'de oluşan sıraya benzer şekilde SST, DES ve RNG şeklinde oluşmuştur. Bunun yanında, Durum 1'de elde edilen ortalama OKH değerleri Durum 2'den daha küçük olmuştur.

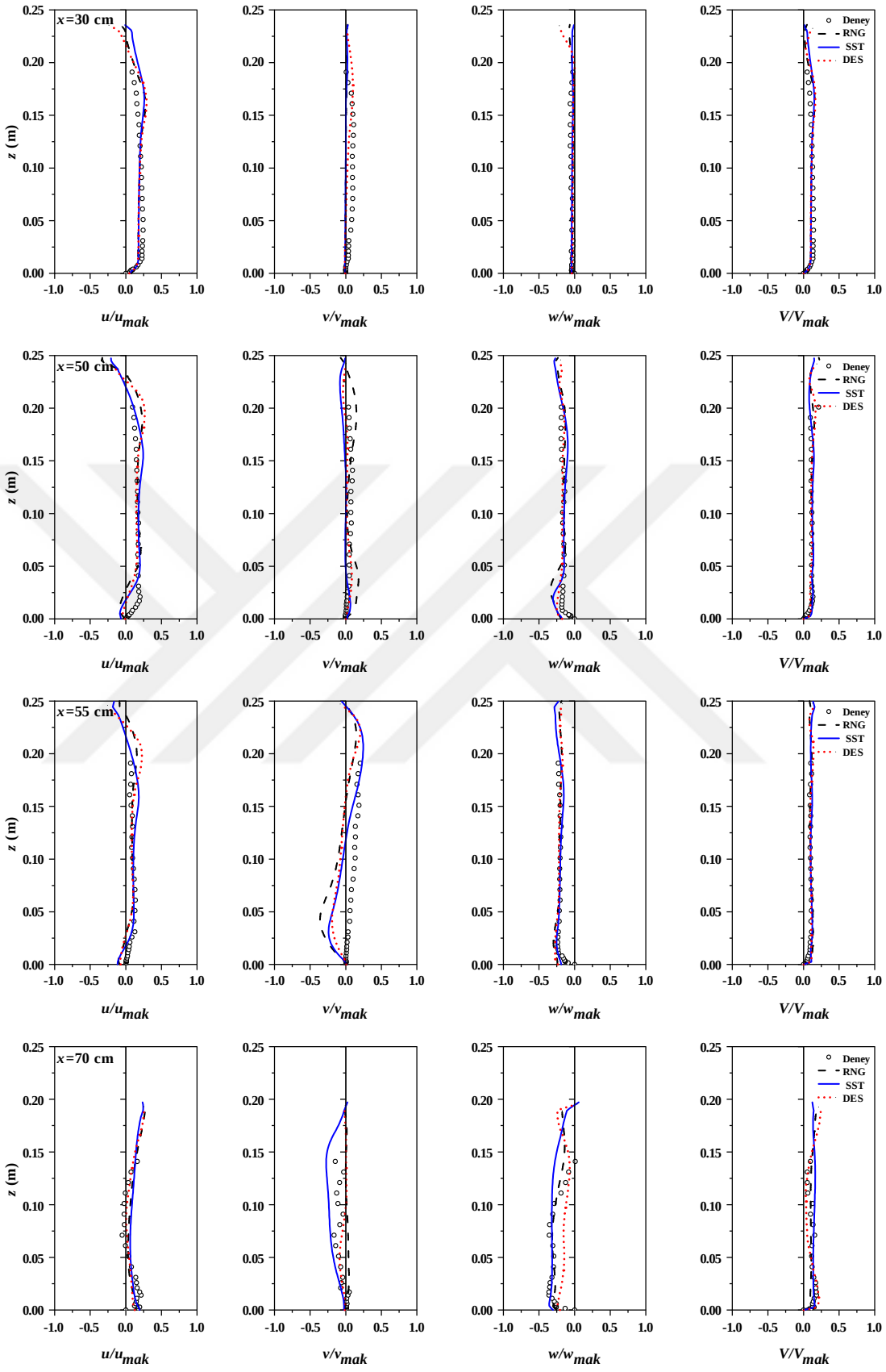
Çizelge 4. 2. Kenar eksen hız profillerinin ortalama karesel hata değerleri

x (cm)	Durum 1 kenar eksen (3.5 cm)			Durum 2 kenar eksen (3.5 cm)		
	OKH (cm^2/s^2)			OKH (cm^2/s^2)		
	RNG	SST	DES	RNG	SST	DES
30	0.00125(2)	**0.00123(1)**	0.00168(3)	0.00163(3)	0.00139(2)	**0.00070(1)**
50	0.00045(2)	**0.00043(1)**	0.00081(3)	0.00206(2)	**0.00122(1)**	0.00241(3)
55	0.00035(3)	0.00027(2)	**0.00019(1)**	**0.00150(1)**	0.00152(2)	0.00209(3)
72	**0.00169(1)**	0.00294(3)	0.00269(2)	0.01618(3)	**0.00596(1)**	0.01219(2)
80	0.00476(3)	0.00244(2)	**0.00242(1)**	0.08656(3)	**0.04857(1)**	0.05421(2)
90	**0.00513(1)**	0.00630(2)	0.02378(3)	0.13513(3)	**0.09523(1)**	0.12145(2)
100	0.00582(2)	**0.00033(1)**	0.02209(3)	0.04546(2)	**0.03268(1)**	0.06828(3)
120	0.00716(3)	0.00275(2)	**0.00110(1)**	0.01533(2)	**0.00616(1)**	0.02134(3)
130	0.01501(3)	0.00909(2)	**0.00562(1)**	0.18564(2)	**0.09150(1)**	0.22125(3)
140	0.03863(3)	**0.0196(1)**	0.02161(2)	0.20348(3)	0.16254(2)	**0.08878(1)**
150	0.02112(3)	**0.00402(1)**	0.00698(2)	**0.01625(1)**	0.03236(3)	0.02091(2)
Ortalama	0.00922(3)	**0.00449(1)**	0.00809(2)	0.06447(3)	**0.04356(1)**	0.05578(2)

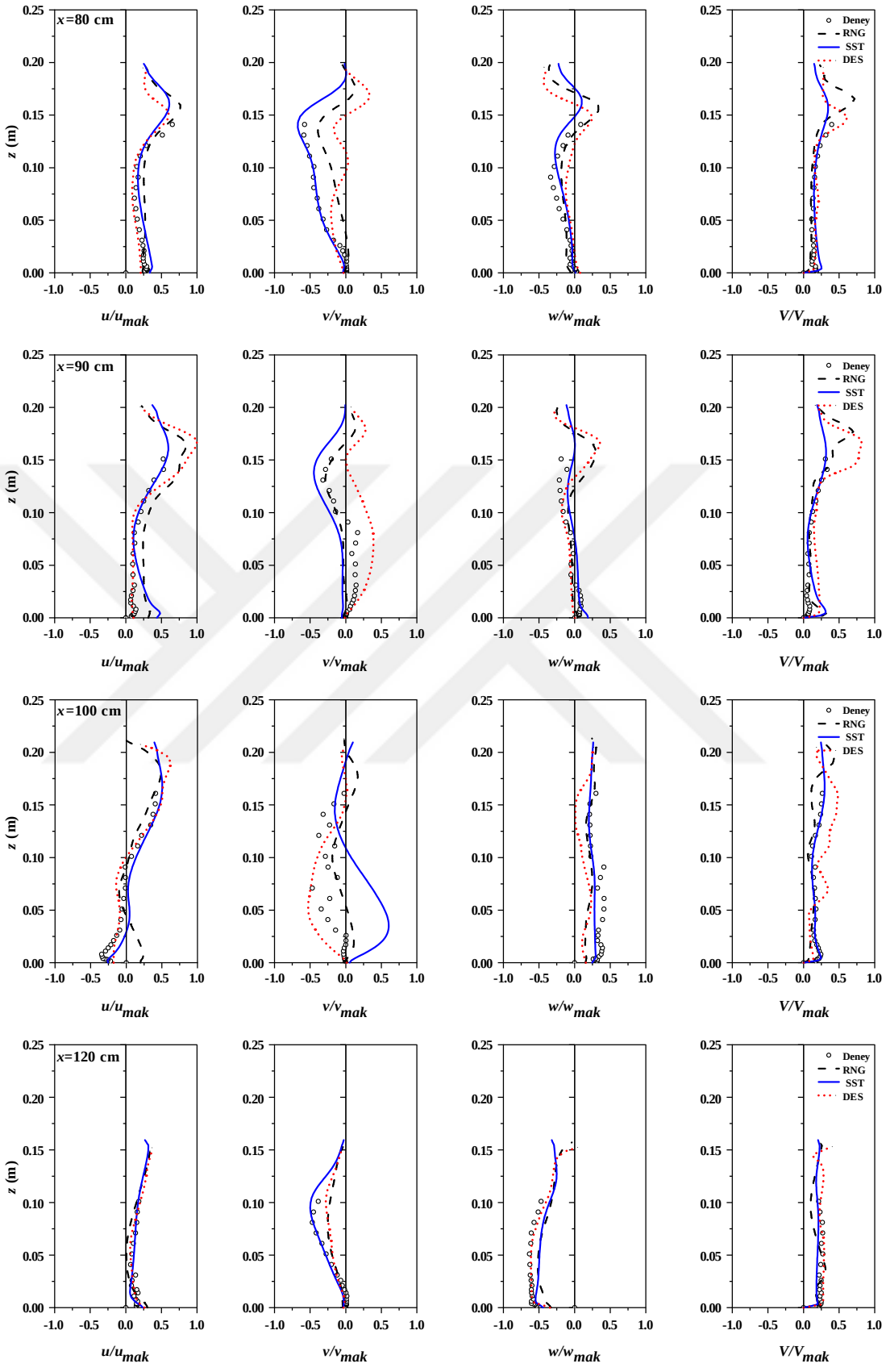
Şekil 4.8.'de Durum 1 için kanal orta ekseninde farklı kesitlerde deneysel ve sayısal olarak elde edilen *u, v, w* hız bileşenlerinin ve *V* bileşke hızın karşılaştırılması verilmiştir. Tüm hız profillerinde *x* koordinatı değerlendirilen hız parametresinin en büyük değerine bölünerek boyutsuz hala getirilmiştir. Açık kanal akımının giriş bölgesine en yakın kesit olan *x*=30 cm'de elde edilen hız bileşenlerine ve bileşke hızlara ait profillerden RNG, SST ve DES modelleri kullanılarak elde edilen hız profillerinde herhangi bir farklılık bulunmamakta ve deneysel hız profilleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. *x*=50 cm kesitinde elde edilen hız profillerinden, *x* doğrultusundaki hız bileşeninde türbülans modellerinin tahminlerinin benzer olduğu ve *z*=0.05 m yüksekliğinden daha küçük akım yüksekliklerinde deneysel olarak elde edilen hız profilinden oldukça farklı olduğu dikkat çekmektedir. Bu bölgede, sayısal hız profillerinde negatif değerler tahmin edilmiş iken deneysel olarak bu bölgede pozitif hız değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçtan, balık geçidinin ön bölgesinde meydana gelen ayrılma bölgesinin sayısal modellemelerde deneysel olarak belirlenen bölgelerden daha büyük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu kesitte sayısal olarak elde edilen diğer hız profilleri, *y* doğrultusundaki hız bileşeninde RNG modeli hariç genel olarak deneysel profillerle benzerdir. *x*=55 cm kesitinde elde edilen *x* doğrultusundaki hız bileşenine ait profilde *x*=50 cm kesitinde meydana gelen durumun benzeri

oluşmuştur. Sayısal modelleme sonucunda elde edilen hız profillerinde kanal tabanına yakın bölgede ayrılmalar görülmektedir. *y* doğrultusundaki hız bileşenine ait deneysel ve sayısal hız profilleri birbirinden oldukça farklıdır. *x*=70 cm kesitinde deneysel ve farklı türbülans modelleriyle elde edilen sayısal hız profillerinin y doğrultusundaki hız profili dışında genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Kanal başlangıç bölgesinden *x*=70 cm kesitine kadar bölgedeki hız profillerinden bu bölgede deneysel olarak elde edilen *y* doğrultusunda elde edilen hız bileşeninin oldukça küçük değerlere sahip olduğu, *z* doğrultusunda elde edilen hız bileşeni ise açık kanal akımının mansaba doğru ilerlemesiyle daha büyük değerlere ulaşmaktadır. *x*=80 cm kesitinde deneysel ve sayısal hız profillerinin karşılaştırılmasından SST modelinin kullanılan diğer iki modele kıyasla deneysel profillere oldukça yakın tahminde bulunduğu görülmektedir. *x*=90 cm kesitinde elde edilen hız profillerinden *x* doğrultusundaki hız bileşeninde DES modeli kullanılarak elde edilen sayısal hız profilinin deneysel hız profile uyumlu olduğu, *y* doğrultusundaki hız bileşenine ait hız profilinde ise kanal tabanına yakın bölgede herhangi bir türbülans modelinin üstünlüğü söz konusu değil iken *z*=0.1 m'den büyük olduğu akım derinliklerinde RNG modeli deneysel profile oldukça yakınsamaktadır. *z* doğrultusundaki hız bileşenine ve bileşke hıza ait profillerde ise RNG modeli diğer modellere kıyasla deneysel hız profillerine daha benzer tahminde bulunmuştur. *x*=100 cm kesitinde y doğrultusundaki hız bileşenine ait profil dışında diğer hız profillerinde SST türbülans modeli DES ve RNG modeline kıyasla oldukça başarılı modelleme yapmıştır. *x*=120 cm kesitinde de 100 cm kesitinde olduğu gibi SST türbülans modeli tüm hız profillerinde deneysel profillerle oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir. *x*=130 cm kesitinde *y* ve *z* doğrultusundaki hız bileşenlerine ait profillerde kullanılan tüm modeller oldukça başarılı olurken, bileşke hıza ait profillerde DES modeli diğer iki modele üstünlük sağlamıştır. Bu kesitte *x* doğrultusundaki hız bileşenine ait hız profillerinde kullanılan türbülans modellerinin birbirine benzer tahminde bulunduğu görülmekte ve bu profiller deneysel profillerle genel olarak uyumsuz olmuştur. *x*=140 cm kesitinde y doğrultusundaki hız bileşenine ait profilde SST modeli, *z* doğrultusundaki hız bileşeninde ise DES modeli deneysel profile oldukça benzer tahminde bulunmuştur. *x*=150 cm kesitinde sayısal ve deneysel olarak elde edilen hız profilleri birbirine benzer olsa da hız büyüklüklerinde farklılıklar bulunmaktadır. Tüm akım alanında elde edilen hız profillerinin genel olarak

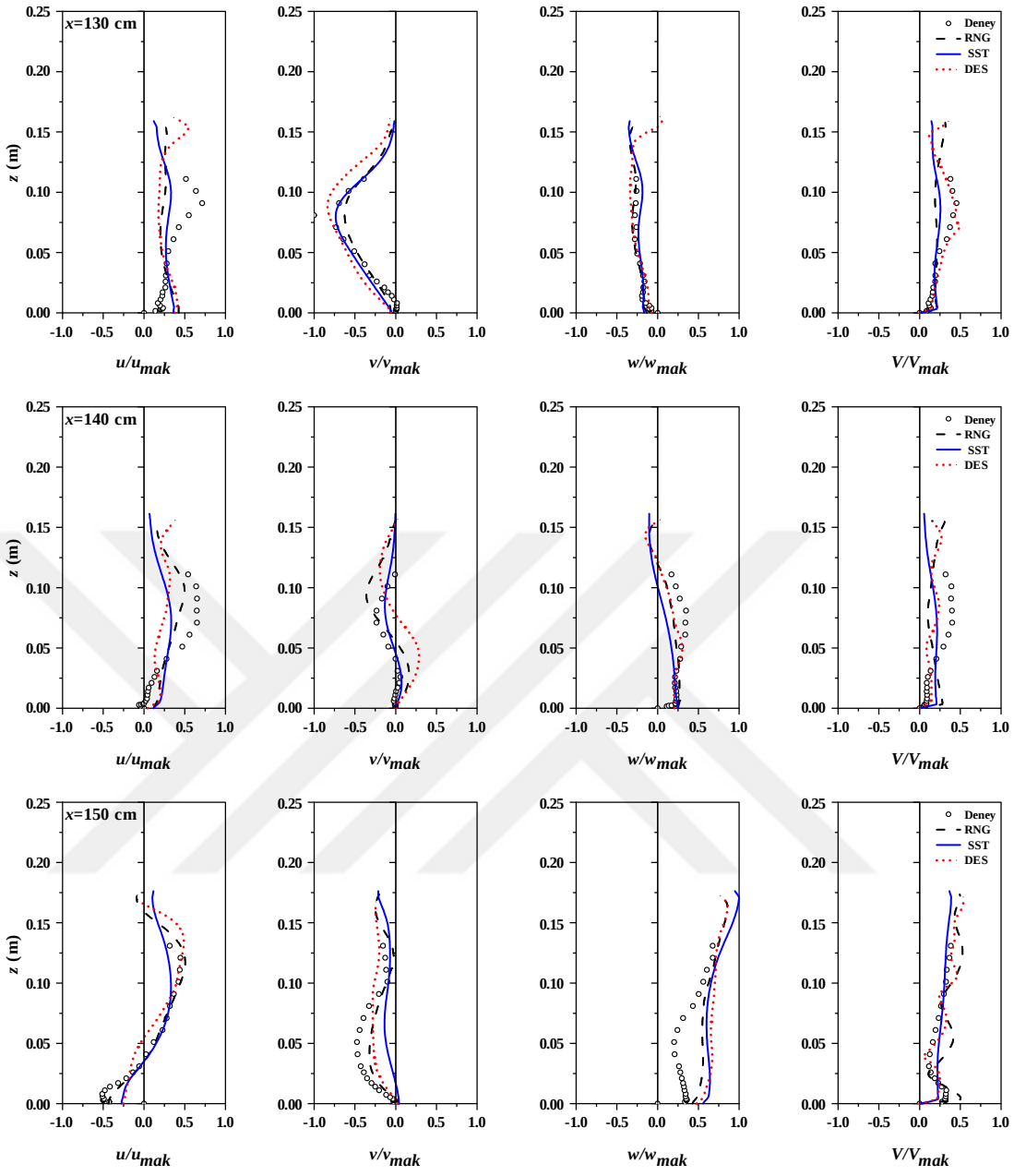
değerlendirilmesinden, balık geçidi ile etkileşim halinde olan akımın yapısının karmaşık olması ve değişiklik göstermesinden dolayı kullanılan türbülans modellerinin bazı kesitlerde deneysel profillerden farklılık göstermesi bazı kesitlerde ise uyumlu olması beklenebilmektedir. Bunun yanında, elde edilen profillerin balık geçitlerinin sayısal modellemesinde kullanılan türbülans modellerinin tercih edilmesi durumunda akım alanı ve profili hakkında genel değerlendirmeye olanak sağlayacağı belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Durum 1 orta eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri



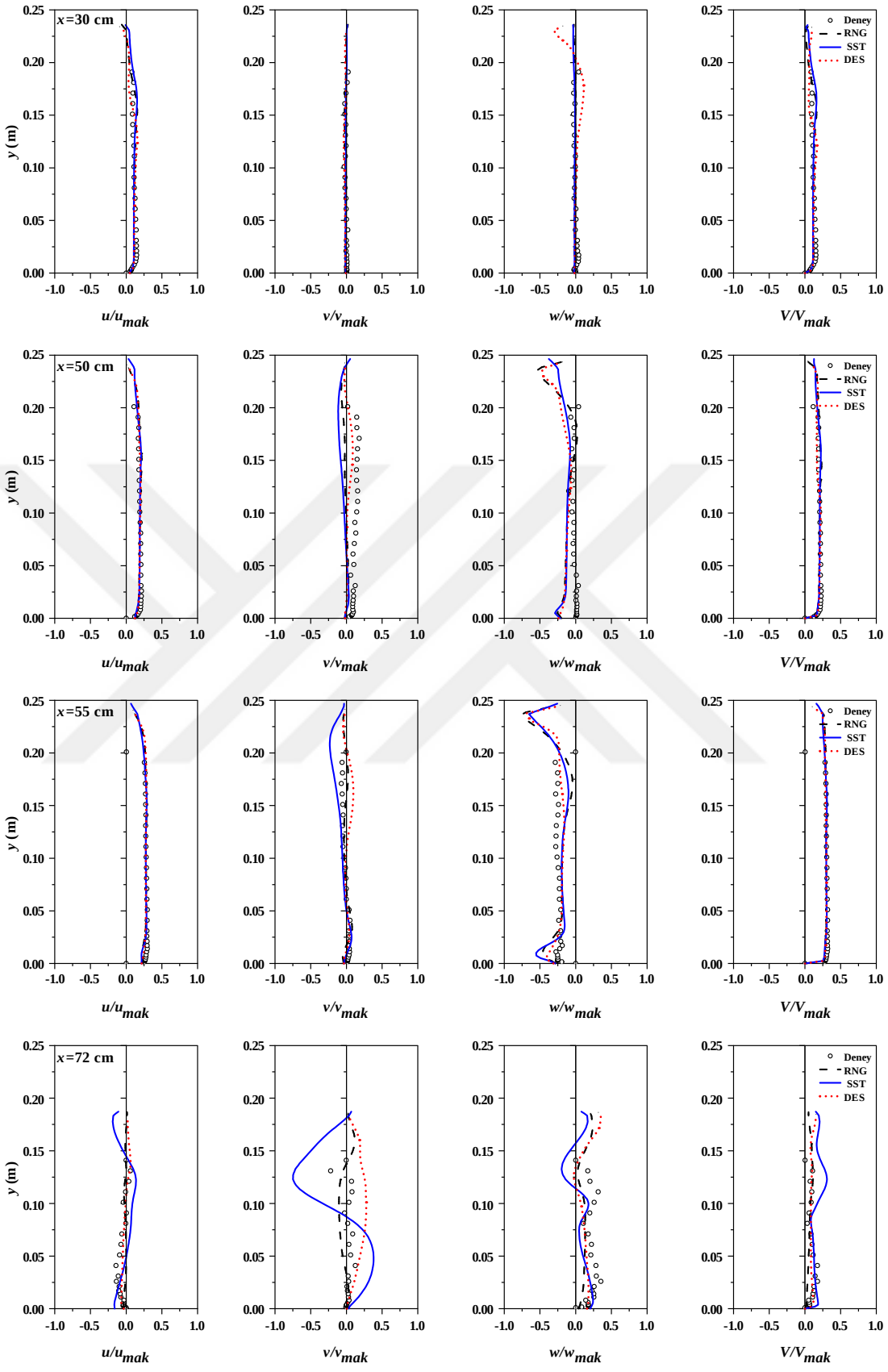
Şekil 4. 8. (Devam)



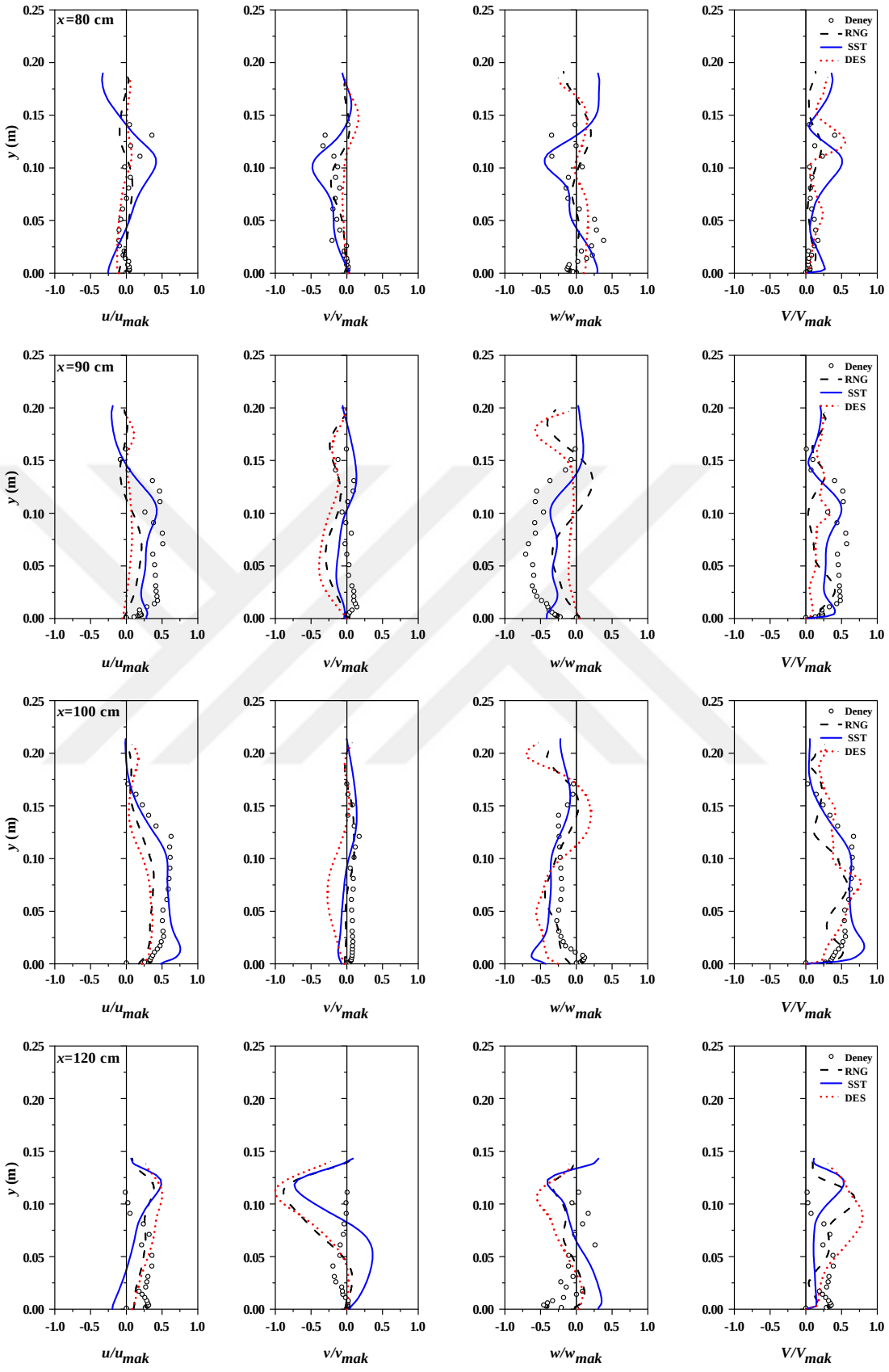
Şekil 4. 8. (Devam)

Durum 1'de kenar eksende farklı kanal kesitlerinde deneysel ve RNG, SST ve DES modelleri kullanılarak elde edilen üç hız bileşeni ve bileşke hızlara ait profillerin karşılaştırılması Şekil 4.9.'da verilmiştir. *x*=30 cm kesitinde elde edilen farklı hız profillerinin incelenmesinden deneysel ve sayısal hız profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu kesitte *x* doğrultusundaki hız bileşeninin diğer doğrultudaki hız bileşenlerine kıyasla oldukça büyük olduğu ve DES modeli kullanılarak elde edilen bileşke hıza ait profilin deneysel olarak elde edilen hız

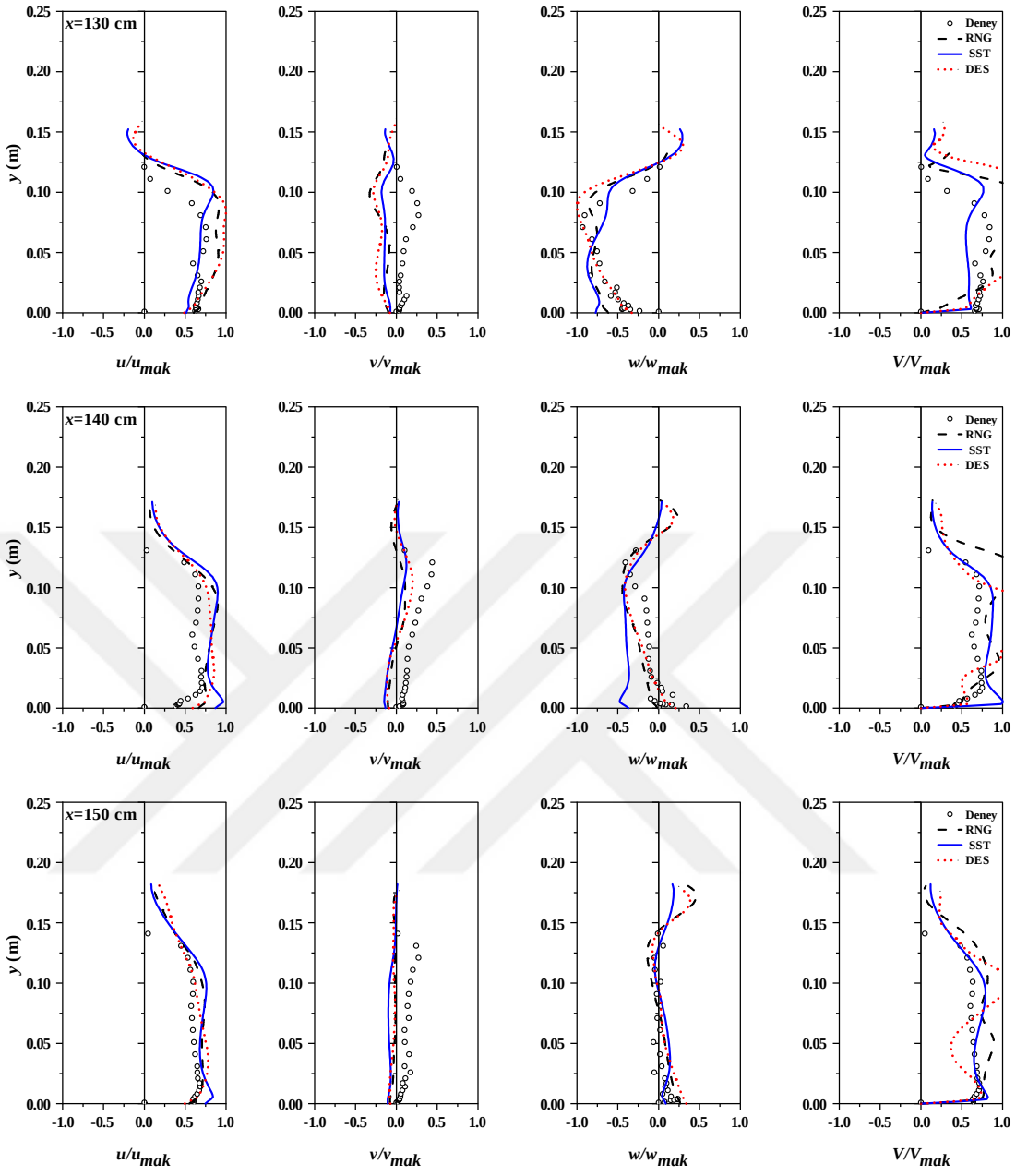
profiline diğer modellere kıyasla daha çok yakınsadığı belirlenmiştir. *x*=50 cm kesitinde elde edilen hız profillerinden *x* doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait profillerin deneysel olarak elde edilen hız profilleriyle oldukça uyumlu olduğu söylenebilir. Ancak, *y* ve *z* doğrultusundaki hız bileşenine ait hız profillerinde aynı başarıdan bahsetmek mümkün değildir. Bu hız profillerinde deneysel profillerde kanal tabanına yakın bölgede negatif hız değerlerinin oluşmadığı fakat sayısal hız profillerinde ise negatif hız değerlerinin tahmin edildiği görülmektedir. *x*=55 cm kesitinde deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen tüm hız bileşenlerine ve bileşke hıza ait profillerin birbirine oldukça benzer olduğu belirlenmiştir. Bu kesitte DES modeli kullanılarak elde edilen sayısal hız profilleri kullanılan diğer türbülans modelleri sonuçlarına göre deneysel profillerle nispeten daha iyi uyum sağlamıştır. *x*=72 cm kesitinde elde edilen *x* ve *z* doğrultusundaki hız bileşenleri ve bileşke hız ait profillerin belirlenmesinde DES modelinin diğer modellerle elde edilen hız profillerine kıyasla deneysel verilere daha benzer olduğu görülmektedir. *x*=80 cm kesitinde farklı türbülans modelleriyle sayısal olarak elde edilen hız profillerinin deneysel hız profilleriyle genel olarak uyum sağlamamaktadır. Ancak, *y* doğrultusundaki hız bileşenine ait hız profilinde RNG modeli kullanılarak elde edilen sayısal hız profilinin deneysel hız profiline oldukça fazla benzediği söylenebilir. *x*=90 cm kesitinde farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal hız profilleri arasında SST türbülans modeli kullanılarak elde edilen profillerinin dağılımının deneysel profillerin dağılımına benzer olmuştur. Ancak hız değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. *x*=100 cm kesitinde x doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait profillerde akım derinliğinin *z*=0.075 m'den büyük olduğu derinliklerde SST türbülans modelinin deneysel profillerle oldukça iyi uyum sağladığı görülmektedir. *x*=120 cm kesitinde deneysel profillerle sayısal modeller arasında belirgin bir uyumdan söz etmek mümkün değildir. *x*=130, 140 ve 150 cm kesitlerinde sayısal ve deneysel olarak elde edilen *x* doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait hız profillerin karşılaştırılmasından SST türbülans modelinin diğer türbülans modelleriyle elde edilen hız profillerine kıyasla deneysel verilere daha fazla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Durum 1 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri



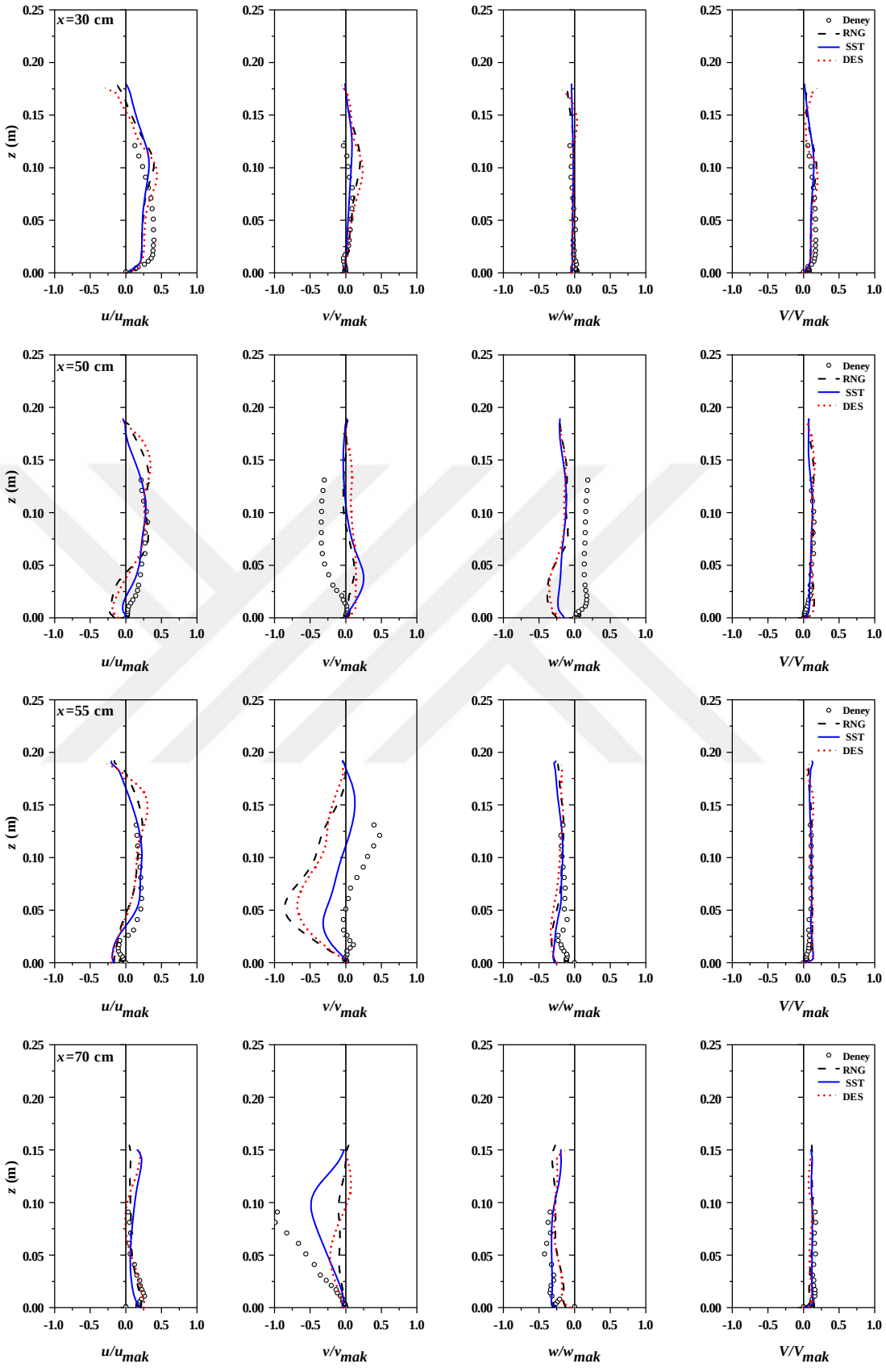
Şekil 4. 9. (Devam)



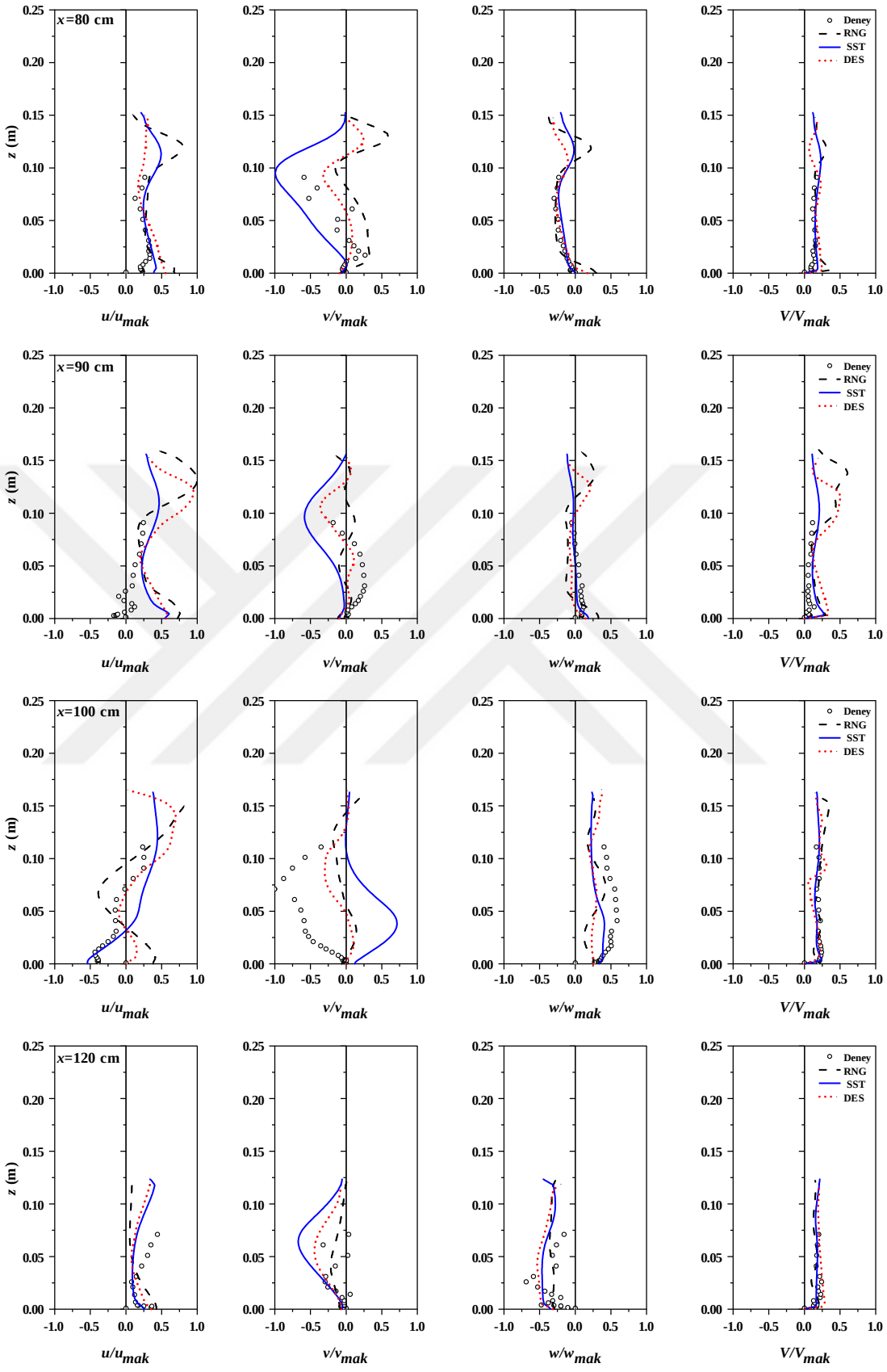
Şekil 4. 9. (Devam)

Durum 2 için kanalın orta ekseninde farklı kesitlerinde deneysel ve RNG, SST ve DES modelleri kullanılarak sayısal olarak elde edilen hız profillerinin karşılaştırılması Şekil 4.10.'da verilmiştir. *x*=30 cm kesitinde elde edilen profillerinden deneysel ve sayısal hız profillerinin genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu kesitte akım da etkin hız bileşenin *x* doğrultusundaki hız bileşeninin olduğu değerlerden anlaşılmaktadır. *x*=50 cm kesitinde elde edilen hız profillerinden *x* doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait profillerin genel olarak

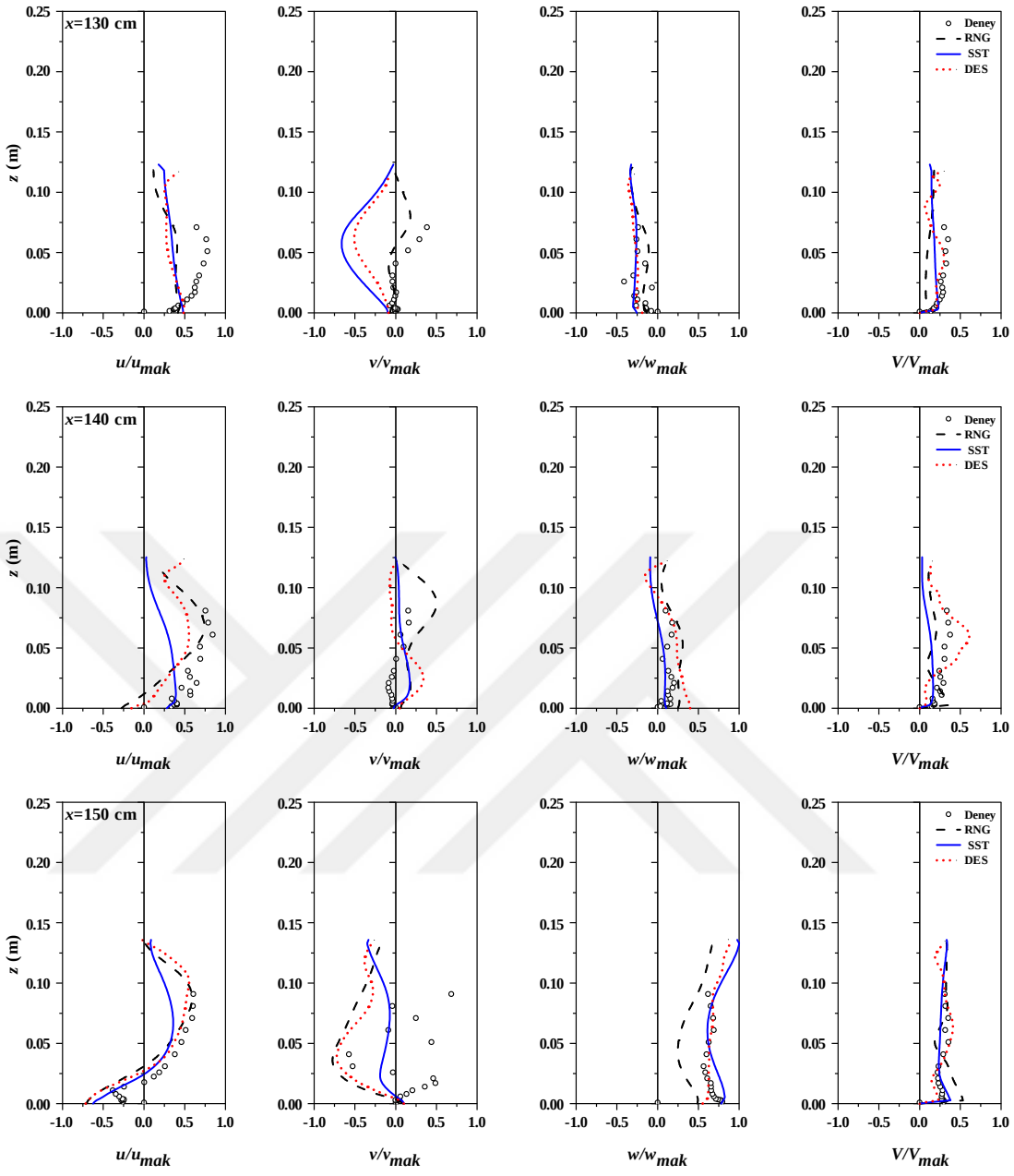
deneysel profillerle uyum içinde olduğu, özellikle SST türbülans modelinin deneysel profile olukça yakın tahminde bulunduğu görülmektedir. *y* ve *z* doğrultusundaki hız bileşenlerinde ise türbülans modellerinin başarısı oldukça düşük olmuştur. *x*=55 cm kesitinde elde edilen hız profillerinden y doğrultusundaki hız profili hariç sayısal modelleme sonucunda elde edilen profillerin deneysel profillerle benzer olduğu söylenebilir. Ayrıca, SST türbülans modelinin RNG ve DES modelleri kullanılarak elde edilen sayısal hız profillerinden deneysel profillere oldukça uyumlu olduğu şekillerden anlaşılmaktadır. *x*= 70 ve 80 cm kesitlerinde, *y* doğrultusundaki hız bileşeni hariç diğer hız profillerinin incelenmesinden sayısal hız profillerinin deneysel profillere benzediği söylenebilir. *x*=90, 100, 120 ve 130 cm kesitlerinde elde edilen hız profillerinden, bileşke hız profillerine ait sayısal ve deneysel değerlerin diğer hız bileşenlerine ait değerlerden daha uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. *x*=140 cm kesitinde z doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait profillerde SST türbülans modeliyle elde edilen sayısal hız profillerinin deneysel profillere oldukça uyumlu olmuştur. *x*=150 cm kesitinde ise *y* doğrultusu hariç diğer hız profillerinde sayısal modelleme sonucunda elde edilen profillerin deneysel profillerle oldukça uyumlu olduğu, ve SST türbülans modeli kullanılarak elde edilen sayısal hız profilinin diğer türbülans modelleriyle elde edilen hız profillerinden deneysel profile daha yakın olduğu ifade edilebilir. Hız profillerinin genel olarak değerlendirilmesinden SST türbülans modeli kullanılarak elde edilen hız profillerinin genel olarak RNG ve DES modeli kullanılarak elde edilen sayısal hız profillerine kıyasla deneysel profillerle daha benzer olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Durum 2 orta eksen (17.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri



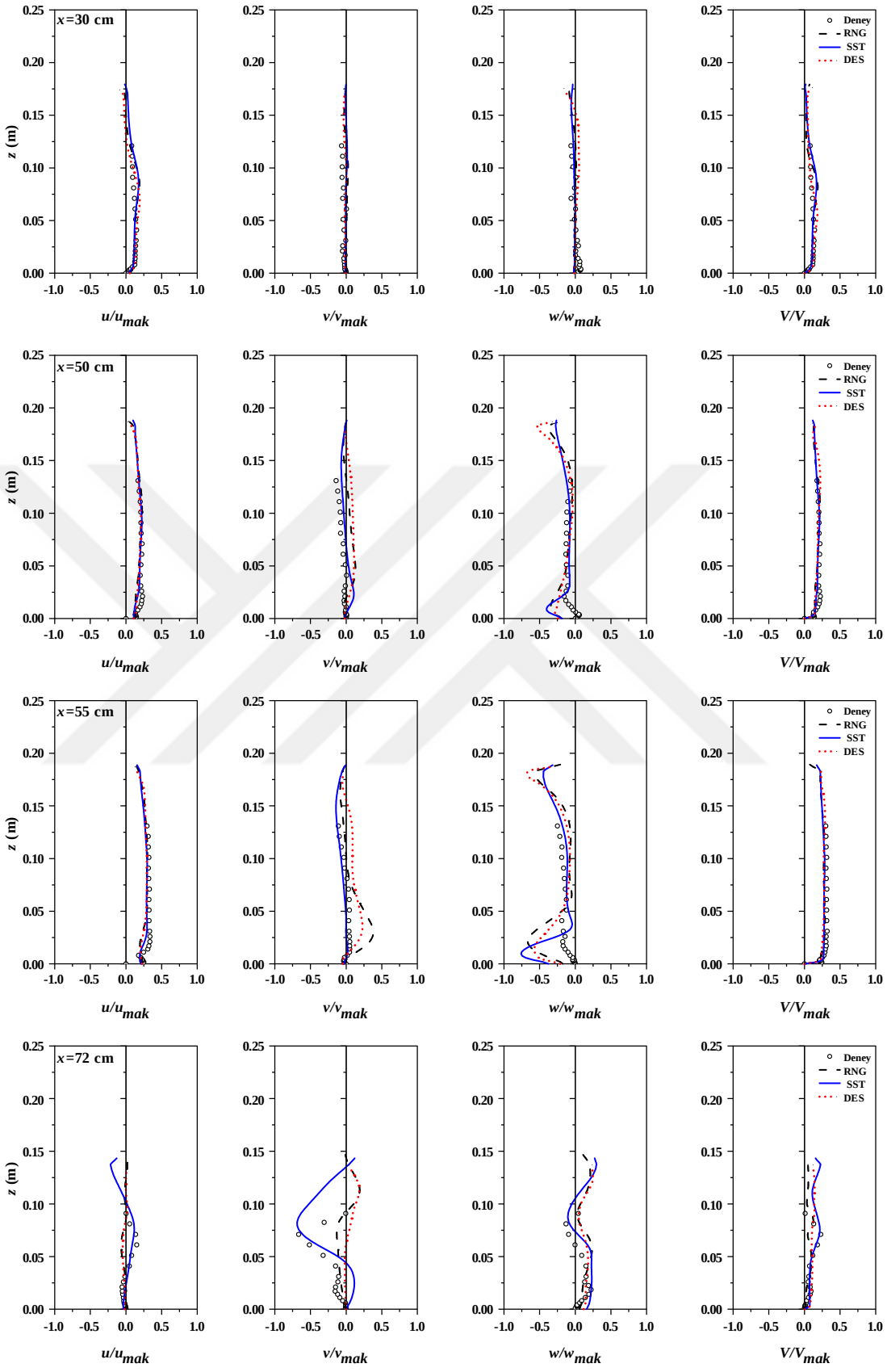
Şekil 4. 10. (Devam)



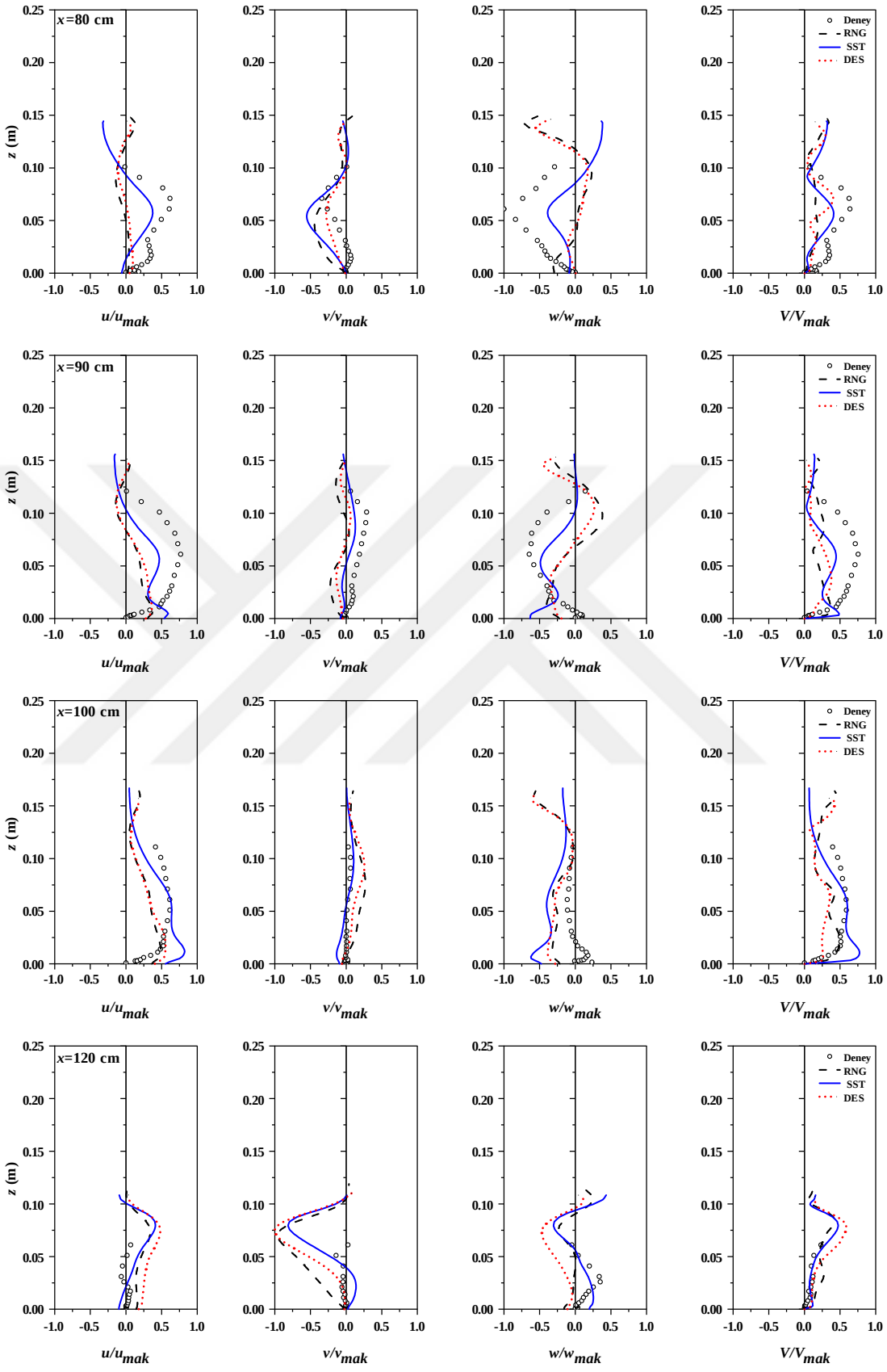
Şekil 4. 10. (Devam)

Şekil 4.11.'de, Durum 2 için kanal kenar ekseninde kanalın farklı kesitlerinde RNG, SST ve DES modelleri kullanılarak elde edilen sayısal hız profillerinin deneysel hız profilleriyle karşılaştırılması verilmiştir. *x*=30 cm kesitinde elde edilen sayısal ve deneysel hız profilleri birbirine oldukça benzerdir. Bu bölgede *x* doğrultusundaki hız bileşeninin diğer hız bileşenlerine kıyasla oldukça büyük olduğu şekillerden görülmektedir. *x*=50 cm kesitinde elde edilen deneysel ve sayısal hız profillerinin kanal tabanına yakın bölgede uyumsuz olduğu görülse de, akım derinliği boyunca

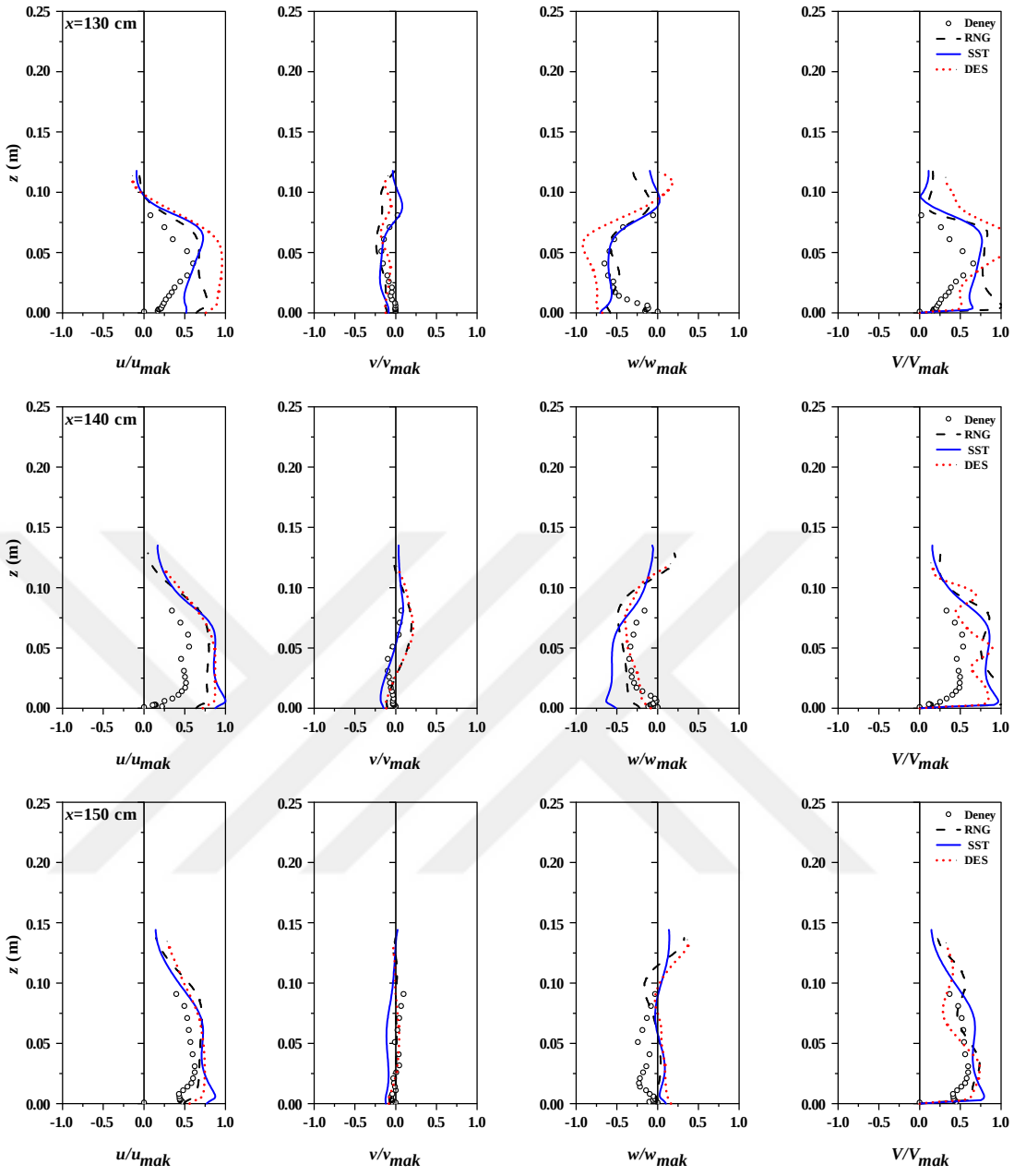
(*z*=0.025 m'den itibaren) birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. *x*=55 cm kesitinde *x* ve *y* doğrultusundaki hız bileşenleri ve bileşke hıza ait deneysel ve SST modeli kullanılarak sayısal olarak tahmin edilen profilleri birbirine benzerdir. Ayrıca, kanal giriş kesitinden itibaren bu kesite kadar *z* hızında artış meydana gelmektedir. *x*=72 cm kesitinde SST türbülans modeli kullanılarak elde edilen *x* ve *z* doğrultusundaki hız bileşenlerinin ve bileşke hıza ait hız profillerinin RNG ve DES modeline kıyasla deneysel profillerle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. *x*=80 ve 90 cm kesitlerinde deneysel ve sayısal modelleme sonucunda elde edilen hız profillerinin arasında bir uyumdan söz etmek mümkün değildir. *x*=100 cm kesitinde SST türbülans modeli kullanılarak elde edilen *x* doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait profillerin RNG ve DES modeline kıyasla nispeten deneysel hız profilleriyle daha benzer olmuştur. *x*=120 cm kesitinde elde edilen bileşke hıza ait hız profilinin belirlenmesinde SST türbülans modeli diğer türbülans modellerine göre daha başarılıdır. Diğer hız profillerinde aynı durumdan söz etmek mümkün değildir. *x*=130 ve 140 cm kesitlerinde *y* doğrultusundaki hız bileşeninin tahmin edilmesinde SST türbülans modeli RNG ve DES modellerine kıyasla daha başarılı olmuştur. *x*=140 cm kesitinde *z* doğrultusundaki hız bileşenini DES modeli diğer modellere kıyasla deneysel profile daha yakın tahmin etmiştir. *x*=150 cm kesitinde SST modeli kullanılarak elde edilen sayısal hız profillerinin *x* doğrultusundaki hız bileşeni ve bileşke hıza ait hız profillerini deneysel profile dağılım olarak çok benzer tahminde bulunmuştur. Bu eksende farklı kesitlerde deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak sayısal olarak elde edilen hız profillerinin karşılaştırılmasından, türbülans modellerinin karmaşık akım profillerini tahmin etmede bazı bölgelerde başarısız olsa da genel olarak akım hakkında bilgi edinme ve gerekli bilgileri tahmin etme yönünden kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, kullanılan modeller arasında SST türbülans modelinin RNG ve DES modellerine kıyasla balık geçidi ile etkileşim halinde bulunan akımların hız alanını tahmin etmede daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.11. Durum 2 kenar eksen (3.5 cm) için deneysel ve sayısal hız profilleri



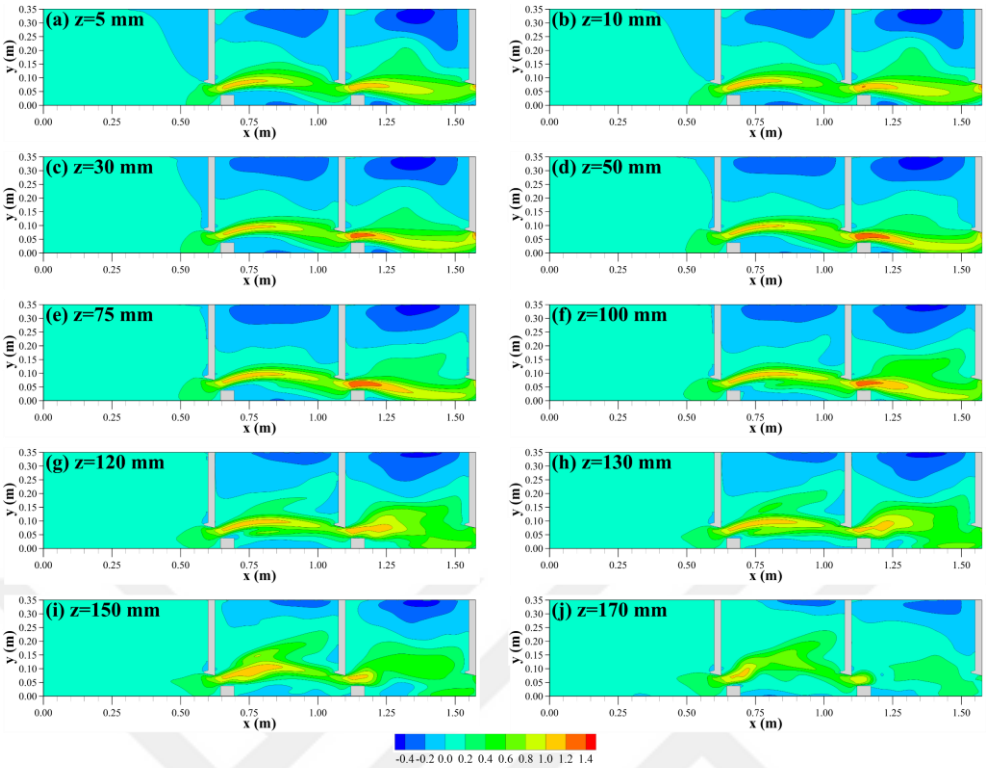
Şekil 4. 11. (Devam)



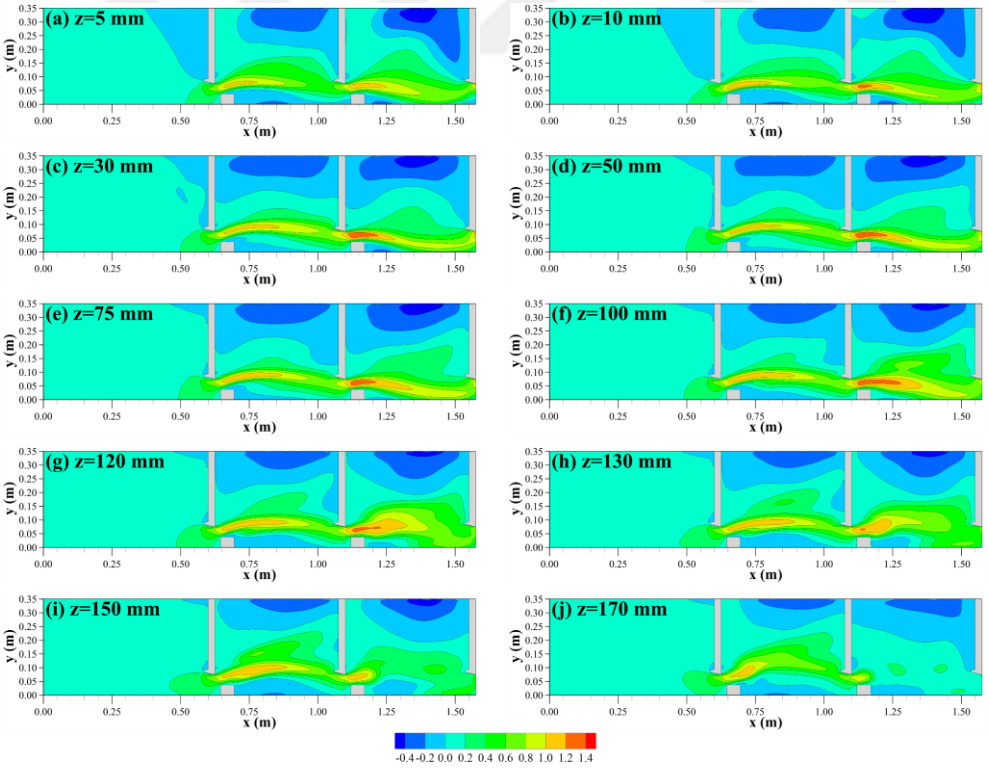
Şekil 4. 11. (Devam)

4.4. *u* Hızının Üç Boyutlu Dağılımı

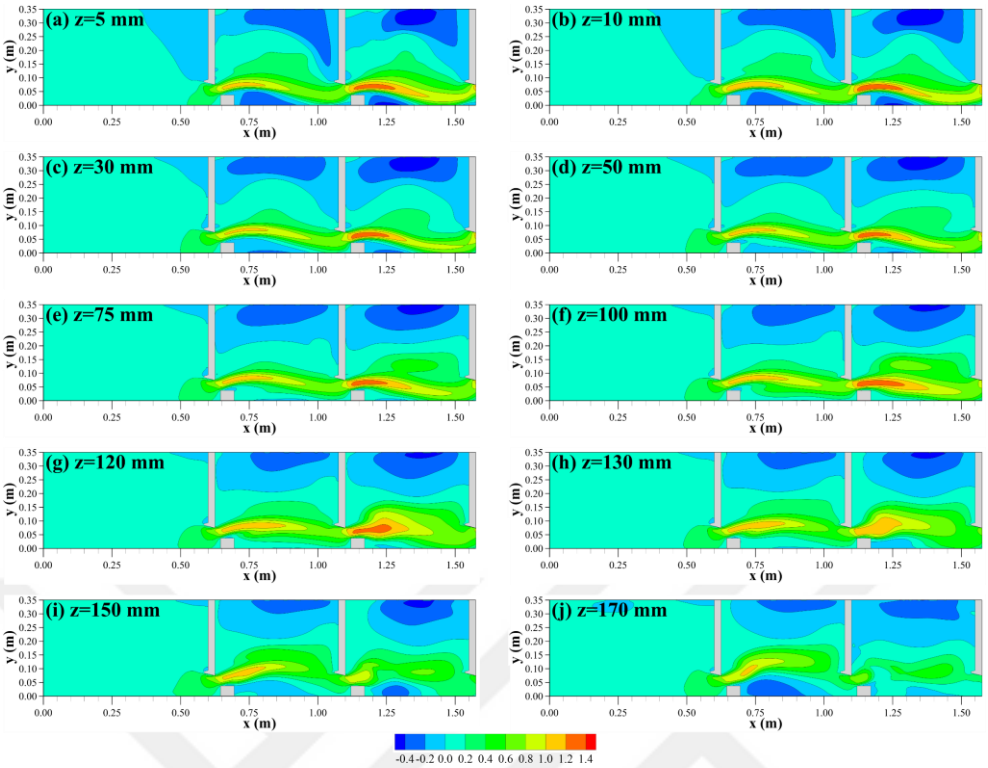
Balık geçidinin sayısal modellemesi sonucunda akıma ait birçok özelliğe erişmek mümkün olmaktadır. Akımın en önemli özelliklerinden biri olan hız parametrelerinden sayısal olarak elde edilmiş ortalama u hızının üç boyutlu dağılımları DES, RNG ve SST için (Durum 1) sırasıyla Şekil 4.12., 4.13. ve 4.14.'te, Durum 2 için ise sırasıyla Şekil 4.15., 4.16. ve 4.17.'de verilmiştir. Bu şekillerden iki durum için de üç türbülans modelinin de benzer yapıda hız dağılımları verdiği görülmektedir. Durum 1'de türbülans modelleri balık geçidinin yarık kısmında *z*=30-100 mm aralığında maksimum hıza eriştiği görülürken, Durum 2'de ise, DES modelinde *z*=40 mm, RNG modelinde *z*=20 mm, SST modelinde *z*=10mm'de en yüksek değere ulaşmaktadır. Ayrıca, mavi rengin negatif hızı temsil ettiği dikkate alındığında, Durum 1'de, en büyük ayrılma bölgesi, SST modeli ile tahmin edilmekte, ayrıca kanal derinliğinin yaklaşık yarısında, balık geçitlerindeki saptırıcılar sonrasında SST modelinde ayrılma durumu gözlenmezken, diğer modellerde kanal derinliği boyunca neredeyse tüm kesitlerde bir ayrılma gözlenmektedir. Durum 2'de ise ilk geçit havuzundan önceki memba kısmında meydana gelen negatif hız dağılım bölgesinin, ilk geçitteki havuzda büyüdüğü, ikinci geçit havuzunda ise daha fazla olmaktadır. Negatif hız dağılımında ise yüzeye doğru çıkıldıkça, bu bölgenin azalma gösterdiği görülmektedir. Balık geçidi sonrasına yerleştirilen saptırıcı sonrasında da bir negatif hız dağılım bölgesi meydana gelmektedir. Ancak türbülans modellerine göre, bu bölgenin büyüklüğünde bir farklılık meydana gelmiştir. Örneğin, DES ve RNG modellerinde *z*=60 mm ve *z*=80 mm'de saptırıcı sonrası negatif hız dağılımı yani ayrılma bölgesi gözlenirken, SST modelinde ilgili kesitlerde bir ayrılma gözlenmemiştir. Saptırıcılar sonrasında veya havuzlarda meydana gelecek ayrılma bölgesinin özellikle balıkların mansap bölgesinden memba bölgesine geçişinde yardımcı bir etken olarak davranacağı değerlendirildiğinde, balık hidrodinamiği ile değerlendirilmesinin uygun olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.



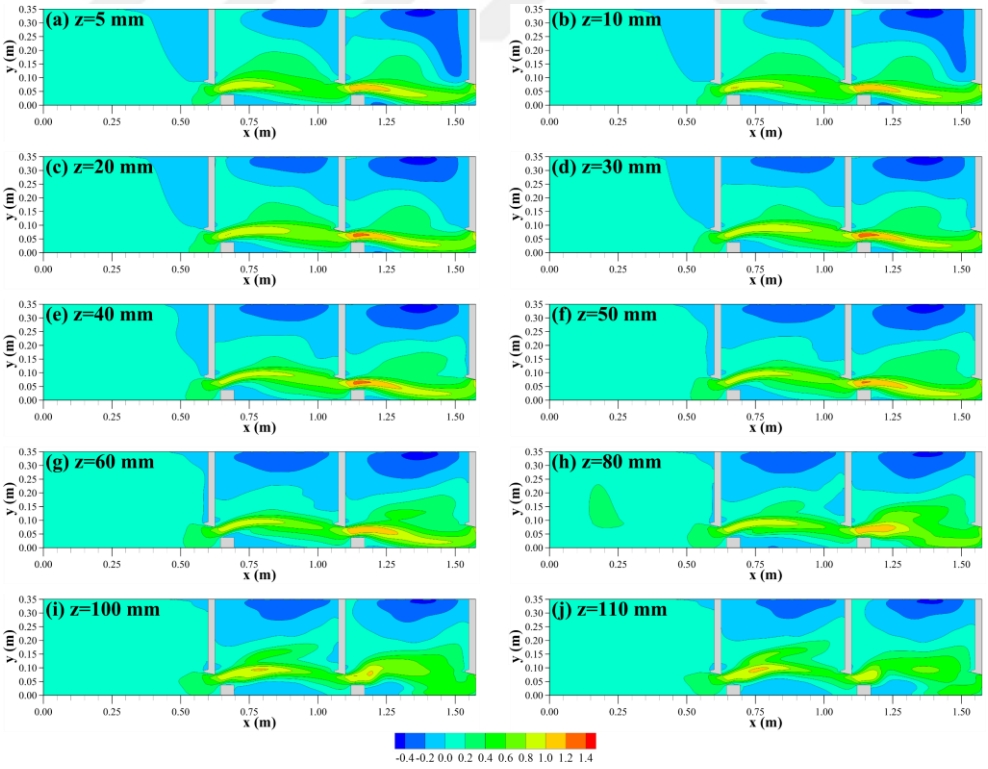
Şekil 4.12. Durum 1 için DES ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi



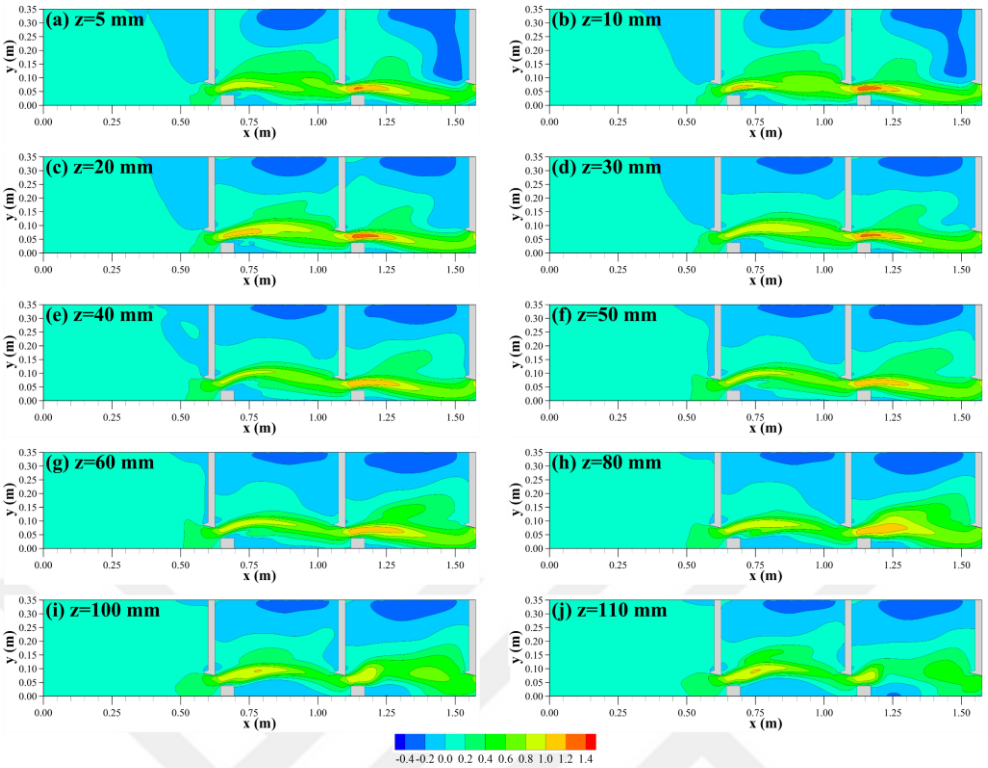
Şekil 4.13. Durum 1 için RNG ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi



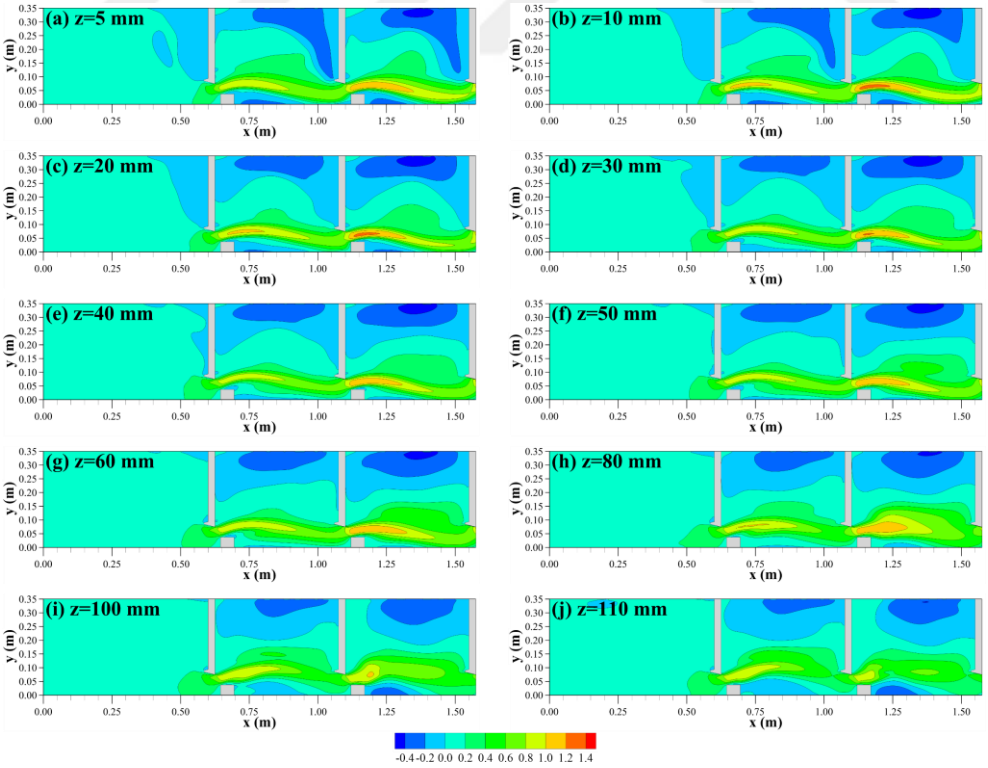
Şekil 4.14. Durum 1 için SST ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi



Şekil 4.15. Durum 2 için DES ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi



Şekil 4.16. Durum 2 için RNG ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi



Şekil 4.17. Durum 2 için SST ile hesaplanan u_{ort} hızının topolojisinin derinlikle değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, laboratuvar ortamında içerisine dikey yarıklı balık geçidi yerleştirilmiş açık kanal akımına ait akım hızları ve su yüzü profilleri iki debi için ölçülmüştür. Elde edilen su yüzü ve hız profilleri iki farklı akım koşulu için sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede türbülansın tanımlanması için SST, DES ve RNG modelleri kullanılmıştır. Akım su yüzü ve hız profillerini temsil etmede en başarılı türbülans modelinin SST olduğu belirlenmiştir. Ayrıca balık geçitlerinin yarık bölgesinde meydana gelen en yüksek hız değerlerinin kanal su derinliğine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve derinliğin artması ile yüksek hızlı bölgenin kanal tabanına olan mesafesinin arttığı görülmüştür. Balık geçitlerinde bulunan saptırıcılar sonrasında veya havuzlarda meydana gelecek ayrılma bölgesinin özellikle balıkların mansap bölgesinden memba bölgesine geçişinde yardımcı bir etken olarak davranacağı değerlendirilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, genellikle somon balıklarının mansaptan membaya geçişi için tasarlanan balık geçitlerinin, ülkemizde bulunan ve bu geçitleri kullanması muhtemel balıkların hidrodinamiğinin de dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmesi ve buna bağlı olarak tasarım kriterlerinin belirlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AKSOY, C. H. C., 2009. Türbülanslı Açık Kanal Akışlarında Türbülans Dağıtıcı Sistemler ve Kesit Optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 209s.

ANSYS. 2018. FLUENT Theory Guide. Pennsylvania, USA.

BERMÚDEZ, M., PUERTAS, J., CEA, L., PENA, L. ve BALAIRÓN, L., 2010. Influence of pool geometry on the biological efficiency of vertical slot fishways. Ecological Engineering, 36(10): 1355-1364.

BICE, C. M., ZAMPATTI, B. P. ve MALLEN-COOPER, M., 2017. Paired hydraulically distinct vertical-slot fishways provide complementary fish passage at an estuarine barrier. Ecological Engineering, 98: 246-256.

BOMBAČ, M., ČETINA, M. ve NOVAK, G., 2017. Study on flow characteristics in vertical slot fishways regarding slot layout optimization. Ecological Engineering, 107: 126-136.

BOMBAČ, M., NOVAK, G., MLAČNIK, J. ve ČETINA, M., 2015. Extensive field measurements of flow in vertical slot fishway as data for validation of numerical simulations. Ecological Engineering, 84: 476-484.

BOMBAČ, M., NOVAK, G., RODIČ, P. ve ČETINA, M., 2014. Numerical and physical model study of a vertical slot fishway. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 62(2): 150-159.

CEA, L., PENA, L., PUERTAS, J., VÁZQUEZ-CENDÓN, M. E. ve PEÑA, E., 2007. Application of Several Depth-Averaged Turbulence Models to Simulate Flow in Vertical Slot Fishways. Journal of Hydraulic Engineering, 133(2): 160-172.

CHORDA, J., MAUBOURGUET, M. M., ROUX, H., LARINIER, M., TARRADE, L. ve DAVID, L., 2010. Two-dimensional free surface flow numerical model for vertical slot fishways. Journal of Hydraulic Research, 48(2): 141-151.

CLAY, C. H. ve ENG, P., 2017. Design of Fishways and Other Fish Facilities, s.

ÇALIŞTAY SONUÇ RAPORU. 2014. HES'ler ve Balık Geçitleri Çalıştayı. Süleyman Demirel Üniversitesi: Isparta.

DSİ. 2019. Türkiye'de işletmedeki ve planlama aşamasındaki balık göç yapıları verileri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü: Ankara.

DSİ. 2009. Balık geçitleri – Tasarım, boyutlandırma ve izleme, DSİ, Ankara, Türkiye, 118s.

FAO, D., 2002. Fish passes: design, dimensions, and monitoring, FAO, Rome, Italy, 118s.

FUENTES-PÉREZ, J. F., SANZ-RONDA, F. J., MARTÍNEZ DE AZAGRA PAREDES, A. ve GARCÍA-VEGA, A., 2014. Modeling Water-Depth Distribution in Vertical-Slot Fishways under Uniform and Nonuniform Scenarios. Journal of Hydraulic Engineering, 140(10).

FUENTES-PÉREZ, J. F., SILVA, A. T., TUHTAN, J. A., GARCÍA-VEGA, A., CARBONELL-BAEZA, R., MUSALL, M. ve KRUUSMAA, M., 2018. 3D modelling of non-uniform and turbulent flow in vertical slot fishways. Environmental Modelling & Software, 99: 156-169.

FUENTES-PÉREZ, J. F., TUHTAN, J. A., ECKERT, M., ROMÃO, F., FERREIRA, M. T., KRUUSMAA, M. ve BRANCO, P., 2019. Hydraulics of Vertical-Slot Fishways: Nonuniform Profiles. Journal of Hydraulic Engineering, 145(2).

GÜMÜŞ, V., 2014. Dolusavak Akımının Sayısal Modellemesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 129s.

HIRT, C. W. ve NICHOLS, B. D., 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. Journal of Computational Physics, 39(1): 201-225.

KADIOĞLU, C., 2010. Balık Geçitlerinin Sayısal Analiz İle Modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 62s.

LAUNDER, B. E., 1972. Lectures in mathematical models of turbulence [by] B. E. Launder and D. B. Spalding, Academic Press, London, New York, s.

LIU, M., RAJARATNAM, N. ve ZHU, D. Z., 2006. Mean Flow and Turbulence Structure in Vertical Slot Fishways. Journal of Hydraulic Engineering, 132(8): 765-777.

MENTER, F. R., 1994. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. AIAA Journal, 32(8): 1598-1605.

PUERTAS, J., CEA, L., BERMÚDEZ, M., PENA, L., RODRÍGUEZ, Á., RABUÑAL, J. R., BALAIRÓN, L., LARA, Á. ve ARAMBURU, E., 2012. Computer application for the analysis and design of vertical slot fishways in accordance with the requirements of the target species. Ecological Engineering, 48: 51-60.

RAJARATNAM, N., VAN DER VINNE, G. ve KATOPODIS, C., 1986. Hydraulics of Vertical Slot Fishways. Journal of Hydraulic Engineering, 112(10): 909-927.

RODRÍGUEZ, T. T., AGUDO, J. P., MOSQUERA, L. P. ve GONZÁLEZ, E. P., 2006. Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capabilities. Ecological Engineering, 27(1): 37-48.

SANAGIOTTO, D. G., ROSSI, J. B., LAUFFER, L. L. ve BRAVO, J. M., 2019. Three-dimensional numerical simulation of flow in vertical slot fishways: validation of the model and characterization of the flow. Rbrh, 24.

WILCOX, D. C., 1998. Turbulence modeling for CFD, DCW industries La Canada, CA, USA, s.

WU, S., RAJARATNAM, N. ve KATOPODIS, C., 1999. Structure of Flow in Vertical Slot Fishway. Journal of Hydraulic Engineering, 125(4): 351-360.

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.