
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

BİTKİ ÖRTÜSÜ İÇEREN AÇIK KANAL AKIMININ ANSYS CFX PROGRAMI İLE SAYISAL MODELLEMESİ

Selcan KOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2016

Selcan KOÇ tarafından hazırlanan "BİTKİ ÖRTÜSÜ İÇEREN AÇIK KANAL AKIMININ ANSYS CFX PROGRAMI İLE SAYISAL MODELLEMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği (MF) Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan : Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA
İnşaat Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye : Doç.Dr. Bahadır ALYAVUZ
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 15/01/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Selcan KOÇ

28.01.2016

BİTKİ ÖRTÜSÜ İÇEREN AÇIK KANAL AKIMININ ANSYS CFX PROGRAMI İLE SAYISAL MODELLEMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Selcan KOÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2016

ÖZET

Doğal akarsuların ana yatağında ve/veya taşkın yataklarında bulunan bitki örtüsü, akım yapısını ve dolayısıyla hidrolik direnci önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle bu tür fiziksel koşulların özel olarak incelenmesi gerekir. Literatürde bu konuda yapılmış birçok deneysel araştırma çalışmasının yanı sıra bazı özel durumlar için sınırlı sayıda analitik çözüm öneren çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar incelendiğinde akarsu içerisindeki akım yapısının daha genel koşulları dikkate alarak belirlenebilmesi için deneysel çalışmaları destekleyici sayısal modellere ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, bitki örtüsü içeren dikdörtgen kesitli bir kanaldaki akım davranışları ANSYS CFX programı ile incelenmiş olup elde edilen analiz sonuçlarının Dorcheh'in (2007) doktora tezindeki deney sonuçları ile karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışma, akım başlangıcında oluşabilecek düzensizliklerin analiz sonuçlarını nasıl etkilediğini ve deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş olan hız değerleri ile sayısal analiz sonucunda elde edilen hızların ne oranda farklılık göstereceğini belirlemek için yapılmıştır. Sayısal çözümde Dorcheh'in (2007) deney setinde kullandığı geometri, sınır şartları ve akım parametre verilerinin orijinal hali kullanılmış fakat elde edilen sonuçlardan sonra sayısal çözümde kullanılan geometride bazı düzenlemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla geniş dikdörtgen bir kanalda az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve çok yoğunluklu durumlar için akım içerisinde batmış ve batmamış bitki durumlarına göre oluşturulan deney setlerinin verileri kullanılarak analiz sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar, oldukça karmaşık engel yapısına sahip akarsu kesitlerinde hidrodinamik özelliklerin bilgisayar programı kullanılarak belirlenebileceğini göstermiştir. Bu yazılımın genel durumlar için iyi sonuçlar verdiği ancak, özel durumlar için daha ayrıntılı incelemelerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu	:	911.1.125
Anahtar Kelimeler	:	Bitki örtüsü, modelleme, akım, sonlu hacimler, ANSYS CFX, çözüm ağı, türbülans modeli
Sayfa Adedi	:	91
Danışman	:	Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT

NUMERICAL MODELLING OF VEGETATED OPEN CHANNEL FLOW USING ANSYS CFX

(M. Sc. Thesis)

Selcan KOÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2016

ABSTRACT

The vegetation which is a part of natural rivers affects substantially flow structures and indirectly hydraulic resistance. Thus it must be considered such as the specific physical conditions. In the literature, there are many experimental research studies on the subject as well as analysis suggesting analytical solutions for some special cases. Physical model is usually expensive and concentrates on a special case. Thus numerical models may help researchers to investigate for more general flow conditions. The scope of this thesis is to examine compatibility of widely used software ANSYS CFX for the flow condition in a vegetated rectangular channel flume. Numerical model results were compared with the experimental data from the Dorcheh's (2007) Ph.D. thesis to achieve this goal. The numerical model used in ANSYS CFX was performed to determine the current and the velocities under boundary effects and irregularities in the flume such as rigid wood rods. Geometry and other features used in the numerical model solution were the same in the experimental set-up, boundary conditions and of the current parameters. However numerical results indicated that some arrangement needed in terms of the geometry used in the numerical solution since entrance length of the flume was not enough for the water surface stability. So the entrance and end part of the flume in numerical model were elongated to achieve water surface stability. Velocity measurements were taken at two cross-sections compared with the numerical results for low, medium and high density vegetated area and for two different conditions such as submerged and emerged cases in a wide rectangular channel. Comparative results showed that hydrodynamic properties can be determined by using computer programs at stream sections where quite complex obstacles exist. It was also concluded that the software used in the thesis can be applied for the general conditions. But for the complex geometry conditions such as high density vegetation need to make comprehensive researches.

Science Code	:	911.1.125
Key Words	:	Vegetation, modelling, flow, finite volume, ANSYS CFX, meshing, turbulent model
Page Number	:	91
Supervisor	:	Assist. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım tez danışmanım Yard. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT'e ve en az tez danışmanım kadar çalışmalarımda bana destek olan ve değerli zamanını ayıran Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ'a, tezde kullanmış olduğum yazılım programını öğrenme aşamasında bana oldukça yardımcı olan Warwick Üniversitesi'nden Araştırma Görevlisi Ahmed AL MAKKY'e, yüksek lisans eğitimi süresince vermiş oldukları dersler ile eğitimime ışık tutan ve bana gönülden destek olduklarına inandığım Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarına, desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen iş arkadaşlarıma ayrıca bugüne değin çeşitli zorluklarla dolu yollardan geçerek benim ve kardeşlerimin bugünlere yetişmesini sağlayan, sevgilerini hep üzerimde hissettiğim ve her ne koşulda olursa olsun her zaman yanımda olan annem Sabah SOVUKLUK'a, babam Semir SOVUKLUK'a, kardeşlerimden ailemizin güzel hemşiresi Seda AŞKAROĞLU'na, içindeki insan sevgisinin yanı sıra hayvan sevgisiyle dolu çok yakında veteriner hekim olarak aramızda göreceğimiz Sinem SOVUKLUK'a, teknoloji aşkıyla yanıp tutuşan ailemizin mucidi Makine Mühendisliği'nde öğrenim gören Sait SOVUKLUK'a ve bana olan desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili eşim Jeofizik Mühendisi Ahmet KOÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……... iv

ABSTRACT…… v

TEŞEKKÜR…… vi

İÇİNDEKİLER…… vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ……..... ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ…….. x

RESİMLERİN LİSTESİ……... xii

SİMGELER VE KISALTMALAR…….. xiii

1.GİRİŞ……. 1

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR…… 5

3. AÇIK KANAL AKIMI VE MODELDE KULLANILAN PROGRAM.. 11

3.1. Açık Kanal Akımlarının Sınıflandırılması ve Hız Profili…… 11

3.2. Akım Direnci……... 13

3.3. Debi ve Hız Denklemleri……. 14

3.3.1. Darcy-Weisbach eşitliği……. 14

3.3.2. Manning-Strickler eşitliği……... 15

3.3.3. Chezy eşitliği…….. 16

3.4. Sürükleme Katsayısı…… 17

3.5. Temel Diferansiyel Denklemler…….. 17

3.5.1. Kütlenin korunumu ve süreklilik denklemi……... 18

3.5.2. Momentumun korunumu denklemi……..... 19

3.6. Mühendislik Problemlerinin Çözümünde Yazılımların Kullanımı……..... 21

3.7. Çalışmada Kullanılan Yazılım Programı ve Analiz Yöntemi……. 22

3.7.1. ANSYS yazılım programı…….. 22

3.7.2. ANSYS CFX yazılımı…… 22

Sayfa

3.7.3. ANSYS CFX yazılımının matematiksel altyapısı…… 24

4. DENEYSEL VERİLER…….. 25

4.1. Deneyde Kullanılan Kanal Geometrisi ve Özellikleri……. 25

4.2. Deney Setinin Özellikleri……. 26

4.2.1. Geniş dikdörtgen kanal ve özellikleri……. 26

4.3. Ölçüm Cihazı ve Kesitleri…… 27

5. SAYISAL MODEL…….. 33

5.1. Problem Geometrisi ve Çözüm Ağı Özellikleri…….. 35

5.2. Başlangıç ve Sınır Şartları…… 37

5.3. Analizin Başlatılması ve Sonuçların Görüntülenmesi……. 40

6. SONUÇLAR…… 43

6.1. Batmamış Bitki İçeren Akım Durumu…….. 44

6.1.1. Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu (senaryo: S1-S2-S3-S4)..... 44

6.1.2. Orta yoğunluklu (λ=0,002 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu (senaryo: S5-S6-S7-S8)……... 62

6.1.3. Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu (senaryo: S9-S10-S11-S12)…… 66

6.2. Batmış Bitki İçeren Akım Durumu…….. 72

6.2.1. Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu (senaryo: S13-S14-S15-S16)..... 72

6.2.2. Orta yoğunluklu (λ=0,002 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu (senaryo: S17-S18-S19-S20)……... 78

6.2.3. Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu (senaryo: S21-S22-S23-S24)…….. 81

7. TARTIŞMA ve ÖNERİLER……..... 83

KAYNAKLAR……... 87

ÖZGEÇMİŞ……. 91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Bitki yoğunluğuna bağlı çalışılan durumlar…… 27

Çizelge 6.1. Az yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu senaryoları……. 44

Çizelge 6.2. Orta yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu senaryoları…….. 62

Çizelge 6.3. Yüksek yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu senaryoları……. 66

Çizelge 6.4. Az yoğunluklu batmış bitkili akım durumu senaryoları……. 72

Çizelge 6.5. Orta yoğunluklu batmış bitkili akım durumu senaryoları……... 78

Çizelge 6.6. Yüksek yoğunluklu batmış bitkili akım durumu senaryoları…….. 81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. ANSYS CFX çalışma yapısı……... 23

Şekil 4.1. Kanal geometrisinin şematik gösterimi……... 26

Şekil 4.2. Az yoğunluklu batmamış ve batmış bitkili durumların ölçüm noktaları……. 28

Şekil 4.3. Orta yoğunluklu batmamış bitkili durumların ölçüm noktaları……... 29

Şekil 4.4. Orta yoğunluklu batmış bitkili durumların ölçüm noktaları…… 30

Şekil 4.5. Yüksek yoğunluklu batmamış ve batmış bitki durumlarının ölçüm noktaları……. 31

Şekil 5.1. Ağ elemanlarının doluluk oranı……... 34

Şekil 6.1. Kısa girişli kanal geometrisi…… 46

Şekil 6.2. Kısa girişli kanalın çözüm ağı……. 46

Şekil 6.3. Kısa girişli kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi…… 48

Şekil 6.4. Kısa girişli kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=9 m)……. 49

Şekil 6.5. Kısa girişli kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi……... 51

Şekil 6.6. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanal geometrisi ve enine kesiti…… 52

Şekil 6.7. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanalın çözüm ağı…….. 53

Şekil 6.8. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanalın su yüzeyi profili (mesh-1)……. 55

Şekil 6.9. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanalın su yüzeyi profili (mesh-2)……. 56

Şekil 6.10. Uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi (mesh-1)……. 57

Şekil 6.11. Uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi (mesh-2)……. 58

Şekil 6.12. Uzatılmış kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x = 9 m)……... 59

Şekil 6.13. Uzatılmış kanalda boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi……... 61

Şekil 6.14. 20 çubuk ile oluşturulan model geometrisi ve çubuk dizilimi…….. 64

Şekil 6.15. 20 çubuklu kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=5,05 m)….. 64

Şekil 6.16. 20 çubuklu kanalda boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi……. 65

Şekil 6.17. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal geometrisi ve enine kesiti…… 68

Şekil 6.18. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi……. 69

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.19. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=9,05 m)……. 70

Şekil 6.20. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi…… 71

Şekil 6.21. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal geometrisi ve enine kesit…….. 73

Şekil 6.22. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal çözüm ağı……. 74

Şekil 6.23. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi…… 75

Şekil 6.24. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=9 m)…….. 76

Şekil 6.25. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi…… 77

Şekil 6.26. Batmış bitkili akım durumunda 20 çubuklu kanal geometrisinin çözüm ağı…… 79

Şekil 6.27. Batmış bitkili akım durumunda 20 çubuklu kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=5,05 m)…….. 79

Şekil 6.28. Batmış bitkili akım durumunda 20 çubuklu kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi…… 80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 5.1. ANSYS yazılımının “Workbench” ara yüzü…… 35

Resim 5.2. ANSYS yazılımının “Design Modeler” bölümü……. 36

Resim 5.3. ANSYS yazılımının “Workbench” ara yüzündeki “Meshing” bölümü…… 37

Resim 5.4. ANSYS yazılımının “CFX-Pre” bölümü…….. 38

Resim 5.5. ANSYS yazılımının “Solver Manager” penceresi…… 41

Resim 5.6. ANSYS yazılımının “CFD-Post” bölümü…… 41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Islak alan
a_x	Akım doğrultusunda çubuklar arasındaki mesafe
a_y	Akım en kesiti yönünde çubuklar arasındaki mesafe
C	Chezy katsayısı
C_D	Sürükleme katsayısı
cm	Santimetre
D	Hidrolik yarıçap
ε	epsilon
f	Direnç katsayısı
F_D	Sürükleme kuvveti
Fr	Froude sayısı
ϕ	Çubuk çapı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Derinlik
h_f	Yük kaybı
I	Kanal taban eğimi
kg	Kilogram
k_{st}	Stricker pürüzlülük katsayısı
l	Litre
L	Boru uzunluğu
λ	Bitki yoğunluğu
m	Metre

Simgeler	Açıklamalar
mm	Milimetre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
n	Manning pürüzlülük katsayısı
υ	Kinematik viskozite
μ	Viskozite
μ_t	Türbülans viskozitesi
P	Basınç
p'	Modifiye basınç
R	Hidrolik yarıçap
Re	Reynolds sayısı
ρ	Yoğunluk
s	Saniye
S_M	Kaynak terimi
σ_{ij}	Gerilme tensörü
δ	Birim matris
T	Su üst yüzü genişliği
t	Zaman
τ	Gerilme tensörü
U	Ortalama akım hızı
∇	Gradyan operatörü
V	Ortalama hız

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADV	Acustic Doppler Velocimeter
BSL	Baseline
CAD	Computer Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
DES	Detached Eddy Simulation
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LES	Large Eddy Simulation
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
S	Senaryo
SSG	Speziale, Sarkar and Gatski
SST	Shear Stress Transport
VOF	Volume of Fluid

1. GİRİŞ

Doğal akarsuların ana ve/veya taşkın yataklarında bulunan bitki örtüsü, akım yapısını ve dolayısıyla hidrolik direnci önemli ölçüde etkilemektedir. Taşkın yatağındaki debi kapasitesinin azalması oldukça tehlikeli taşkın olaylarına sebebiyet verebildiğinden son yıllarda taşkın yönetimine ilişkin çalışmalar önem kazanmıştır. Taşkın yönetimi çalışmalarına altlık oluşturabilecek en önemli faktörlerden bir tanesi de hidrolik ve hidrolojik verilerin değerlendirilmesidir. Bu nedenle akıma engel teşkil edecek yapıların özel olarak incelenmesi gerekmektedir. Literatürde bu konu ile ilgili deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar genellikle oldukça sınırlı şartları ifade etmektedir. Hatta bazı özel durumlar için analitik çözümler dahi mevcuttur. Fakat hem deneysel hem de analitik çözümlerin oldukça sınırlı kalması sebebiyle akarsu içerisindeki doğal akım durumunun çözümü için daha genel koşulları dikkate alan sayısal modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Birçok araştırmacı ve mühendis bitki örtülü taşkın akım modeli oluşturmak için Manning formülündeki "n" direnç katsayısını kullanmışlardır. Ancak, araştırmalar bu tür akımların tek bir direnç katsayısı ile tanımlanamayacağını göstermiştir. Son yıllarda birçok çalışmada bitki örtüsü içeren akımlar tek bir hız ya da türbülans yoğunluğu profili ile tanımlanmaya çalışılmıştır. Türbülanslı akım ve taşınım, hız dağılımı, yatak kayma gerilmesi, sediment taşınımı ve kirletici madde taşınımından oldukça etkilenmektedir (Nezu ve Nakagawa, 1993; Nezu ve Rodi, 1993).

Akışın olduğu mühendislik sistemlerinin tasarımı ve analizinde iki temel yaklaşım vardır. Bunlar, deneysel ve teorik çalışmalardır. Bunlardan ilki, test edilecek modellerin fiziksel olarak yapımını gerektirirken ikincisi diferansiyel denklemlerin analitik veya sayısal olarak çözümlenmesini içerir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

Doğal akarsulardaki akım özelliklerinin doğru olarak hesaplanabilmesi için son yıllarda geliştirilmiş olan bilgisayarların bellek ve hız kapasitelerinin artması neticesinde araştırmacıların birçoğu, deneysel çalışmaların yanında daha ekonomik çözümler üretebilen bilgisayar programları geliştirerek veya geliştirilmiş modelleri kullanarak akımdaki özel durumların modelleme çalışmalarını gerçekleştirmektedir. Sayısal

çözümleme gerektiren uygulamaların en önemli örneklerinden bir tanesi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) uygulamalarıdır (Koçyiğit ve Alyavuz, 2014).

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD); doğadaki akışkan davranışlarının matematiksel fizik temelinde ve sayısal yöntemlerle benzetiminin yapılması işine verilen addır.

Bir HAD uygulaması dört temel aşamadan meydana gelir:

Ön işlem; geometrinin oluşturulması, problemin modellenmesi, çözüm ağının oluşturulması, sınır şartlarının belirlenmesidir.

Çözüm; problemin türüne uygun bir çözüm yöntemiyle yaklaşık olarak hesaplanmasıdır.

Sonuçlar; çözümde elde edilen sonuçların değerlendirilmesidir.

Deneysel doğrulama; bazı verilerin deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak sonuçların yeterli hassasiyette olduğunun doğrulanmaya çalışılmasıdır.

Genel olarak HAD yöntemlerinde yaklaşık bir hesap yapılır. Yapılan analizin hassasiyeti, öncelikle hesaplama örgüsü (ağı) içindeki elemanların büyüklüklerine, konumlarına, türlerine (üçgen, dörtgen temelli) ve eleman formülasyonuna (doğrusal, 2.derece vs.) bağlıdır (Yılmaz, 2009).

Günümüzde deneysel analizler ile HAD analizleri çoğunlukla birlikte uygulanmaktadır. Çünkü bu iki analiz birbirini tamamlamaktadır. Örneğin, kaldırma kuvveti, direnç kuvveti, basınç değişimi veya güç gibi genel özellikler deneysel olarak elde edilebilirken, kayma gerilmeleri, hız - basınç dağılımları ve akıma ait akım çizgileri gibi akım alanı hakkındaki ayrıntılar HAD kullanılarak elde edilir. Ayrıca; HAD, dikkatlice kontrol edilen parametrik incelemeler yoluyla, gerekli deneysel test sayısını düşürerek tasarım sürecini kısaltmak için kullanılır (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

HAD ile laminer akımlar kolayca çözümlenebilirken, uygulamadaki türbülanslı akımları türbülans modellerini kullanmaksızın çözmek imkansızdır. Çözüm için genel bir türbülans modeli yoktur ve türbülanslı bir HAD çözümü, sadece türbülans modelinin uygunluğu

kadar iyidir. Bu sınırlamaya rağmen, standart türbülans modelleri uygulamadaki çoğu mühendislik problemlerinde makul çözümler verir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

Yukarıda belirtilen gelişmeler ışığında tez çalışması olarak bitki örtüsü içeren akım davranışının bir program (ANSYS CFX) ile irdelenmesi ve mühendislik uygulamalarında hazır programların uygulanabilirliği konusu incelenmiştir. Bu kapsamda literatürde mevcut deneysel verilerden faydalanılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Nehirlerde hidrolik açıdan habitat koşullarının tanımlanabilmesi için öncelikle akım hızlarının tahmini gerekmektedir. Nehir içerisinde yer alan bitkilerin akım hızını oldukça önemli miktarda etkilemesi nedeniyle konu ile ilgili çok sayıda fiziksel ve matematiksel modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde deneysel ve analitik çözüm yaklaşımı içeren matematiksel yöntemlere ek olarak sayısal yöntemlerin kullanımının arttığı literatür incelemesinden görülmektedir. Bu çalışmaların çoğunluğunun ortak özelliği laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deney verileri ile akımı tanımlayan diferansiyel denklemlerden oluşan matematiksel modelin sayısal çözümünden elde edilen sonuçların karşılaştırılması şeklindedir. İlk deneysel çalışmalar rijit gövdeli bitki örtüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Nepf (1999), bitki örtüsü içeren bir akımda türbülans yoğunluğunun ve difüzyonun test edilebileceği fiziksel bir model oluşturmuştur. Bunun için uzun dikdörtgen bir kanalda bitki örtüsünü temsilen silindirik rijit ahşap çubukları, gerçekte gözlemlenmiş olan değerleri dikkate alarak farklı yoğunluklarda ve rastgele yerleştirmiştir. Burada model, bitkiye bağlı sürüklenme, türbülans yoğunluğu ve türbülanslı difüzyon bağlantılıdır. Çalışmasında türbülans yoğunluğu gözlemlerini, sürükleme gerilmeleri tahminlerinin kontrolünde kullanmıştır. Ancak, gözlenen difüzyon hızlarının türbülanslı difüzyon için beklenenden daha büyük olması nedeniyle, oluşan bu farklılığı açıklayabilmek için bitki içeren akımlarda mekaniksel difüzyon sürecini gözlemlemiştir. Ayrıca, ortalama akımın, türbülans yoğunluğunun, bitki içeren ve içermeyen bölgelerdeki difüzyonun karşılaştırması da bu çalışma kapsamında yapılmıştır.

Bennett, Pirim ve Parkdoll (2002), dikdörtgen bir kanal içerisinde farklı bölgelerde ve özellikle kanal kenarlarında kümelenmiş farklı yarıçaplara sahip bitki dağılımı ile batmamış silindirik rijit çubukları kullanarak bitki yoğunluğunun hidrolik parametreler üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Bu bitki dağılımı ile özellikle menderesli nehirlerde oluşan akım yapısına benzer bir durum incelenmiştir.

Ghisalberti ve Nepf (2004), uzun dikdörtgen bir deney kanalında farklı debide akımlar kullanarak ve bitki örtüsünü temsilen silindirik rijit ahşap çubukları, farklı yoğunluklarda

yerleştirerek kayma tabakasında oluşan girdapların büyümesini önleyen dinamik dengeyi açıklamaya çalışmışlardır.

Wilson, Hoyt ve Schnauder (2008), dikdörtgen bir kanalda batmış silindirik esnek çubukları yerleştirerek tek bir bitki örneğinin farklı akım hızlarına maruz bırakıldıklarında üzerlerine uygulanan sürükleme kuvvetinin ölçümünü yapmışlardır.

Yağcı ve Kabdaşlı (2008), dikdörtgen kesitli bir deney kanalında farklı formlarda doğal ağaç fidanlarını kullanarak akım bölgesindeki hız ve türbülans değerlerini ölçmüşlerdir.

Tanino ve Nepf (2008), batmamış bitki içeren bir akımda, bitkileri temsilen sabit yarıçaplı, rijit çubukları deney kanalına rastgele yerleştirerek sürükleme kuvvetinin değişimini incelemişlerdir.

Luhar ve Nepf (2011), laboratuvar kanalında doğal bitkiler kullanarak yüzen ve esnek sualtı bitkilerinden kaynaklanan akım yapısı değişimini deneysel ve teorik modelin karşılaştırılması şeklindeki bir çalışma ile incelemişlerdir.

Bitki örtüsünün rijit veya esnek olması durumları için yapılan deneysel çalışmalara ek olarak sayısal çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur.

Wilson, Yagci, Rauch ve Olsen (2006), akım alanında nehir kıyısında bulunan bitkilerin hidrolik etkisini karakterize ederek pürüzlülük kalibrasyon ihtiyacını en aza indirmenin yollarını araştırmışlardır. Bu deneyi Kuzey Doğu Avusturya'daki yaklaşık 34 km uzunluğundaki Wienfluss nehrinde yapmışlardır. Buradan aldıkları verileri Norveç Üniversitesi tarafından geliştirilen 3 boyutlu sonlu hacim programı olan SSIIM programını kullanarak değerlendirmişlerdir. Bu program standart k-ε (epsilon) türbülans modelini kullanarak Navier-Stokes eşitliklerini çözmektedir. Nehir kıyısında bulunan bitki bükülmesinin modellemesinin hesaplanan hızlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bu sebeple bu kritik parametrenin saha çalışmalarının ardından belirlenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Fischer, Stoesser, Bates ve Olsen (2010), açık bir kanalda tamamen batmış haldeki rijit bitkilerin akıma olan etkisinin üç boyutlu sayısal çözümlemesini SSIIM modeli ile yaparak sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır.

Erduran ve Kutija (2003), esnek, rijit, batmış ve batmamış bitki içeren akımların hız ve derinlik değişimlerini 3 boyutlu sayısal model ile incelemişlerdir.

Kim (2011) tezi kapsamında, açık kanallardaki anlık akımlar ile türbülans istatistiklerinin ve bitki varlığının akım direncine etkisini Large Eddy Simulation (LES) ve RANS isimli üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonu ile belirlemeye çalışmıştır. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar bitkili açık kanallarda akım-bitki etkileşiminin temel mekanizmasının anlaşılmasına, türbülanslı akım-bitki etkileşimini açık bir şekilde yeniden çözmeye katkı sağlamıştır.

Yukarıda bahsi geçen modeller ve çözüm yöntemleri genellikle özel akım koşullarının araştırılması amaçlı olup, farklı araştırmacı ve mühendislerin kullanımı açısından oldukça sınırlıdırlar. Bu nedenle hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerinin çözümünü amaçlayan, genel kullanıma uygun, sınır koşullarının kullanıcı tarafından kolay tanımlanabildiği ve sonuçların hem sayısal hem de görsel olarak sağlandığı yazılımlar geliştirilmektedir. Benzer durum akarsu içerisindeki akım yapısının incelenmesi için de geçerlidir. Koçyiğit ve Alyavuz (2013), Stamou, Papadonikolaki, Gkesouli ve Nikoletopoulos (2011), Gümüş, Aköz ve Kırkgöz (2013), Najmeddin (2012), Dewangan, Das A. ve Das P. (2008) konu ile ilgili çalışmalarında hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarına yönelik bir yazılım olan ANSYS CFX'i kullanmışlardır.

Koçyiğit ve Alyavuz (2013), dikdörtgen kesitli bir açık kanalda farklı daralma koşulları için sayısal modelinin oluşturulması ve bu modelin deneysel veriler ile doğruluğunun test edilmesini içeren bir çalışma yapmışlardır. Fiziksel modelde, dikdörtgen kesitli bir kanal içerisinde yatayda kesit değişimi olan bir açık kanal akımı tasarlamışlardır. Bu değişimi kanal uzunluğunun orta noktasına yerleştirilen iki adet silindirik engel ile sağlamışlardır. Sayısal modelin oluşturulması için ANSYS sonlu elemanlar yazılımını kullanılmışlardır. Deney sonuçları ile ANSYS ortamında hesaplanan hız değerlerini karşılaştırdıklarında genel olarak uyumlu bir profil gözlemlemişlerdir.

Stamou ve diğerleri (2011), laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olan deneysel bir çalışmanın verilerini kullanarak bitki örtüsü içeren nehirlerin taşkın hidroliğine etkisini 3 boyutlu sayısal modelle incelemişlerdir. ANSYS sonlu elemanlar yazılımını kullanarak bitkileri temsilen silindirik çubukları akım içerisinde tamamen batık ve şaşırtmalı olarak

yerleştirmişlerdir. Dört farklı çözüm ağı kullanarak akım hızı değerlerini hesaplamışlardır ve bu değerleri deney sonucu elde edilmiş olan değerlerle karşılaştırmışlardır.

Gümüş ve diğerleri (2013), düşey bir kayar-kapak mansabında oluşan batmış hidrolik sıçramanın geometrik ve kinematik özelliklerinin analizi için akımın deneysel ve sayısal modellemesini yapmışlardır. Batık hidrolik sıçramayı içeren laboratuvar kanalında su yüzü profilini ölçerek, deney koşullarındaki akımları, *Sonlu Hacimler* yöntemi ile sayısal olarak modellemişlerdir. Akımı ifade eden denklemleri, *Standard k-ε*, *Renormalization-group k-ε* ve *Realizable k-ε* türbülans modellerini kullanarak çözmüşlerdir. Açık kanalda su yüzü profilinin hesaplanmasında akışkan hacimleri yöntemini (volume of fluid-VOF) kullanılmışlardır. Sayısal modellerden elde edilen su yüzü profillerini, deneylerden elde edilenler ile karşılaştırarak batmış hidrolik sıçramanın geometrik ve kinematik karakteristiklerini değerlendirmişlerdir.

Dewangan ve diğerleri (2008), dikdörtgen bir kanalda bir engel üzerinde hidrolik sıçramanın sayısal olarak modellemesini yapmışlardır. Sayısal modelleme için ANSYS CFX yazılımı ile kararlı durum ve k-ε türbülans modelini kullanmışlardır. Kütle korunum denklemi ve Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (momentum korunumu) denklemleri çözüm için kullanılan ortak denklemlerdir. Bu çalışma kapsamında da aynı temel denklemler çözüm için kullanılmıştır.

Najmeddin (2012), açık kanal akımlarında etkili olan Froude sayısının etkisini bitki örtüsü içeren akımlarda HAD simülasyon modelini kullanarak araştırmıştır.

Baghalian, Bonakdari ve Fazli (2011), çalışmalarında ANSYS CFX yazılımını 90 derecelik bir dirsek ile oluşturulmuş akım üzerindeki hız etkilerini araştırmak için kullanmıştır. Dirsek etkisi ile oluşan üç boyutlu hız değişimi araştırmasında yazılımın başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Terzuoli, Galassi, Mazzini ve D'Auria (2008), makalelerinde benzer bir yazılım doğrulama çalışması uygulamışlardır.

Ansari (2011) tez çalışmasında, trapez kanallarda akım yapısı ve sınır kayma gerilmeleri dağılımını incelemiştir. Çalışmaya temel teşkil eden farklı türbülans modellerinin sınanmasını ANSYS yazılımını kullanarak gerçekleştirmiştir.

Dorcheh (2007) doktora tezinde konu ile ilgili deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmada; rijit bitki örtüsü içeren farklı açık kanal tiplerinde akımın hız ve türbülans karakteristikleri incelenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, bitki örtüsü içeren dikdörtgen kesitli bir kanaldaki akım davranışları ANSYS CFX programı ile incelenerek Dorcheh'in (2007) doktora tezindeki deneysel verilerin bir kısmı ile karşılaştırılmıştır. Dorcheh'in (2007) deneysel çalışması ile ilgili bilgiler ileriki bölümlerde daha ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

3. AÇIK KANAL AKIMI VE MODELDE KULLANILAN PROGRAM

3.1 Açık Kanal Akımlarının Sınıflandırılması ve Hız Profili

Açık kanal akımları su yüzeyinin atmosfer ile temasta olduğu akımlardır. Akarsular, sulama kanalları, drenaj kanallarındaki akımlar ile boru, tünel, galeri ve kanalizasyon şebekelerindeki serbest yüzeyli akımlar da açık kanal akımlarıdır. Açık kanallarda akım tipleri değişik ölçütler dikkate alınarak tanımlanır. Bir akımda, herhangi bir noktadaki hızın yönü ve değeri zamanla değişmiyorsa, bu tip hareketlere veya rejimlere kararlı hareket (rejim) denir. Yani en kesite ait hidrolik parametreler (derinlik, ıslak kesit, debi vs.) sabit bir değerde olur. Kanala herhangi bir surette su gelmediği veya kanalın güzergâhı boyunca dışarıya su verilmediği takdirde (yan kol, sızıntılar) bütün kesitlerde aynı debi mevcuttur. Başka bir ifadeyle akım derinliği "h" zamanla değişmiyorsa ($\partial h/\partial t = 0$) veya belli bir zaman aralığında sabit kabul edilebiliyorsa bu akım türüne kararlı akım denir. Eğer derinlik zamanla değişiyorsa ($\partial h/\partial t \neq 0$) bu kararlı olmayan akımdır. Örneğin taşkınlar kararlı olmayan akımlara örnektir. Çünkü akım derinliği taşkın dalgasının geçmesiyle ani olarak değişmektedir (Özbek, 2009: 1, 4).

Zaman ölçütü dışında akımlar konumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Eğer açık kanaldaki akım derinliği kanalın her kesitinde aynı ise üniform akım ($\partial h/\partial x = 0$), değilse üniform olmayan akım ($\partial h/\partial x \neq 0$) olarak isimlendirilir.

Akımların rejim davranışlarının sınıflandırılmasında kullanılan boyutsuz parametreler Froude (Fr) ve Reynolds (Re) sayılarıdır.

Foude sayısı atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerine oranıdır (Eş. 3.1).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g*D}} \tag{3.1}$$

Burada;

$D = A$ (ıslak alan) / T (su üst yüzü genişliği) (3.2)

$Fr > 1$ ise sel rejimi, $Fr < 1$ ise nehir rejimi, $Fr = 1$ ise kritik rejim oluşur.

Nehir rejimi, açık kanal akımlarında genellikle karşılaşılan bir durumdur. Büyük akım derinliği, düşük hız ve düşük eğim bu rejimin belli başlı karakteristikleridir. Bir kabartma yapısı ya da kesit değişikliği gibi nedenlerle akımda oluşan herhangi bir düzensizlik kendini membada hissettirdiğinden nehir rejimindeki akımlar mansap kontrollüdür (Özbek, 2009: 12).

Sel rejimi, vahşi dereler ve dolusavakların boşaltım kanallarında karşılaşılan bir durumdur. Küçük akım derinliği, yüksek hız ve yüksek eğim bu rejimin karakteristikleridir. Akımdaki herhangi bir düzensizlik kendini sadece mansapta hissettirdiği için sel rejimindeki akımlar memba kontrollüdür (Özbek, 2009: 12).

Reynolds sayısı ise atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranıdır (Eş. 3.3).

$$R = \frac{V*D}{\upsilon} \tag{3.3}$$

Burada; D hidrolik yarıçap, υ kinematik viskozitedir.

Re < 2000 ise akımın laminar, Re > 3000 ise akımın türbülanslı olduğu kabul edilir. Laminar akımdan türbülanslı akıma geçiş sınırı Re=2000 kabul edilir ve bu bölgedeki akımlara geçiş akımı denir (Özbek, 2009: 1, 4).

Genellikle açık kanal akımlarında hız, en kesit boyunca üniform bir dağılım göstermez. Hız dağılımı en kesit şekline, pürüzlülük tipine ve kanal boyunca bitki dağılımına bağlıdır. Türbülanslı akım ile sedimentli nehir yataklarında düşey hız profilinin logaritmik dağılım gösterdiği varsayılır (Chow, 1959; French, 1986; Graf ve Altinakar, 1998; Ferro, 1999).

Kanalın genişliğinin derinliğine oranı azaldıkça ve cidar pürüzlülüğü arttıkça hız dağılımını etkileyen sekonder akımlar oluşmaktadır. Bu sekonder akımlar ana akım ile süperpoze olduğunda cidardaki su taneciklerinin su yüzeyine iletilmesine neden olmakta, yüzeye yakın hızlarda bir azalmaya sebebiyet vermektedir (Özbek, 2009: 24, 26).

3.2. Akım Direnci

Standart pürüzlülük eşitlikleri, direnç büyüklüğünü bir direnç katsayısı ile tanımlamak için kullanılmaktadır. Açık kanallardaki akım direnci oldukça karmaşık bir olgudur ve bunu henüz tam olarak hesaplayabilen bir yöntem yoktur. Akım direncini önemli ölçüde etkileyen birçok faktör vardır (Chow, 1959):

Sınır yüzey pürüzlülüğü: ıslak çevre etrafında malzeme tanelerinin şekil ve boyutları ile temsil edilmekte olup, akım üzerinde yavaşlatıcı bir etkiye sahiptir.

Bitki örtüsü: Hissedilebilir ölçüde akım kapasitesini azaltır ve akımı yavaşlatır. Bu etki genel olarak bitki yüksekliği, bitki yoğunluğu, bitki dağılımı, bitki rijitliği, bitki türü ve tipine bağlıdır.

Kanal boyutu, şekli ve düzensizliği: Kanal en kesitindeki değişimler, kanal alanı, en kesit şekli ve kanalın boyuna doğrultuda ıslak çevre ekseni boyunca değişimleri ile ilgilidir.

Sedimantasyon ve erozyon: Kanalı daha düzenli ya da daha düzensiz forma getirebilir. Bu etki debideki ve kanaldaki toprak malzemeye bağlıdır.

Engeller: ağaç kütükleri, yıkıntılar, kayalar ve köprü ayakları gibi engeller akım direnci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Yükseklik ve Debi: Akım direncini etkileyen yükseklik debi ilişkisi arttığı zaman genellikle pürüzlülük katsayısı azalır. Yüksek debi nedeniyle su seviyesinin nehir kıyısına ya da taşkın yatağına ulaşması durumunda normal koşulların tam tersi bir durum oluşabilir.

Kıvrımlılık: Menderes oluşumunun derecesidir. İki nokta arasındaki en kısa mesafenin talveg uzunluğuna oranı olarak belirlenebilir. Kıvrımlılık arttıkça akım direnci de artar.

Buz tabakası: Belirli ülkeler için akım direncine etkisi oldukça önemlidir. Nehir üzerindeki buz tabakası akım direncini arttırır.

3.3. Debi ve Hız Denklemleri

Açık kanal en kesitleri doğal ve prizmatik özelliklerde olup debi hesabı kesitin geometrik ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Açık kanalın akarsu en kesiti gibi doğal bir kesit olması durumunda katı madde, taban şekli ve akım sürekli olarak birbirini etkilemektedir. Tabanın hareketsiz olması durumunda, kesitin sınıflandırılmasına göre hesaplar yapılır. Ancak, tabanı hareketli olan bir başka deyişle taban şekillerinin oluştuğu akarsu yataklarında çok daha farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır (Özbek, 2009: 27, 28).

Aşağıda taban şekillerinin oluşmadığı kabulü ile ıslak çevresi aynı ve farklı pürüzlülüğe sahip olan açık kanalların debi formüllerinden yaygın olarak kullanılanları verilmiştir.

3.3.1. Darcy-Weisbach eşitliği

Ortalama akım hızı Darcy-Weisbach eşitliği ile hesaplanabilir (Eş. 3.4).

$$V = \frac{\sqrt{8*g*R*I}}{\sqrt{f}} \tag{3.4}$$

Burada; V ortalama hız, g yerçekimi ivmesi, R hidrolik yarıçap, I kanal taban eğimi ve f Darcy-Weisbach boyutsuz direnç katsayısını ifade etmektedir (Özbek, 2009: 28).

Pürüzlülük yüksekliği ve Darcy-Weisbach boyutsuz direnç katsayısı olan "f" arasındaki ilişki Colebrook-White tarafından geliştirilmiştir. Bu eşitlik yarı ampirik olup sadece türbülanslı, hidrolik cilalı ve geçiş akımları için geçerlidir.

Graf'a (1998) göre laminar ve hidrolik cilalı akımlar için sırasıyla direnç faktörü Eş. 3.5'teki gibi tanımlanabilir:

$$f = \frac{24}{Re} \tag{3.5}$$

$$Re = \frac{4RV}{\upsilon} \tag{3.6}$$

French'e (1986) göre direnç faktörü Eş. 3.7'de verilmiştir.

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \tag{3.7}$$

Darcy-Weisbach akım direnç katsayısı olan "f" boyutsuz olduğundan ve Darcy-Weisbach eşitliği Reynolds sayısı etkilerini içerdiğinden dolayı Manning- Strickler eşitliği ve Chezy eşitliğine göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir (French, 1986).

Böylece Darcy-Weisbach direnç katsayısı ile yük kaybı Eş. 3.8'de gösterilmiştir.

$$h_f = f \frac{L}{4R} \frac{U^2}{2g} \tag{3.8}$$

Burada; f Darcy-Weisbach akım direnç katsayısı (boyutsuz), L boru uzunluğu (m), R borunun hidrolik yarıçapı (m), U ortalama akım hızı (m/s) ve g yerçekimi ivmesidir.

3.3.2. Manning-Strickler eşitliği

Manning- Strickler eşitliği Eş. 3.9'da gösterilmiştir.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} = k_{st} * R^{2/3} * I^{1/2} \tag{3.9}$$

Burada; V akım hızı (m/s), R hidrolik yarıçap (m), I kanal taban eğimi, n Manning pürüzlülük katsayısı $[m^{-1/3} * s]$, k_{st} Strickler pürüzlülük katsayısıdır $[m^{1/3} * s^{-1}]$.

Manning-Strickler formülü eğri uydurma işleminin bir sonucu olduğundan tamamen ampirik kökenli bir eşitliktir (French, 1986).

Manning'e göre yük kaybı Eş. 3.10'da gösterilmiştir.

$$\mathrm{h_f} = \mathrm{n^2} \frac{\mathrm{LV^2}}{\mathrm{R^{4/3}}} \tag{3.10}$$

Burada; n Manning pürüzlülük katsayısı $[m^{-1/3} * s]$, L kanal uzunluğu (m), V akım hızı (m/s), R hidrolik yarıçap (m), h_f yük kaybıdır [m].

Manning-Strickler eşitliği, içsel sürtünmeyi dikkate alan viskoz kuvvetleri ve kesit şeklinin etkilerini içermediğinden, sadece ortalama hızı verdiğinden ve pürüzlülük katsayılarının

boyutlu olmasından dolayı farklı derinliklerde, k_{st} ve n değerlerinin tam olarak gerçeği yansıtamayacağı unutulmamalıdır (Özbek, 2009: 29, 30).

3.3.3. Chezy eşitliği

İlk olarak 1753 yılında Brahms ve 1755 yılında da Chezy tarafından geliştirilmiş ampirik kökenli bir eşitliktir (Eş. 3.11).

$$V = C * \sqrt{R * I} \tag{3.11}$$

Burada; V akım hızı (m/s), C Chezy katsayısı [$m^{1/2} * s^{-1}$], R hidrolik yarıçap (m), I kanal taban eğimidir.

Böylece hidrolik yük kaybı Eş. 3.12'deki gibi ifade edilebilir:

$$h_f = \frac{1}{C^2}\frac{LV^2}{R} \tag{3.12}$$

Burada; L kanal uzunluğunu (m), h_f yük kaybını [m] ifade etmektedir.

Yukarıda belirtilmiş olan yük kayıp formüllerinin ilişkilendirilmesi sonucunda; Darcy-Weisbach boyutsuz direnç katsayısı, Chezy pürüzlülük katsayısı ve Manning "n" katsayısı Eş. 3.13'te gösterilmiştir.

$$f = \frac{8gn^2}{R^{1/3}} = \frac{8g}{C^2} \tag{3.13}$$

İki yüzyılı aşkın bir süredir Chezy eşitliği ile ilgili olarak yapılan araştırmalar kullanımı son derece kolay olan Chezy katsayısının boyutlu olmasından dolayı, C katsayısının aynı cidar özelliklerine sahip şartlarda dahi sabit kalmadığının bir göstergesidir. C katsayısı akım derinliğine bağlı olarak değişim göstermekte yani hidrolik yarıçap ve eğimden etkilenmektedir. Burada hesaplanan hız ortalama bir değerdir. Hâlbuki hız dağılımı kesit şeklinden etkilenmektedir (Özbek, 2009: 29, 30).

3.4. Sürükleme Katsayısı

Bitki örtüsünden kaynaklı sürükleme kuvveti Eş. 3.14'te ifade edilmiştir (Thom, 1975).

$$F_D = \frac{1}{2}\rho C_D A V^2 \tag{3.14}$$

Burada; F_D sürükleme kuvveti (kgm/s^2), C_D sürükleme katsayısı, ρ suyun yoğunluğu (kg/m^3), A akımın iz düşüm alanı (m^2), V ortalama hızdır (m/s).

Sürükleme katsayısı (C_D), hızdaki düşey değişimlerden etkilenmekte olup, genellikle akımın ortalama hacminin üstünde alınır. Çubuklardaki sürükleme katsayısı üzerine yapılmış olan önceki çalışmalarda bu değerin 1,13 ile 2,5 arasında değiştiği saptanmıştır (Thom, 1975).

Bitki örtüsü içeren açık kanal akımları ile ilgili olarak Dunn (1996) tarafından yapılmış olan birtakım laboratuvar deneylerinde, sürükleme katsayısının (C_D) rijit bitkiler için düşey doğrultuda sabit kalmadığı gözlenmiştir. Ancak, yatak üzerinde bir noktada maksimum seviyenin oluştuğunu ve bitki yüksekliğinin yaklaşık olarak üçte birine yakınının 1,13 değerine ulaştığını gözlemlemiştir (Thom, 1975).

3.5. Temel Diferansiyel Denklemler

Mekanik, kuvvetlerin etkisindeki durağan ve hareketli cisimler ile ilgilenen, fizik biliminin en eski dalıdır. Mekaniğin hareketsiz cisimler ile ilgili dalı statik, hareketli cisimler ile ilgili dalı ise dinamiktir. Akışkanlar mekaniği alt dalı ise; akışkanların, durağan haldeki (akışkan statiği) ve hareket halindeki (akışkan dinamiği) davranışları ve yine akışkanların diğer akışkanlar ve katılar ile oluşturdukları sınırlardaki etkileşimleri ile ilgilenen bilim dalı olarak tanımlanır. Bir evin ve bütün şehrin temiz su, doğalgaz ve atık su tesisatları akışkanlar mekaniğinin prensiplerine göre tasarlanır. Daha genel bir değerlendirme ile akışkanlar mekaniği; uçakların, gemilerin, denizaltıların, roketlerin, jet motorlarının, rüzgâr türbinlerinin ve biyomedikal cihazların yanı sıra, elektronik elemanların soğutulması, su, ham petrol ve doğalgaz taşınması gibi uygulamaların tasarım ve incelenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Diferansiyel analiz, akışkan hareketinin diferansiyel denklemlerinin akış bölgesi olarak adlandırılan bir bölge boyunca akış alanındaki her noktaya uygulanmasını gerektirir. Diferansiyel tekniğini, tüm akış alanı boyunca art arda ve birbiri üstüne istiflenmiş milyonlarca çok küçük kontrol hacimlerinin analizi gibi düşünebiliriz. Limit durumda bu çok küçük kontrol hacimlerinin sayısı sonsuz olacağından, her bir kontrol hacmi de küçülerek bir noktaya dönüşür ve böylece korunum denklemleri akış içerisindeki her bir noktada geçerli olan bir kısmi diferansiyel denklem sistemi haline gelir. Bu denklemler çözüldüğünde tüm akış bölgesi boyunca her bir noktadaki hız, basınç vb. hakkında detaylı bilgi elde edilir.

3.5.1. Kütlenin korunumu ve süreklilik denklemi

Kontrol hacmi içerisindeki kütlenin birim zamandaki net değişim hızı, kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan kütlesel debilerin farkına eşittir. Kütlenin korunumu için bir diferansiyel denklem oluşturmak üzere kontrol hacminin *dx, dy, dz* boyutlarında sonsuz küçük bir hacme küçüldüğünü düşünelim. Limit durumunda kontrol hacminin tamamı akış alanındaki bir noktaya indirgenecektir.

Diverjans teoremi diğer bir adıyla Gauss teoremi kullanılarak kütlenin korunumunun diferansiyel formu, sonsuz küçük bir denetim hacmi için kütlenin korunumu, yoğunluk ve hızın sürekli fonksiyonlar olması dışında başka bir kabul gerektirmediği için daha çok bilinen adıyla süreklilik denklemi (Eş. 3.15) olarak adlandırılır (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \boldsymbol{\nabla} \cdot (\rho \boldsymbol{U}) = 0 \qquad (3.15)$$

Burada; ρ yoğunluk, t zaman, $\boldsymbol{\nabla}$ gradyan operatörü, $\boldsymbol{U}$ hız vektörünü ifade etmektedir.

Sonsuz küçük bir kontrol hacmi kullanarak da süreklilik denklemi elde edilebilir. Kartezyen koordinatlarda süreklilik denklemi Eş. 3.16'daki gibidir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0 \qquad (3.16)$$

3.5.2. Momentumun korunumu denklemi

Diverjans teoremi kullanılarak doğrusal momentumun korunumuna ait diferansiyel denklemi (Cauchy Denklemi) Eş. 3.17'de gösterilmiştir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \boldsymbol{U}) + \boldsymbol{\nabla} \cdot (\rho \boldsymbol{U}\boldsymbol{U}) = \rho \boldsymbol{g} + \boldsymbol{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \tag{3.17}$$

Burada; *t* zaman, ρ yoğunluk, $\boldsymbol{U}$ hız vektörü, $\boldsymbol{\nabla}$ gradyan operatörü, $\boldsymbol{g}$ yerçekimi ivmesi, σ_{ij} gerilme tensörüdür.

Bu denklem hem sıkıştırılabilir hem de sıkıştırılamaz akışlar için kullanılabilir. Akış bölgesindeki her noktada geçerlidir. Bu denklem vektöreldir ve bu yüzden üç adet skaler denklemi temsil etmektedir. Yani üç boyutlu problemlerde her bir koordinat ekseni için bir skaler denklem bulundurmaktadır (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

Sonsuz küçük bir kontrol hacmi kullanarak Cauchy Denklemi aşağıdaki gibi elde edilir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

x- yönündeki momentum denklemi Eş. 3.18'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + u\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + v\frac{\partial(\rho u)}{\partial y} + w\frac{\partial(\rho u)}{\partial z} = \rho g_x + \frac{\partial}{\partial x}\sigma_{xx} + \frac{\partial}{\partial y}\sigma_{yx} + \frac{\partial}{\partial z}\sigma_{zx} \tag{3.18}$$

y- yönündeki momentum denklemi Eş. 3.19'da gösterilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + u\frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + v\frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + w\frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = \rho g_y + \frac{\partial}{\partial x}\sigma_{xy} + \frac{\partial}{\partial y}\sigma_{yy} + \frac{\partial}{\partial z}\sigma_{zy} \tag{3.19}$$

z- yönündeki momentum denklemi Eş. 3.20'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + u\frac{\partial(\rho w)}{\partial x} + v\frac{\partial(\rho w)}{\partial y} + w\frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = \rho g_z + \frac{\partial}{\partial x}\sigma_{xz} + \frac{\partial}{\partial y}\sigma_{yz} + \frac{\partial}{\partial z}\sigma_{zz} \tag{3.20}$$

Kayma gerilmesinin şekil değiştirme hızıyla doğrusal değiştiği akışkanlar Newton tipi akışkanlar olarak adlandırılır. Bu durumun tam tersi de Newton tipi olmayan akışkanlar olarak isimlendirilmektedir. Sıkıştırılabilir akışların çözümleri oldukça karmaşık olduğundan sıkıştırılamaz akım (ρ=sabit) kabulü yapılmaktadır. Ayrıca, akımın hemen hemen izotermal olduğu yani yerel sıcaklık değişimlerinin küçük veya hiç olmadığını kabul ederek enerji denklemlerine ait diferansiyel denkleme olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır. Bu kabuller sonucunda dinamik viskozite μ ve kinematik viskozite υ sabit olmaktadır (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

Sıkıştırılamaz Navier – Stokes Denklemi Eş. 3.21'de verilmiştir.

$$\rho \frac{D\boldsymbol{U}}{Dt} = -\boldsymbol{\nabla} P + \rho \boldsymbol{g} + \mu \nabla^2 \boldsymbol{U} \tag{3.21}$$

Burada; t zaman, ρ yoğunluk, $\boldsymbol{U}$ hız vektörü, $\boldsymbol{\nabla}$ gradyan operatörü, P basınç, $\boldsymbol{g}$ yerçekimi ivmesi (vektör), μ dinamik viskoziteyi ifade etmektedir.

Süreklilik denklemi ve Navier – Stokes denklemi kartezyen koordinatlarda (x, y, z) ve (u, v, w) cinsinden açılabilir.

Sıkıştırılamaz süreklilik denklemi Eş. 3.22'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{3.22}$$

Sıkıştırılamaz Navier – Stokes Denklemi x- bileşeni Eş. 3.23'de gösterilmiştir.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \tag{3.23}$$

Sıkıştırılamaz Navier – Stokes Denklemi y- bileşeni Eş. 3.24'te gösterilmiştir.

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \tag{3.24}$$

Sıkıştırılamaz Navier – Stokes Denklemi *z*- bileşeni Eş. 3.25'te gösterilmiştir.

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial z}+\rho g_z+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \quad (3.25)$$

Diferansiyel hareket denklemlerinin (süreklilik ve Navier – Stokes) kullanışlı olduğu iki tür problem vardır. Bunlardan ilki bilinen bir hız alanı için basınç alanının hesaplanması, ikincisi ise bilinen geometri ve sınır şartları için hem hız hem de basınç alanlarının hesaplanmasıdır (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

3.6. Mühendislik Problemlerinin Çözümünde Yazılımların Kullanımı

Bir mühendislik problemi, temel olarak deneysel (testler ve ölçümler yapılarak) ya da analitik analizler yoluyla incelenebilir. Deneysel yaklaşımın avantajı, gerçek fiziksel sistemin ele alınması ve deneysel hata sınırları içerisinde istenen büyüklüğün ölçüm yöntemleriyle belirlenmesidir. Ancak bu yaklaşım pahalı, zaman alıcı ve çoğunlukla da pratik olmayan bir yöntemdir. Analitik yaklaşımın üstünlüğü, genellikle hızlı ve ucuz olmasıdır. Ancak, çözümlemede yapılan kabullerin, yaklaşımların ve basitleştirmelerin doğruluğu sonuçlar üzerinde etkilidir. Mühendislik hesaplamalarında, çoğu zaman seçeneklerin sayısı, analiz yardımıyla azaltılarak iyi bir yaklaşım sağlanır ve daha sonra bulgular deneylerle doğrulanır.

Fiziksel bir olayı incelemenin iki önemli aşaması vardır. İlk aşamada olayı etkileyen bütün değişkenler tespit edilir, makul kabuller ve yaklaşımlar yapılır ve bu değişkenler arasındaki ilişki incelenir. Konu ile ilgili fiziksel yasalardan ve prensiplerden yararlanılarak problem matematiksel formüllerle ifade edilir. Denklem, bazı değişkenlerin diğerlerine bağlılık derecesini ve çeşitli terimlerin göreceli önemini göstermesi bakımından oldukça faydalıdır. İkinci aşamada ise uygun bir yaklaşımla problem çözülür ve sonuçlar yorumlanır.

Uygulamada karşılaşılan birçok önemli problem basit bir model ile analiz edilebilir. Fakat bir analizden elde edilen sonuçların, ancak problemin basitleştirilmesinde yapılan kabuller kadar doğru olacağı bilinmelidir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

Uygulamada karşımıza çıkabilecek problemlerin birçoğu günümüzde geliştirilmekte olan yazılımlardan biri ile çözülebilmektedir. Bu tez çalışmasında ilerleyen bölümlerde daha

ayrıntılı olarak anlatılacak gelişmiş bir yazılım olan ANSYS CFX programı uygulaması çalışılmıştır. Bu yazılım paketleri sadece istenen sayısal sonuçları vermekle kalmaz, aynı zamanda sonuçların grafiklerini de hazırlar. Ancak bu grafikler, doğru yorumlanmaz ise yanlış bilgilenmelere de zemin hazırlayabilirler. Temel bilgileri iyi olan bir mühendis, bu tür yazılımları kullanarak karşılaştığı problemlerin çözümünde oldukça yardımcı sonuçlara ulaşabilir. Böyle güçlü yazılımların varlığı ile mühendislere olan ihtiyacın azalmadığı, aksine ihtiyacın arttığını gösteren istatistikler de vardır. Günümüzde mevcut olan hesaplama gücünün ve mühendislik yazılımlarının hepsinin sadece birer araç olduğu ve bu araçların da o işin ustalarının elinde değer kazandığı bilinmelidir (Çengel ve Cimbala, 2008/2012).

3.7. Çalışmada Kullanılan Yazılım Programı ve Analiz Yöntemi

3.7.1. ANSYS yazılım programı

ANSYS, fiziksel bir sistemin (tasarımı yapılmış bir ürün veya sistemin) yapısal, termal ve elektro manyetik yükleme koşullarına verdiği tepkinin simülasyonunun yapılmasını sağlayan, endüstride geniş kullanım alanı bulan, problemlerin sayısal olarak çözümlenmesini sağlayan bir analiz yazılımıdır.

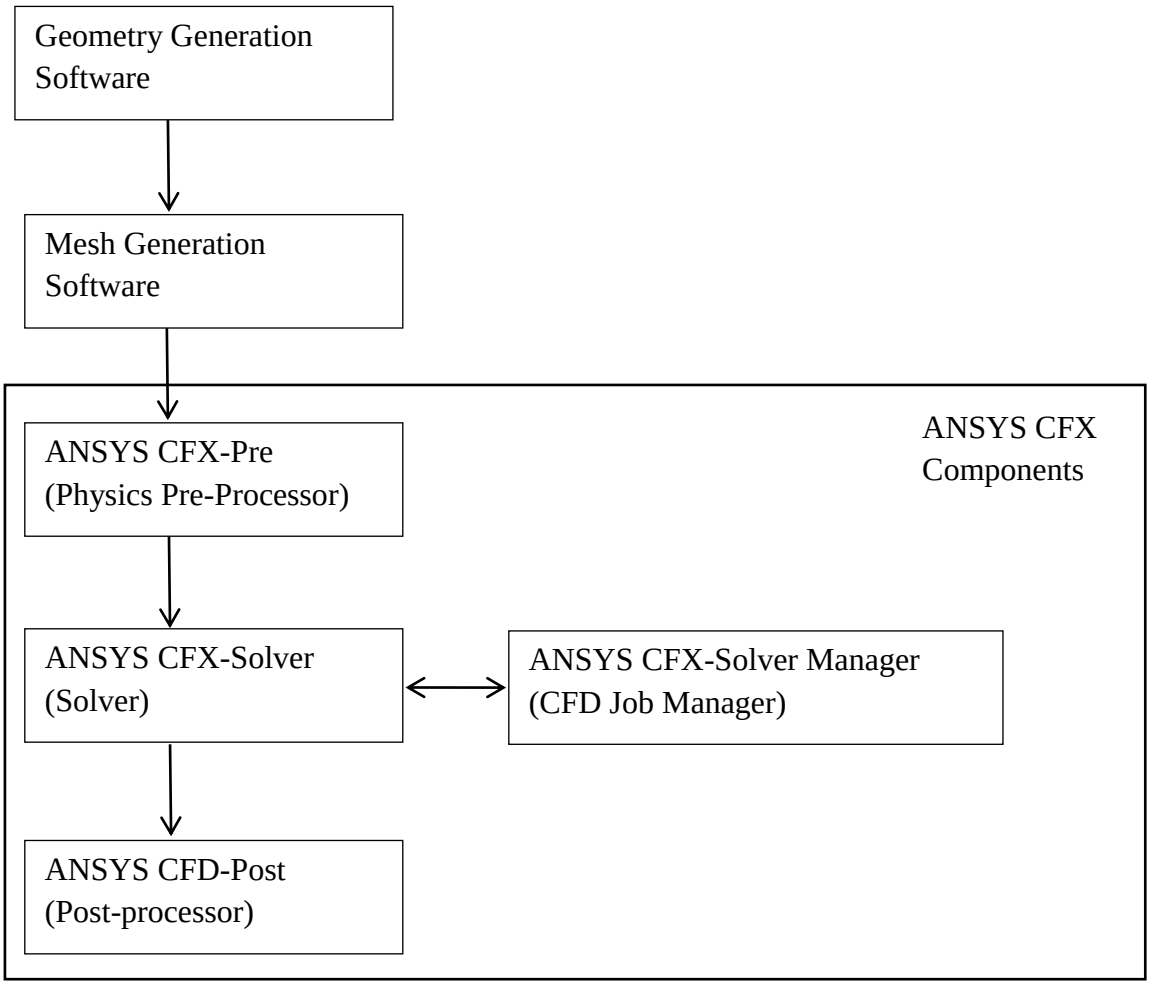
ANSYS ile fiziksel sistemlerin matematik modelleri oluşturularak farklı yükleme koşulları altındaki davranışları hesaplanabilir ve optimizasyonlar yapılabilir. ANSYS modüllerinin hepsi ANSYS Workbench platformunda çalışmaktadır ve aynı zamanda ANSYS yazılımı Solidworks, Unigraphics, Autodesk Inventor gibi kullanılan CAD programları ile entegre çalışmakta ve CAD yazılımlarındaki parametreleri kullanabilmektedir.

3.7.2. ANSYS CFX yazılımı

ANSYS CFX genel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ya da uluslararası kullanım adıyla Computational Fluid Dynamics (CFD) yazılımıdır. Bu yazılım kullanılarak kararlı durum ve geçiş akımlarının, laminar ve türbülanslı akımların, subsonik (aerodinamikte ses hızının altındaki hızları), transonik (geçiş ses hızı), süpersonik (ses hızının üzeri) akımların, Newton tipi akışkana sahip olmayan akımların, çok fazlı

akımların, yanma olayının ve parçacık izleme gibi olayların modellemesi gerçekleştirilebilmektedir (ANSYS, 2012).

ANSYS CFX programının çalışma yapısı Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiş olup, program dört adet yazılım modülü içerir (ANSYS, 2012).



Şekil 3.1. ANSYS CFX çalışma yapısı

Kullanılacak modelin ANSYS Workbench ara yüzündeki "Design Modeller" bölümünden ya da yukarıda bahsi geçen ANSYS yazılımı ile uyumlu başka bir çizim programı ile kullanılacak modelin geometrisi oluşturulduktan sonra yine aynı ara yüzdeki "Mesh Generation" kısmından ağ yapısının oluşturulması gerekir. Ağ yapısının oluşturulmasına ilişkin daha ayrıntılı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir. Yukarıdaki şemada bulunan CFX-Pre, simülasyonun tanımlanması için kullanılır. Analiz için gerekli olan akım karakteristikleri, sınır koşulları, başlangıç değerleri ve çözüm parametreleri bu bölümde

tanımlanır. CFX-Solver, CFX-Pre bölümünde tanımlanmış olan problemin çözülmesini sağlar. ANSYS CFX'in en önemli özelliklerinden biri hidrodinamik eşitliklerin tek bir sistem gibi çözüldüğü birleştirici çözüm sistemi kullanmasıdır. Birleştirici çözüm sistemi geleneksel ayrılmış çözüm sisteminden daha hızlıdır ve daha az sayıda iterasyon ile birleştirici çözüm elde edilebilmektedir. CFX-Solver Manager, HAD görev yönetimine daha fazla kontrol sağlayan bir modüldür. CFD-Post, ANSYS CFX simülasyon sonuçlarının görsel, grafiksel araçlar ile görüntülenmesini sağlayan bölümdür (ANSYS, 2012).

3.7.3. ANSYS CFX yazılımının matematiksel altyapısı

Momentum işlemleri, ısı ve kütle transferi olarak tanımlanan denklem setleri, önceki bölümde tanımlanmış olan Navier-Stokes eşitlikleri olarak bilinir. Bu kısmi diferansiyel denklemler 19. yy. başlarında elde edilmiş olup, genel olarak bilinen analitik çözümleri yoktur. Ancak; sonlu elemanlara ayrılabilir ve nümerik olarak çözülebilirler (ANSYS, 2012).

Isı dağılımı gibi diğer uygulamalarla ilgili denklemler, Navier-Stokes eşitlikleri ile bağlantı kurularak çözümlenebilir. Böyle ek denklemler, çoğu zaman yaklaşık bir hesap modeli kullanılarak türetilirler. Özellikle türbülans modelleri buna önemli bir örnek olmaktadır (ANSYS, 2012).

HAD kodlarında kullanılan farklı çözüm yöntemleri de vardır. Bunların en yaygın olanı ve CFX'in temel aldığı yöntemlerden biri olan sonlu hacim yöntemidir. Bu yöntemde, incelenen bölge daha küçük alt bölgelere bölünerek kontrol hacimleri oluşturulur. Her bir kontrol hacmi için denklemler, ayrıştırılarak ve yinelenerek çözülürler. Sonuç olarak; etki alanı boyunca belirli her bir noktadaki değişkenin değeri için bir yaklaşım elde edilebilir. Böylece, akım davranışının resmi tam olarak türetilmiş olur (ANSYS, 2012).

Bu bölümde, kullanılan yazılım hakkında genel olarak bilgi verilmeye çalışılmış olup, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen işlem adımları ve yapılan kabuller ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

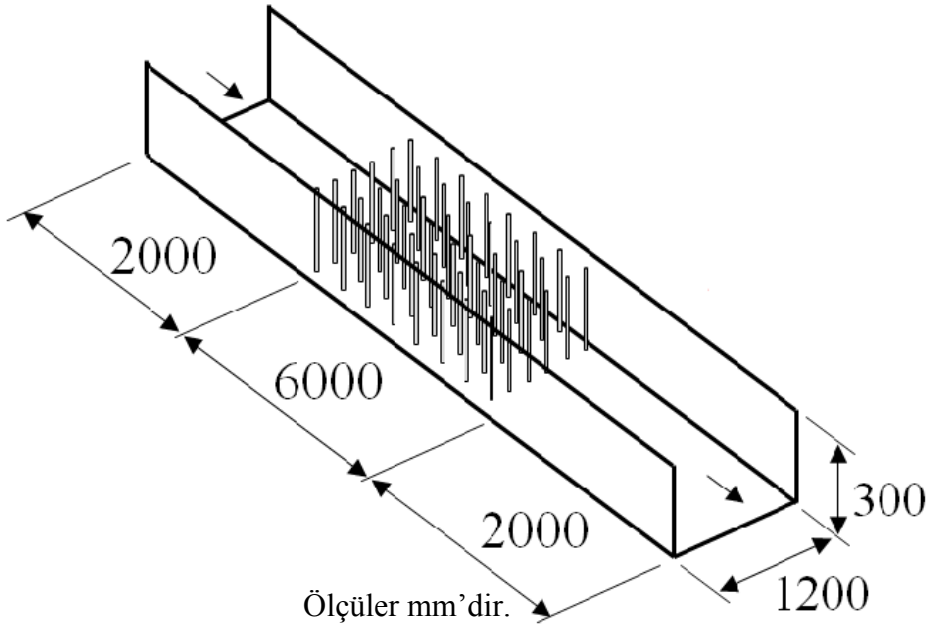
4. DENEYSEL VERİLER

Dorcheh (2007) tarafından yapılmış deneysel çalışma, rijit bitki örtüsü içeren farklı açık kanal tiplerinde akımın hız ve türbülans karakteristikleri incelenmesini kapsamaktadır. Çalışmada dar ve geniş dikdörtgen kanal ve birleşik kesitli bir kanal kullanılmıştır. Ayrıca çalışmasında, birleşik kesitli kanal durumunda taşkın yataklarında tamamen batık bitkilerden oluşan akım durumunu incelemiştir. Dikdörtgen kesitli kanalda iki farklı kanal genişliği kullanmıştır. Bunları dar ve geniş olarak adlandırmıştır. Her iki kanalda da batmış ve batmamış bitkilerden oluşan durumlar için deneyler yapmıştır. Tüm deneylerde az, orta ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü durumlarını ele almıştır.

Yukarıda da bahsedildiği üzere bu tez çalışması kapsamında geniş dikdörtgen bir kanalda batmış ve batmamış bitkilerden oluşan akım durumları için Dorcheh (2007) tarafından gerçekleştirilmiş olan deney verileri kullanılarak ANSYS CFX yazılımı ile çeşitli analizler yapılmış olup, sayısal analiz ile elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılan Kanal Geometrisi ve Özellikleri

Deneyler laboratuvar ortamında, genişliği 1,2 m, boyu 10 m, derinliği 0,3 m, akım derinliği 0,275 m ve boyuna yatak eğimi 0,001 olan çevrimli, dikdörtgen kesitli bir deney kanalında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Bitki örtüsünü temsil eden çubukların çapları sabit ve 24 mm'dir. Çubuk boyları ise batmamış bitki durumu için 300 mm, batmış bitki durumu için ise 180 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm deneylerde debi, 15 l/s olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 4.1. Kanal geometrisinin şematik gösterimi

4.2. Deney Setinin Özellikleri

Dorcheh (2007) çalışmasında, birçok farklı deney setleri oluşturarak çeşitli ölçümler yapmıştır. Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan deney setinin verilerinden bahsedilmiştir. Bu çalışmada; geniş dikdörtgen bir kanalda az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve çok yoğunluklu durumlar için batmış ve batmamış bitki durumlarına göre oluşturulan deney setlerinin verileri kullanılarak analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Geniş dikdörtgen kanal ve özellikleri

Geniş dikdörtgen kanal deneylerinde kanal genişliği 1200 mm, yüksekliği 300 mm'dir. Deneyler batmış ve batmamış rijit bitki durumları için yapılmıştır. Bitki örtüsünü temsilen kullanılan çubuk çapları sabit ve 24 mm çapındadır. Ancak çubuk boyları, batmış durum için 180 mm, batmamış durum için ise 300 mm alınmıştır. Çubuk sayıları ve aralarındaki mesafe bitki yoğunluğuna bağlı olarak ayarlanmıştır. Bitki yoğunluğuna bağlı olarak üç farklı durum incelenmiş olup, bunlar Çizelge 4.1'de tanımlanmıştır. Bitki yoğunluğu, kontrol hacminde öngörülen bitki alanının yine kontrol hacmindeki toplam akım alanına oranıdır. Yoğunluk (λ), Eş. 4.1'de gösterilmiştir.

$$\lambda = \frac{\emptyset}{a_x * a_y} \tag{4.1}$$

Bu denklemde; Ø çubuk çapı (m), a_x akım doğrultusunda çubuklar arasındaki mesafe (m), a_y akım en kesiti yönünde çubuklar arasındaki mesafedir (m).

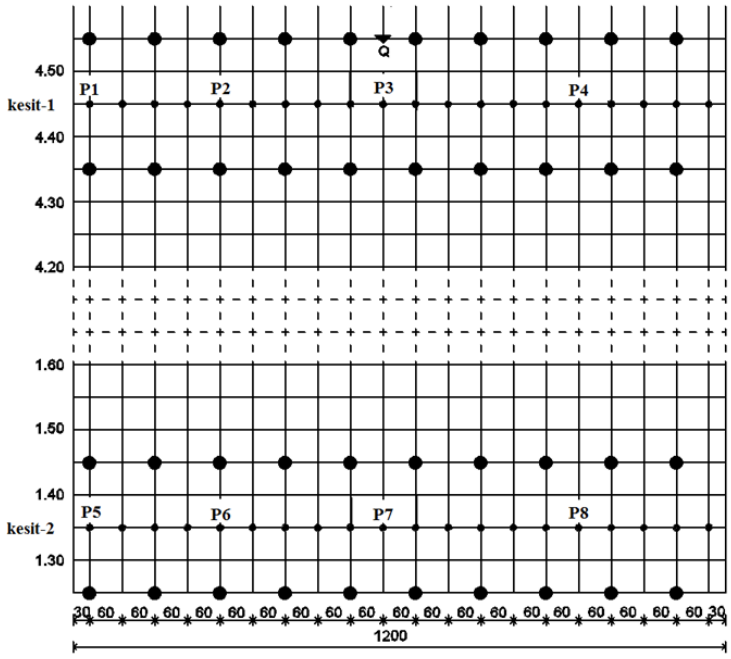
Çizelge 4.1. Bitki yoğunluğuna bağlı çalışılan durumlar

Yoğunluk Durumu	Bitki Yoğunluğu (m^{-1})	a_x (mm)	a_y (mm)	Çubuk Dizilim Özelliği
Yüksek	0,004	100	60	Düzgün Sıralı Simetrik
Orta	0,002	100	120	Şaşırtmalı
Az	0,001	200	120	Düzgün Sıralı

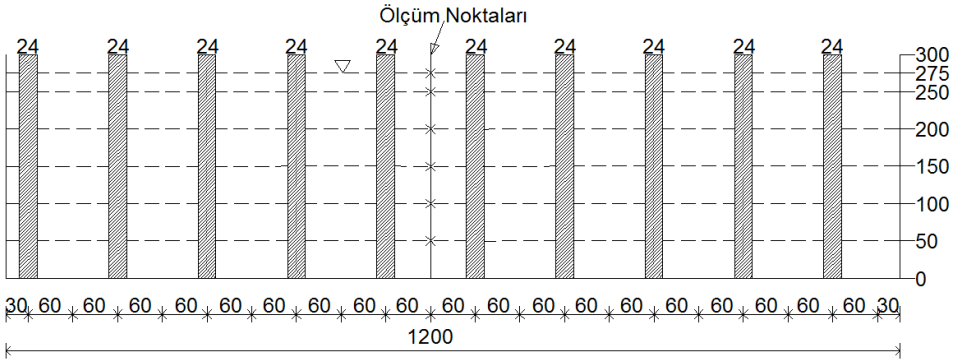
4.3. Ölçüm Cihazı ve Kesitleri

Dorcheh (2007) deneylerinde, tüm kanal en kesiti boyunca nokta hızlarının ölçümü için üç boyutlu Akustik Doppler hız ölçüm (ADV: Acustic Doppler Velocimeter) cihazı kullanmıştır. Hız ölçümlerini, kesit-1 ve kesit-2 olarak belirtilen iki farklı en kesitte gerçekleştirmiştir (Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Bu iki ölçüm kesiti, giriş ve çıkış etkilerini en aza indirmek için kanal boyunca orta uzunluğa yakın bir bölgede seçilmiştir. Kesit-1, bitki örtüsü bitiş bölgesine 4,4 m ve kesit-2 ise 1,4 m mesafede bulunmaktadır. Kanal genelinde ölçüm noktalarını, çubuk aralarında ve arkalarında konumlandırmıştır. Düşey yönde aldığı hız verilerini, kanal tabanının 50 mm üzerinden başlayarak su seviyesine kadar her 50 mm'de bir (50, 100, 150, 200, 250, 275 mm) gerçekleştirmiştir. Tüm kanal en kesiti boyunca noktasal hızların ölçümü için üç boyutlu hız ölçüm cihazı kullanılmış ve her bir noktada ölçüm süresi üç dakika ve ölçüm frekansı 25 Hz olarak ayarlanmıştır.

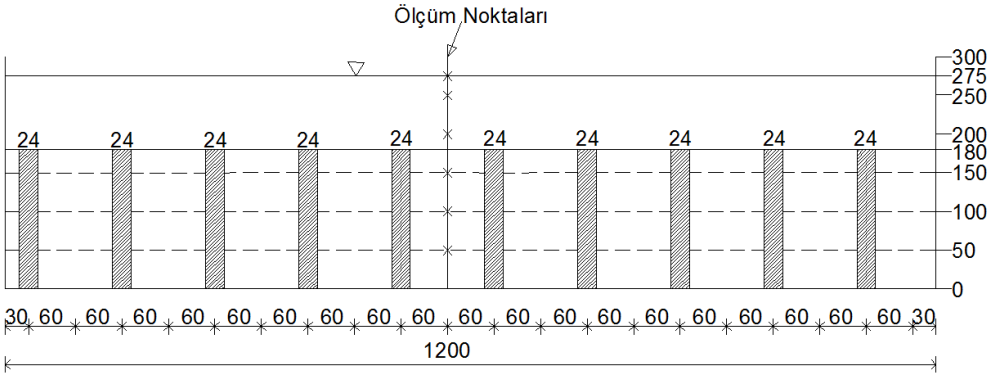
Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmamış ve batmış bitki durumları ve ölçüm noktaları



(a) Çubukların ve ölçüm alınan noktaların planı



(b) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (Batmamış durum)

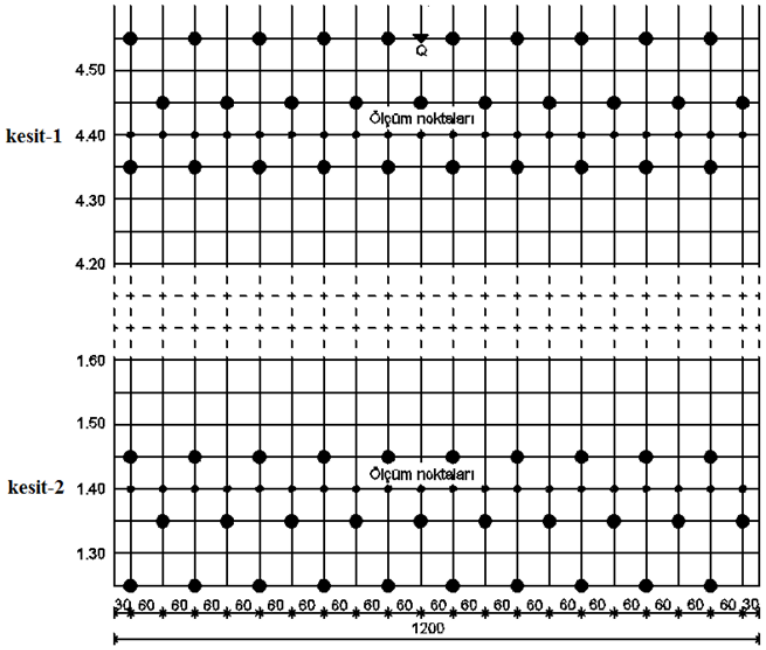


(c) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (Batmış durum)

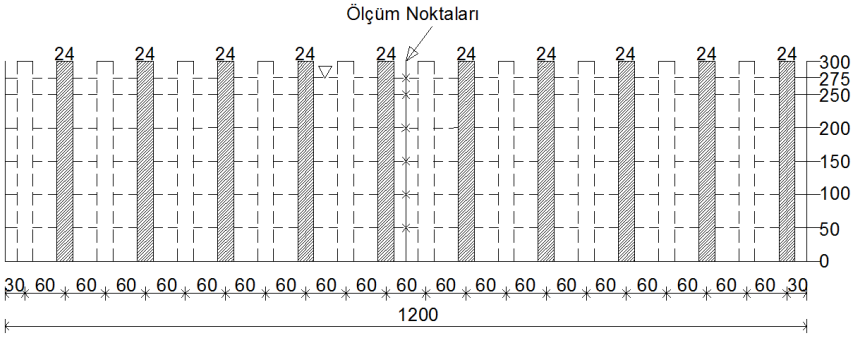
(Ölçüler mm'dir.)

Şekil 4.2. Az yoğunluklu batmamış ve batmış bitkili durumların ölçüm noktaları

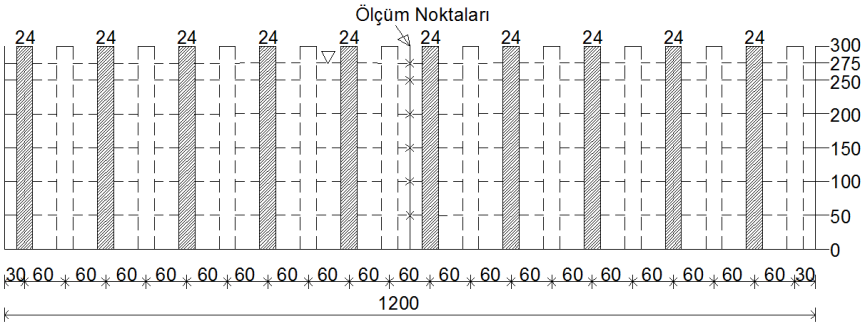
Orta (λ=0,002 m^{-1}) yoğunluklu batmamış ve batmış bitki durumları ve ölçüm noktaları



(a) Çubukların ve ölçüm alınan noktaların planı



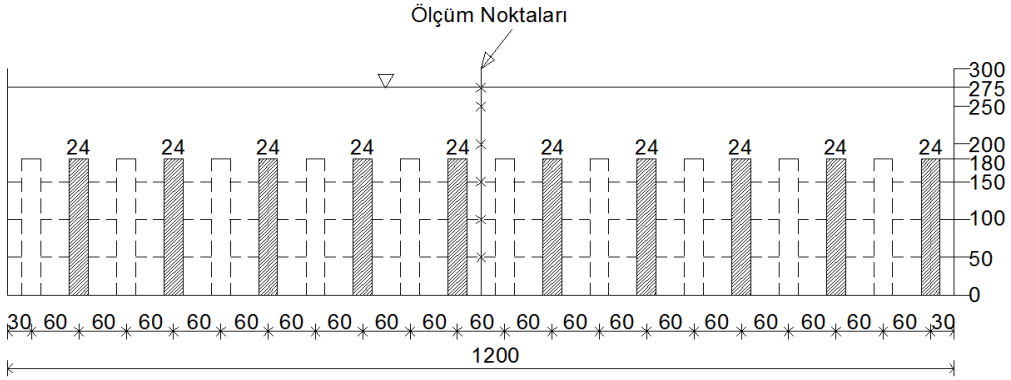
(b) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (En kesit A)



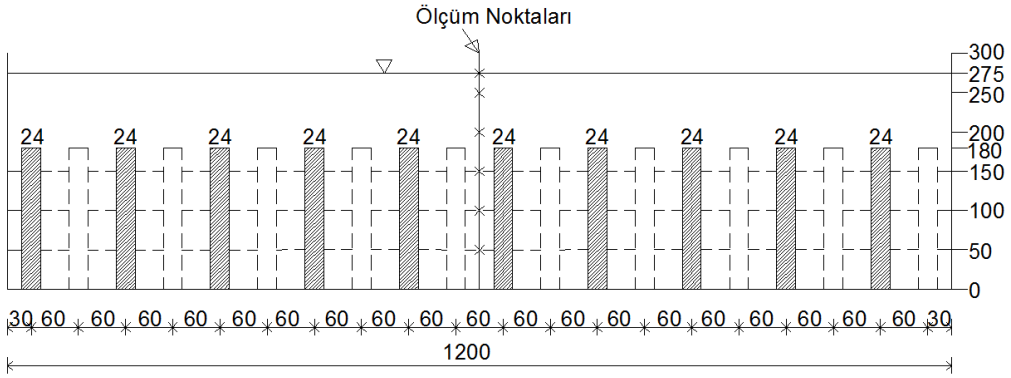
(c) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (En kesit B)

(Ölçüler mm'dir.)

Şekil 4.3. Orta yoğunluklu batmamış bitkili durumların ölçüm noktaları



(a) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (En kesit A)

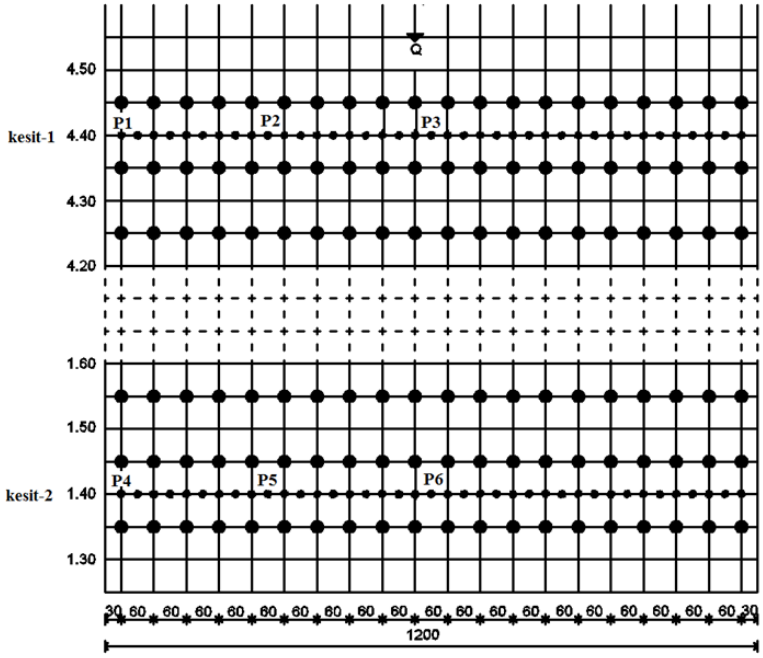


(b) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (En kesit B)

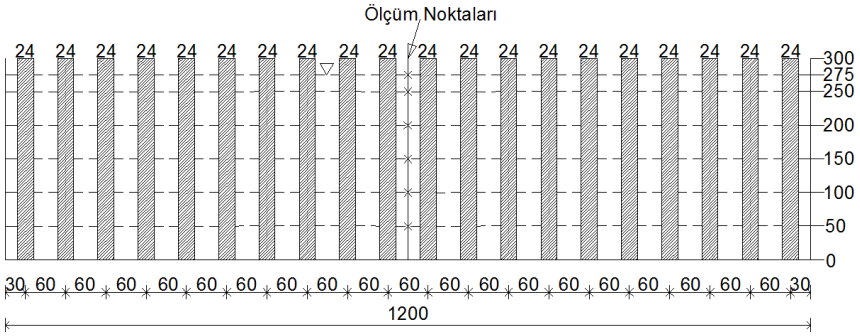
(Ölçüler mm'dir.)

Şekil 4.4. Orta yoğunluklu batmış bitkili durumların ölçüm noktaları

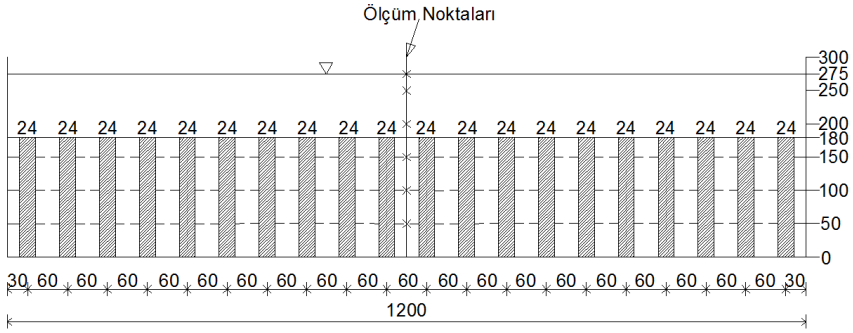
Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmamış ve batmış bitki durumları ve ölçüm noktaları



(a) Çubukların ve ölçüm alınan noktaların planı



(b) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (Batmamış durum)



(c) Kanalın ve ölçüm noktalarının enine kesiti (Batmış durum)

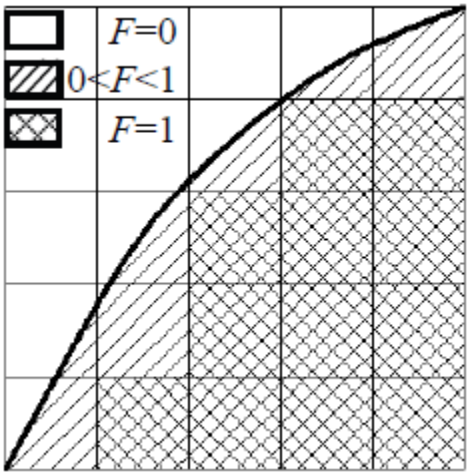
(Ölçüler mm'dir.)

Şekil 4.5. Yüksek yoğunluklu batmamış ve batmış bitki durumlarının ölçüm noktaları

5. SAYISAL MODEL

Bu tez çalışmasında bitki örtüsü içeren açık kanal akımı, ANSYS CFX yazılımı ile modellenmiştir. Bu yazılım ile birden fazla akışkanın bulunduğu çok fazlı akım modeli oluşturulabilmektedir. Açık kanal akımı da çok fazlı akım problemi olarak ele alınabilir. Burada su (sıvı fazı) ve havanın (gaz fazı) bulunduğu bir hacim ve iki faz arasında serbest hareket edebilen bir ara yüzey bulunmaktadır. Bu ara yüzey, genellikle şekli belirlenmek istenen problem özelliklerinden biridir. ANSYS CFX çok fazlı akım probleminin çözümünde homojen ve homojen olmayan çoklu akım modeli kullanır (ANSYS, 2009). Bu çalışmada açık kanal akımı için homojen çoklu akım modeli kullanılmıştır. Bu model ayrıca bir çeşit "Volume of Fluid, VOF" yöntemi olarak değerlendirilir (Stenmark, 2013). Homojen modelde, fazlar arasındaki ara yüzey sürekliliğini korur. Homojen olmayan modelde ise fazlardan biri parçalanıp diğer fazın içinde yer alabilir.

Sıvı ile havanın ara kesitindeki serbest su yüzünün bulunması durumunda sıvı hareketinin sayısal çözüm modelinde "Akışkan Hacimleri Yöntemi" (Volume of Fluid, VOF) güvenilir bir teknik olarak kullanılmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). Bu yöntem hesaplama ağında, sıvı ile havanın ara kesitindeki ağ elemanlarının hacimsel doluluk oranını esas almaktadır. Yöntemde sayısal hesaplama ağına belirli zaman aralıklarında giren sıvının eleman hacmini doldurma oranları belirlenir ve seçilmiş zaman adımlarında akımın serbest yüzeyindeki profil hesaplanarak süreç tekrarlanır. Hacimsel doluluk oranını temsilen F=1 için ağ elemanı sıvı ile tam dolu, F=0 için boş (hava ile dolu) ve 0<F<1 için sıvı ile kısmen dolu kabul edilmektedir (Şekil 5.1). Ayrıca sürecin her bir zaman adımında hesaplama ağı içerisindeki akım yüzeyinin konumu tespit edilebilmektedir.



Şekil 5.1. Ağ elemanlarının doluluk oranı

Akışkan hacimleri yöntemi ile serbest su yüzünün hesaplanmasında "Geo-Reconstruct" yaklaşımı kullanılmıştır (ANSYS, 2008). Bu yaklaşıma göre, öncelikle, kısmen dolu her bir hücrenin, doluluk oranı ve onun türevleri ile ilgili bilgilere dayanılarak, hava-su doğrusal ara yüzünün hücre ağırlık merkezine göre yeri belirlenir. Bir sonraki adımda, hesaplanmış doğrusal ara yüzün yeri ve eleman yüzeylerinde hesaplanmış normal ve teğetsel hız bilgileri kullanılarak her bir eleman yüzeyinden taşınan akışkan miktarları hesaplanır. Son olarak, bir önceki adımda hesaplanan akışkan miktarları göz önüne alınarak, süreklilik denklemi ile her bir hücrenin hacimsel doluluk oranı hesaplanır (Gümüş ve diğerleri 2013).

Sayısal modelde kullanılan ve akımı tanımlayan ana denklemler aşağıda tanımlanmıştır:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla.(\rho \boldsymbol{U}) = 0 \tag{5.1}$$

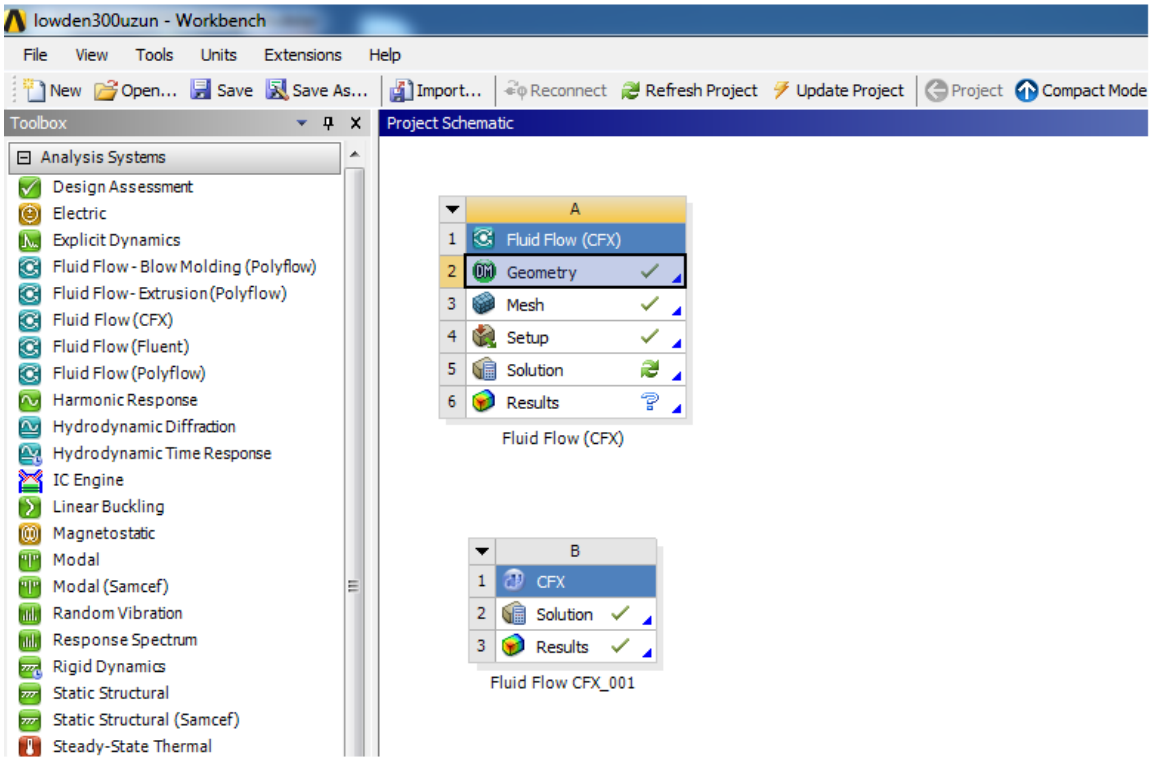
$$\frac{\partial (\rho \boldsymbol{U})}{\partial t} + \nabla.(\rho \boldsymbol{U} \otimes \boldsymbol{U}) = -\nabla p + \nabla.\boldsymbol{\tau} + S_M \tag{5.2}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \mu\left(\nabla \boldsymbol{U} + (\nabla \boldsymbol{U})^T - \frac{2}{3}\boldsymbol{\delta}(\nabla.\boldsymbol{U})\right) \tag{5.3}$$

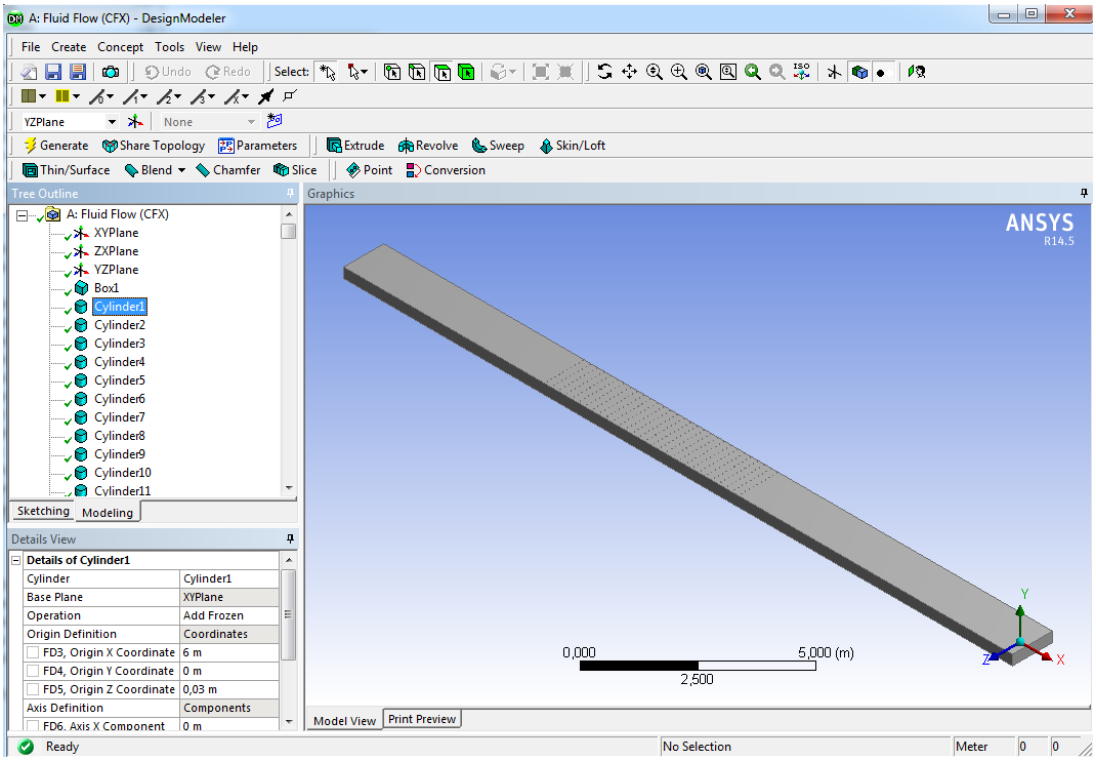
Burada, ρ yoğunluk, ∇ gradyan operatörü, $\boldsymbol{U}$ hız vektörü, t zaman, $\boldsymbol{\tau}$ gerilme tensörü, S_M kaynak terimi, μ viskozite, $\boldsymbol{\delta}$ birim matris olarak tanımlanmaktadır. Eş. 5.1 süreklilik denklemini, Eş. 5.2 ise momentumun korunumunu ifade etmektedir (ANSYS, 2009).

5.1. Problem Geometrisi ve Çözüm Ağı Özellikleri

Deneylerde kullanılan açık kanal geometrisinin bilgisayardaki çizimi, Resim 5.1'de görülen "*ANSYS Workbench"* ara yüzünde yer alan "*Design Modeler*" bölümünde oluşturulmuştur. Bu bölümde farklı uzunluklarda üç boyutlu dikdörtgen kanal ve silindirik çubuklar oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin bir örneği Resim 5.2'de gösterilmiştir.

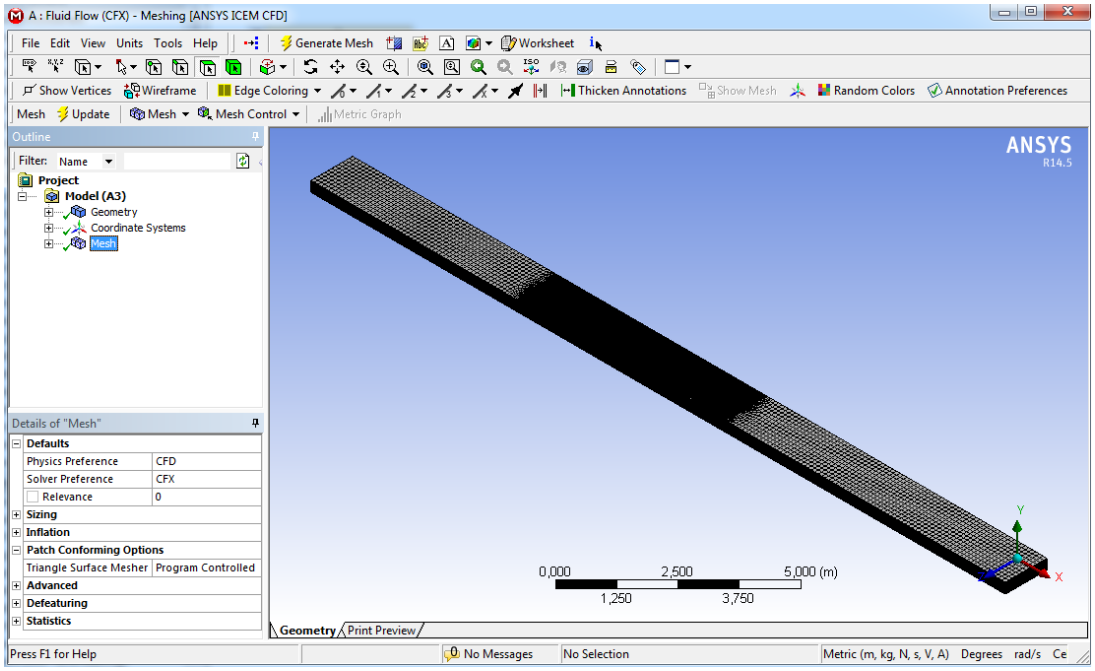


Resim 5.1. ANSYS yazılımının "Workbench" ara yüzü



Resim 5.2. ANSYS yazılımının “Design Modeler” bölümü

Çözüm ağı “ANSYS Workbench” ara yüzündeki “Meshing” bölümü kullanılarak oluşturulmuştur (Resim 5.3). Bu bölümde yazılım, geometriye uygun bir çözüm ağını otomatik olarak oluşturabilmektedir. Program ayrıca, çözüm ağının oluşturulması sırasında temel eleman şekli ve boyutu gibi parametrelerin kullanıcı tarafından tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Çözüm ağını oluşturan kontrol hacimlerinin geometrik yapısı için üç yüzlü, dört yüzlü ve altı yüzlü ağ elemanları tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada daha önce yapılmış olan analiz sonuçları dikkate alınarak geometrisi dört yüzlü yapıdaki çözüm ağlarının kullanımı tercih edilmiştir.



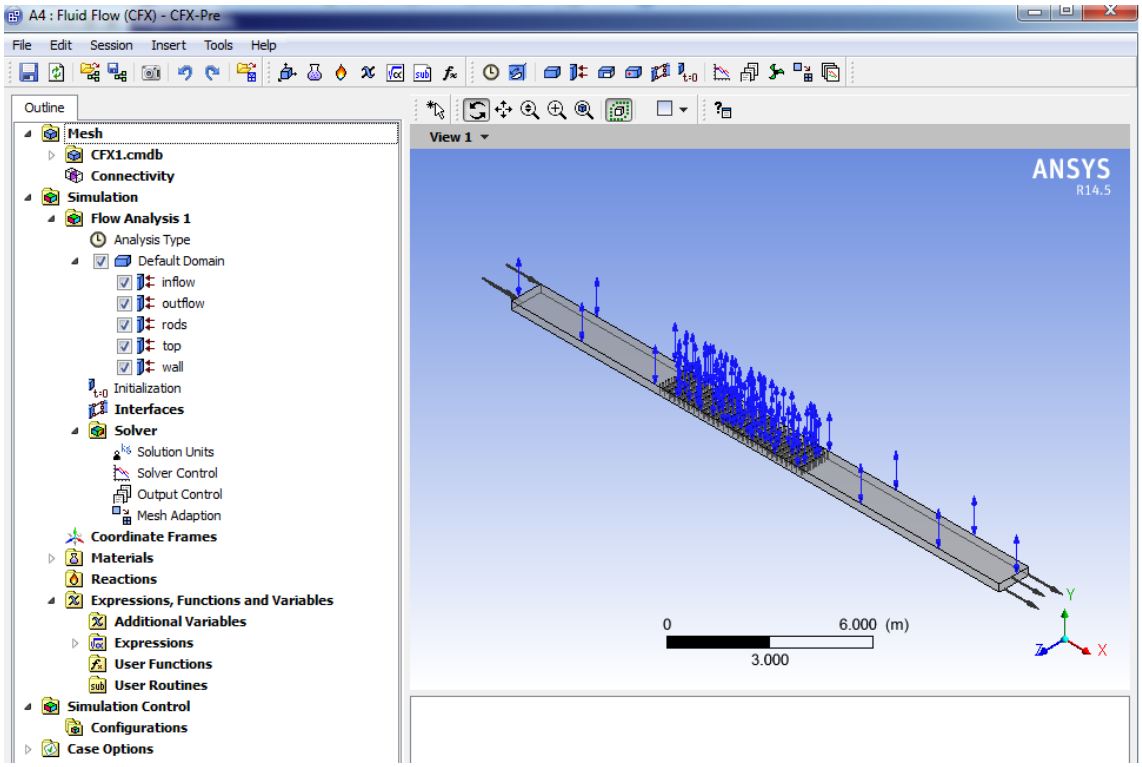
Resim 5.3. ANSYS yazılımının "Workbench" ara yüzündeki "Meshing" bölümü

5.2. Başlangıç ve Sınır Şartları

Probleme özel başlangıç ve sınır şartları "ANSYS Workbench" ara yüzündeki "CFX-Pre" bölümünde oluşturulmuştur (Resim 5.4). ANSYS CFX yazılımında akım giriş ve çıkış sınır şartı olarak "normal hız", "kartezyen hız bileşenleri", "silindirik hız bileşenleri", "kütlesel debi akım hızı", "toplam basınç" ve "statik basınç" değeri seçilebilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan deneysel verilerden yola çıkarak kanal giriş sınır şartı olarak normal hız şartı seçilmiş ve sınırdan geçen akımın hızı 0.045 m/s olarak alınmıştır. Kanal çıkış sınır şartı ise statik basınç olarak tanımlanmıştır. ANSYS CFX yazılımı hız ve basınç içeren çeşitli giriş-çıkış sınır şartı tanımlamalarına olanak sağlamaktadır. ANSYS CFX Solver Modeling Guide (2009) tarafından giriş sınır şartının hız, çıkış sınır şartının statik basınç olarak tanımlandığı durumun sayısal çözüm açısından en stabil sınır şartı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca aynı referansta statik basınç şartının kullanılacağı sınırın çevrimsel akım olan bir bölgede olması durumunda çözümde yakınsama probleminin de olabileceği belirtilmektedir.

Mevcut durumda kanal çıkış bölgesi, kanal içindeki rijit çubuklara belirtilen probleme yol açmayacak uzaklıkta yer almaktadır. Kanal yan duvarı, taban sınır şartı ve silindir duvarları için yazılımda "Free Slip Wall", "No Slip Wall", "Specified Shear" ve duvar pürüzlülüğü

için “Rough Wall” ile “Smooth Wall” seçenekleri bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan deney verilerine göre kanal yan duvarı, taban sınır şartı ve silindir duvarları için “No Slip Wall”, duvar pürüzlülüğü için “Smooth Wall” sınır şartı kullanılmıştır. *k-ε* türbülans modelinde kullanılacak olan “Intensity Length Scale” Eddy uzunluk parametresi için giriş su yüksekliği olan 0,275 m kullanılmıştır.



Resim 5.4. ANSYS yazılımının “CFX-Pre” bölümü

Türbülans modelleri, tüm ölçeklerdeki en küçük türbülans dalgalanmalarının çözümünü yapmadan akışkan akımı içindeki türbülans efektlerini tahmin etmek için kullanılır. Modellerin birçoğu, Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemlerine dayalı olarak yaklaşık türbülans tahmini için kullanılabilecek şekilde geliştirilmiştir. Modeller, Eddy-viscosity ya da Reynolds stress modeli olarak sınıflandırılabilir. CFX aynı zamanda Large Eddy Simulation (LES) ve Detached Eddy Simulation (DES) türbülans modellerini de sağlamaktadır. Ancak, bu sınıftaki türbülans modelleri RANS eşitliklerine dayalı değildir (ANSYS, 2012).

Türbülans modellerinden en yaygın olarak kullanılanlar *k-ε* modeli, *k-ω* modeli ve *q-ω* modelleridir. İki denklemli türbülans modelleri olarak anılan bu modeller, kütle ve momentum (ve ayrıca çözülmesi gerekiyorsa enerji) denklemleri ile aynı anda çözülmesi gereken iki adet ek taşınım (transport) denklemini oluşturur. Bir türbülans modeli kullanıldığında, çözülmesi gereken ilave bu iki taşınım denklemleri ile birlikte, giriş ve çıkıştaki türbülans özellikleri için ilave iki adet ek sınır şartı da belirtilmelidir.

k-ε modelinde "*k*" (türbülans kinetik enerjisi), hızdaki dalgalanma değişimlerini tanımlamakta olup boyutu (L^2T^{-2})'dir. "*ε*" (türbülans sönüm hızı) ise hız dalgalanmalarındaki yayılım oranını belirtmekte olup boyutu (L^2T^{-3})'tür (ANSYS, 2012).

k-ε modeli sistem denklemlerinin içine iki farklı taşınım denklemi getirir. Süreklilik denklemi Eş. 5.4'te, momentum denklemi de Eş. 5.5'te gösterilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_j\right) = 0 \tag{5.4}$$

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_i U_j\right) = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu_{eff}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\right] + S_M \tag{5.5}$$

Burada; S_M: cisme etkiyen dış kuvvetlerin toplamı

μ_{eff}: türbülans etkili viskozite hesabı

ṕ: modifiye basıncı ifade etmektedir.

k-ε modeli, eddy-viscosity modellerinden biridir (Eş. 5.6).

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \tag{5.6}$$

Burada, μ_t türbülans viskozitesidir. *k-ε* modeli, türbülans viskozitesinin türbülans kinetik enerjisi ve yayılım ile ilişkili olduğunu varsaymaktadır (Eş. 5.7).

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{5.7}$$

Burada; C_μ: *k-ε* türbülans model sabitidir.

Türbülans kinetik enerjisi ve türbülans yayılım oranı için "*k*" ve "*ε*" değerleri doğrudan doğruya diferansiyel taşınım denklemlerine yazılır (Eş. 5.8 ve Eş. 5.9).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_j k\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + P_k - \rho\varepsilon + P_{kb} \tag{5.8}$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho U_j\varepsilon\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial_\varepsilon}{\partial x_j}\right]+\frac{\varepsilon}{k}(C_{\varepsilon1}P_k+C_{\varepsilon2}\rho\varepsilon+C_{\varepsilon1}P_{\varepsilon b}) \quad (5.9)$$

Burada; $C_{\varepsilon1}$, $C_{\varepsilon2}$, σ_ε ve σ_k *k-ε* türbülans model sabitidir. P_{kb} ve $P_{\varepsilon b}$ ise yüzdürme kuvvetlerinin etkilerini temsil etmektedir. P_k, viskoz kuvvetlerin etkisiyle türbülans tarafından üretilir (Eş 5.10).

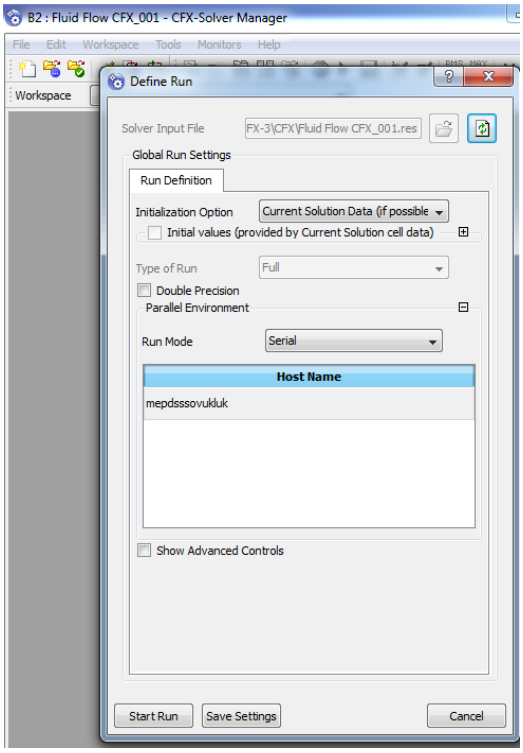
$$P_k=\mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial x_j}-\frac{2}{3}\frac{\partial U_k}{\partial x_k}\left(3\mu_t\frac{\partial U_k}{\partial x_k}+\rho k\right) \quad (5.10)$$

k-ε modeli en genel amaçlı HAD (CFD) kodları içinde uygulanmakta ve standart model olarak da kabul edilmektedir. *k-ε* türbülans modelinin stabil, sayısal olarak güçlü ve tahmin yeteneği iyi kurulmuş bir rejime sahip olduğu kanıtlanmıştır. *k-ε* türbülans modelindeki gibi standart iki denklem modelleri, mühendisliğin ilgilendiği birçok akım için iyi tahminler verirken, sınır tabakası ile ayrılmış akımlar, ortalama gerilme oranında ani değişimler olan akımlar, girdaplı akımlar ve eğik yüzeylerdeki akımlar için uygun olmamaktadır. Ayrılmış akımlar için SST modeli daha uygun olabilirken, gerilme oranında ani değişimler olan akımlar ya da dönen akımlar için Reynolds stress modeli daha uygun olabilmektedir (ANSYS, 2012).

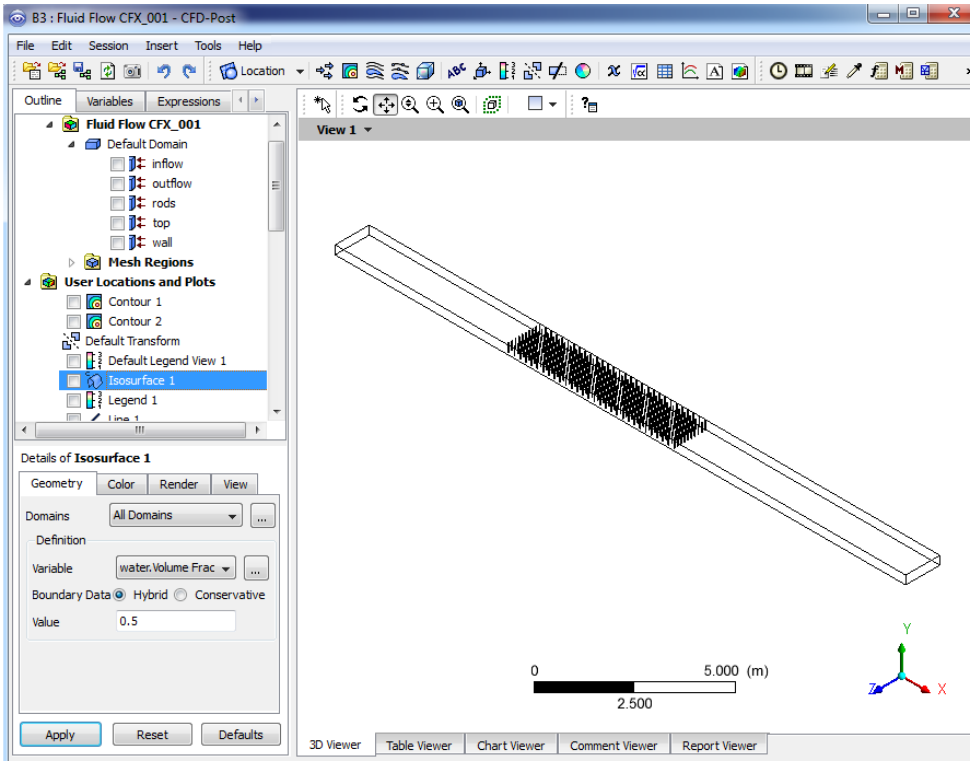
5.3. Analizin Başlatılması ve Sonuçların Görüntülenmesi

Başlangıç ve sınır şartlarının belirlenmesi sonrasında "ANSYS Workbench" ara yüzündeki "Solution" bölümünde "Solver Manager" penceresi açılarak analize dayalı iterasyonlar başlatılmıştır (Resim 5.5).

Sınır şartları, geometrik ve hidrolik özelliklerin tanımlanmasından ve iterasyon işleminin tamamlanmasından sonra ANSYS CFX programındaki model grafik ara yüzü olan "CFD-Post" bölümünde, kullanıcının belirlediği bir noktada veya bir kesitte sonuçlar grafik olarak çizilebilmektedir (Resim 5.6).



Resim 5.5. ANSYS yazılımının “Solver Manager” penceresi



Resim 5.6. ANSYS yazılımının “CFD-Post” bölümü

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında birçok farklı senaryo uygulanarak analizlerin olabildiğince çeşitlendirilmesi sağlanmıştır. Bu maksatla batmamış bitkili akım durumları için Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te gösterilen senaryolar ile batmış bitkili akım durumu için Çizelge 6.4, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da gösterilen senaryolar, ANSYS CFX programında oluşturularak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yapılan çalışmaların takibinin kolaylığı açısından her bir analize senaryo numarası verilmiştir. Bu çalışmada, verilen senaryo numarasına göre isimlendirme yapılarak analizler detaylandırılmıştır.

Dorcheh (2007) deneylerinde kanal uzunluğunu 10 m, su yüksekliğini 0,275 m, çubuk boyunu batmamış bitkili akım için 0,3 m, batmış bitkili akım için ise 0,18 m, silindirik çubuk çapını 0,024 m ve debiyi 15 l/s olarak almıştır.

Bu bölümde, Dorcheh'in (2007) temel deneysel verileri sabit kalacak şekilde farklı uzunluktaki kanal alternatifleri üzerinde durulmuştur. Bunun sebebi akım başlangıcında oluşabilecek düzensizliklerin analiz sonuçlarını nasıl etkilediğini ve deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş olan hız değerleri ile sayısal analiz sonucu elde edilen hızların ne oranda farklılık göstereceğini belirlemektir.

Analiz sonuçlarına genel olarak bakıldığında bazı senaryoların hata verdiği görülmüştür. Bu senaryoların analizi sırasında yazılımın "Hata-2" (Error code 2) koduyla iterasyonları sonlandırdığı gözlenmiştir. Bu hata kodu araştırıldığında bunun birçok nedeninin olabileceği sonucuna varılmıştır. Bilgisayarın işletim sistemi ile ilgili problemlerin oluşması, kapasite yetersizliği, çözüm ağı karmaşıklığı gibi nedenlerden kaynaklı hataların oluştuğu düşünülmektedir.

Ayrıca; deney kanallarında çeşitli akım düzenleyicileri ile akımın düzenlenmesi bu tür yazılımlarda kanal boyunun uzatılması ile sağlanabildiğinden akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanal senaryolarının deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği, kanal boyunun uzatılmadığı senaryolarda akım girişinde oluşan düzensizliklerden dolayı yazılımın bu bölgeyi çözümleyemeden hata verdiği gözlenmiştir.

6.1. Batmamış Bitki İçeren Akım Durumu

6.1.1. Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu (senaryo: S1-S2-S3-S4)

Çizelge 6.1. Az yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu senaryoları

Senaryo No	Kanal Geometrisi Özellikleri	Çözüm Ağı Yapısı Çubuk Sayısı	Sonuç
S1	Orijinal Kanal (deney) L= 10 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Çubuk sayısı: 300 adet	Yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır. Çözüm ağının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Ağ yapısı daha ayrıntılı incelenmelidir.
S2	Girişi uzun kanal L= 14 m		
S3	Girişi kısa kanal L= 16 m	Eleman yapısı: dörtgen Eleman boyutu: 0,1 m Çubuk sayısı: 300 adet	Çözüm ağı yapısının ve eleman boyutlarının çeşitlendirilerek analizlerin çoğaltılması ile daha ayrıntılı irdelemeler yapılabilir.
S4	Uzatılmış kanal L= 20 m	Eleman yapısı: dörtgen Eleman boyutu: mesh-1 = 0,5 m mesh-2:= 0,1 m Çubuk sayısı: 300 adet	Az yoğunluklu batmamış bitki durumu için çalışılmış olan senaryolardan S4 senaryosu, deney sonuçlarına en yakın hız değerlerini vermiştir.

<u>S1: 10 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal</u>

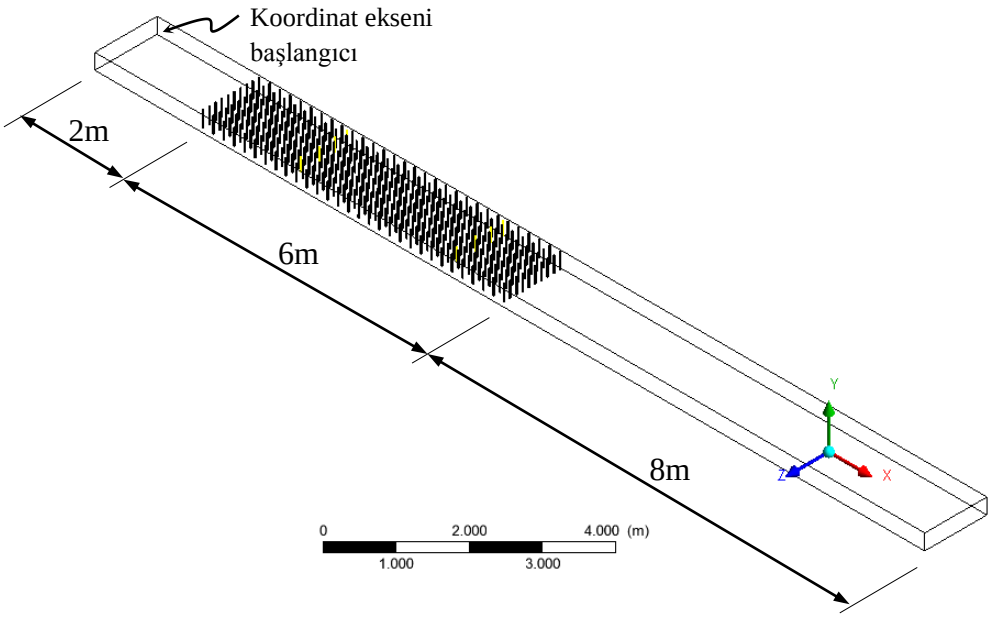
Dorcheh'in (2007) deneysel verileri birebir korunmuştur. Burada, 10 m uzunluğunda dikdörtgen bir kanal oluşturulmuştur. Kanal başlangıcının 2 m mansabından itibaren 300 adet çubuk yerleştirilmiş ve ANSYS yazılımının çözüm ağı yapısını otomatik olarak oluşturması sağlanmıştır. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

S2: Uzun girişli 14 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

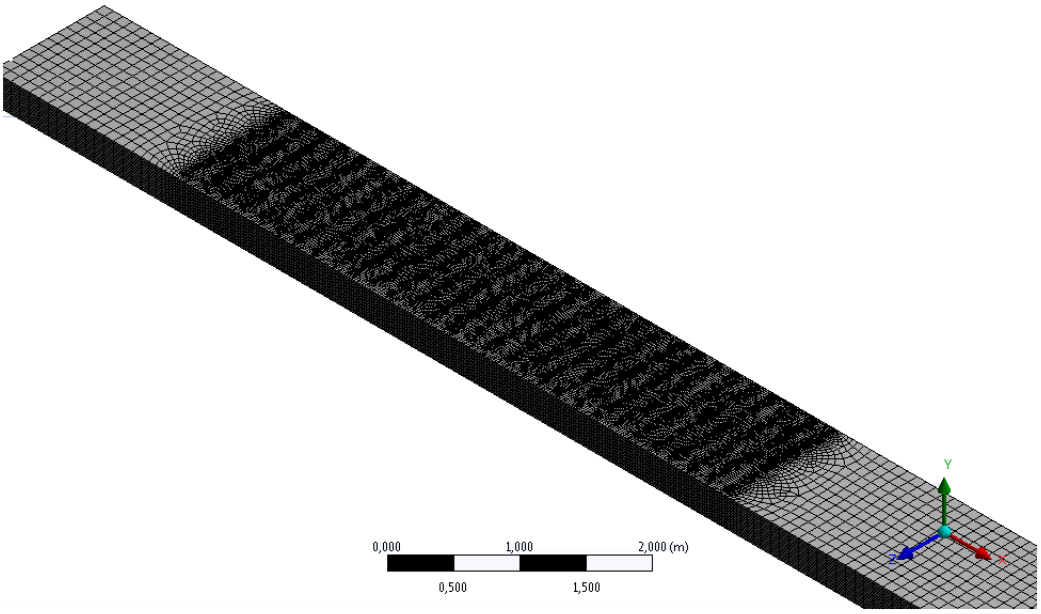
Burada 14 m uzunluğunda fiktif bir dikdörtgen kanal oluşturulmuştur. Kanal geometrisi, S1 senaryosundan biraz daha uzun planlanmıştır. Bu nedenle kanal başlangıcına 2 m kanal sonuna ise 2 m ilave yapılarak kanal 14 m'ye çıkarılmıştır. Böylece çubuklar (300 adet) kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren konumlandırılacak şekilde yerleştirilmiştir. Çözüm ağı, bir önceki senaryoda olduğu gibi ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

S3: Kısa girişli 16 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Burada 16 m uzunluğunda fiktif bir dikdörtgen kanal oluşturulmuştur. Kanal geometrisini, akım girişinin deneydeki kadar olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 2 m mansabından itibaren 300 adet çubuk yerleştirerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın deney setindekinden daha uzun olacak şekilde yani 8 m olması sağlanmıştır (Şekil 6.1). Çözüm ağı için daha önce yapılmış olan çalışmalardaki tecrübelerden yola çıkarak ANSYS yazılımının "meshing" bölümünde eleman boyutu 0,1 m ve eleman şekli dörtgen (quadratic) olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 6.2). Çözüm ağı 580 412 adet elemana sahip olmuştur. ANSYS CFX, çözüm sırasında su ve hava birleşim bölgelerinde daha iyi bir ara yüzey oluşturmak için sonlu elemanlar ağını sıklaştırmaktadır. Bunun sonucunda ağ iyileştirmesi sonrası çözüm ağı 5 228 121 adet elemana sahip olmuştur.



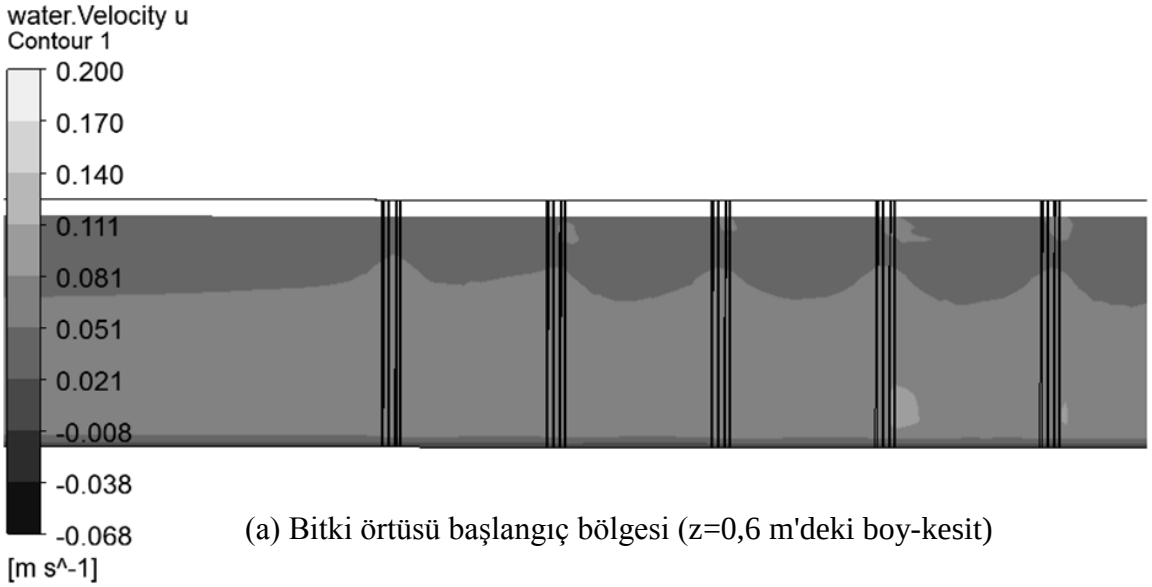
Şekil 6.1. Kısa girişli kanal geometrisi



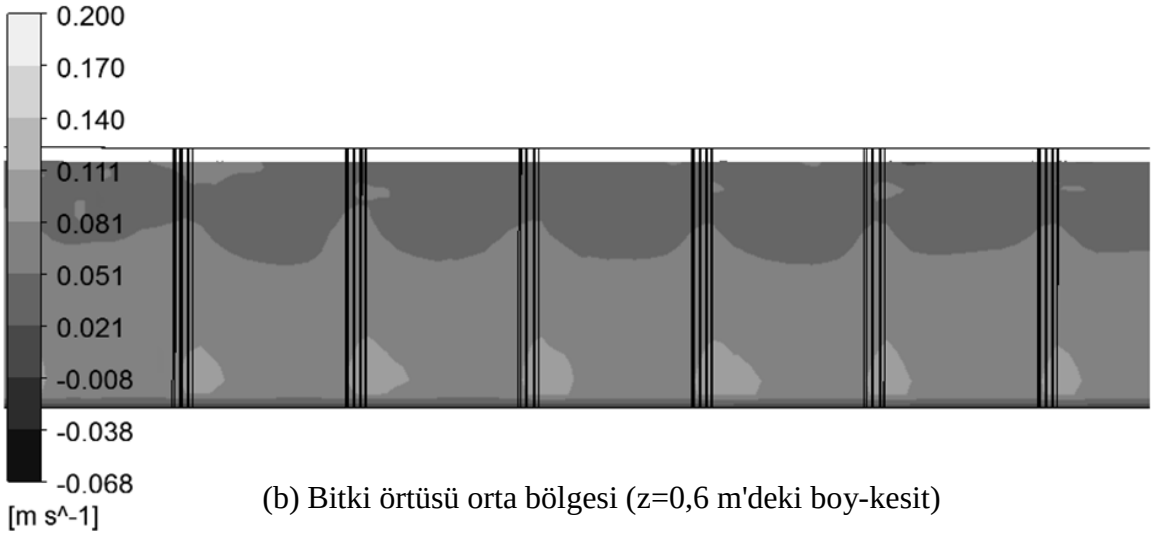
Şekil 6.2. Kısa girişli kanalın çözüm ağı

Sayısal modelden elde edilen kanal boyuna yönündeki hız sonuçları kanal ekseni merkezinden geçen z=0,6 m'deki bir boy kesit üzerinde gösterilmiştir. Boyuna yöndeki profilin uzun olması nedeniyle sonuçlar, üç kısımda; kanalda bitki başlangıç bölgesinde, bitki orta bölgesinde ve bitki örtüsünün bittiği bölgede ayrı olarak çizilmiştir. Şekil 6.3-a'da bitki örtüsünün başlangıç bölgesinde giriş hızı olan 4,5 cm/s hızın, ilk çubukta 2 cm/s

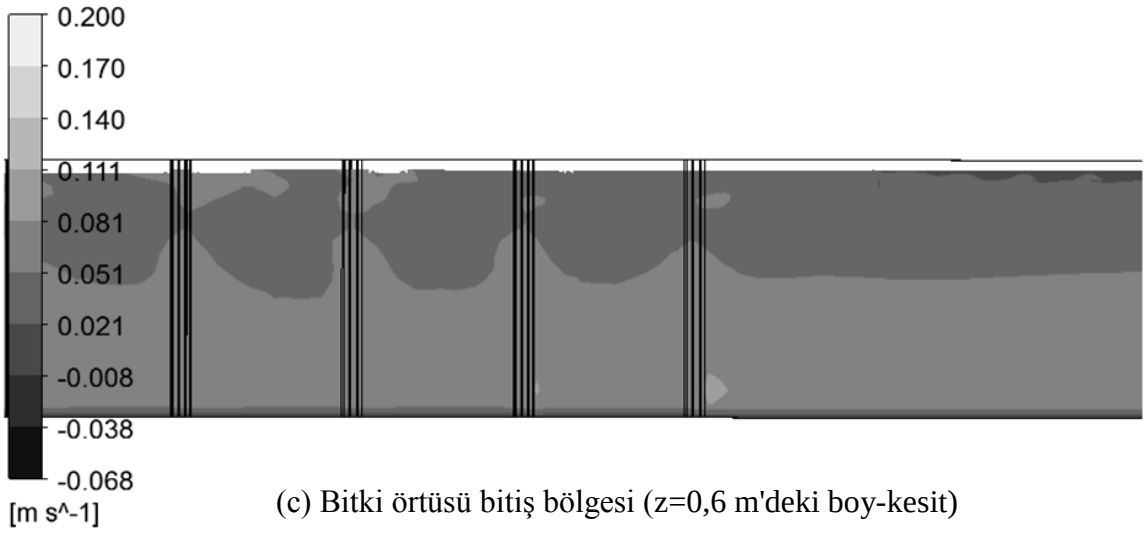
seviyesine düştüğü ve su yüzeyine yakın negatif değerler aldığı görülmektedir. Bitki örtüsü orta bölgesinde ise tabana ve rijit silindirlere yakın bölgede hızın artarak 11 cm/s ve 17 cm/s seviyesinde olduğu, su yüzeyine yakın bölgelerde ise hızın sıfıra yakın negatif değerler aldığı görülmektedir (Şekil 6.3-b). Bitki örtüsünün son bölümünün gösterildiği Şekil 6.3-c'de tabana yakın bölgede 8 cm/s, yüzeye yakın bölgelerde ise 2 cm/s mertebesinde hızlarla suyun bu bölgeyi terk ettiği görülmektedir.



(a) Bitki örtüsü başlangıç bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)



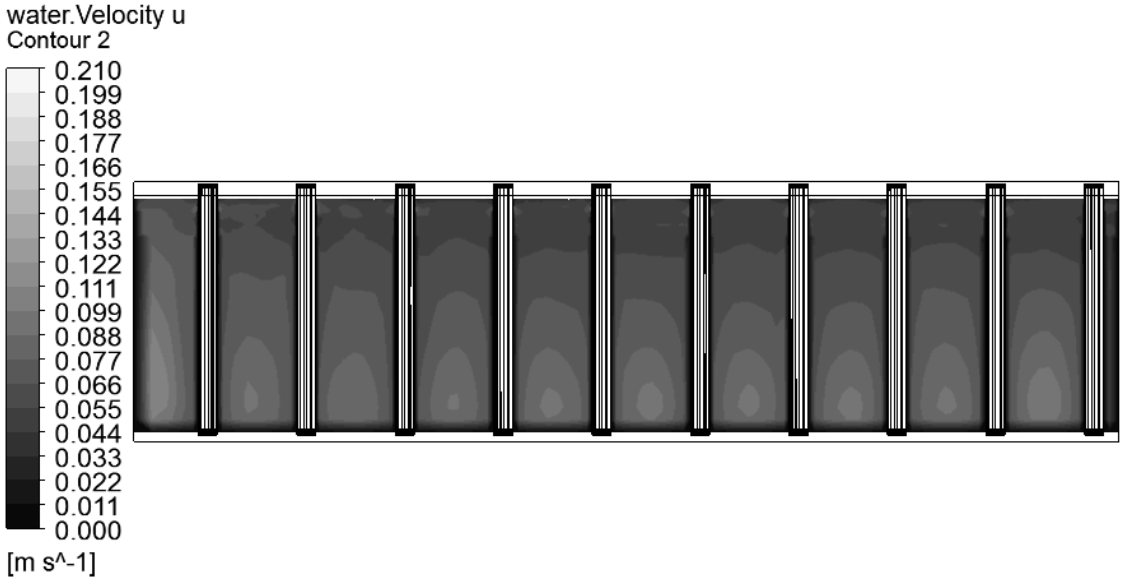
(b) Bitki örtüsü orta bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)



(c) Bitki örtüsü bitiş bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

Şekil 6.3. Kısa girişli kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi

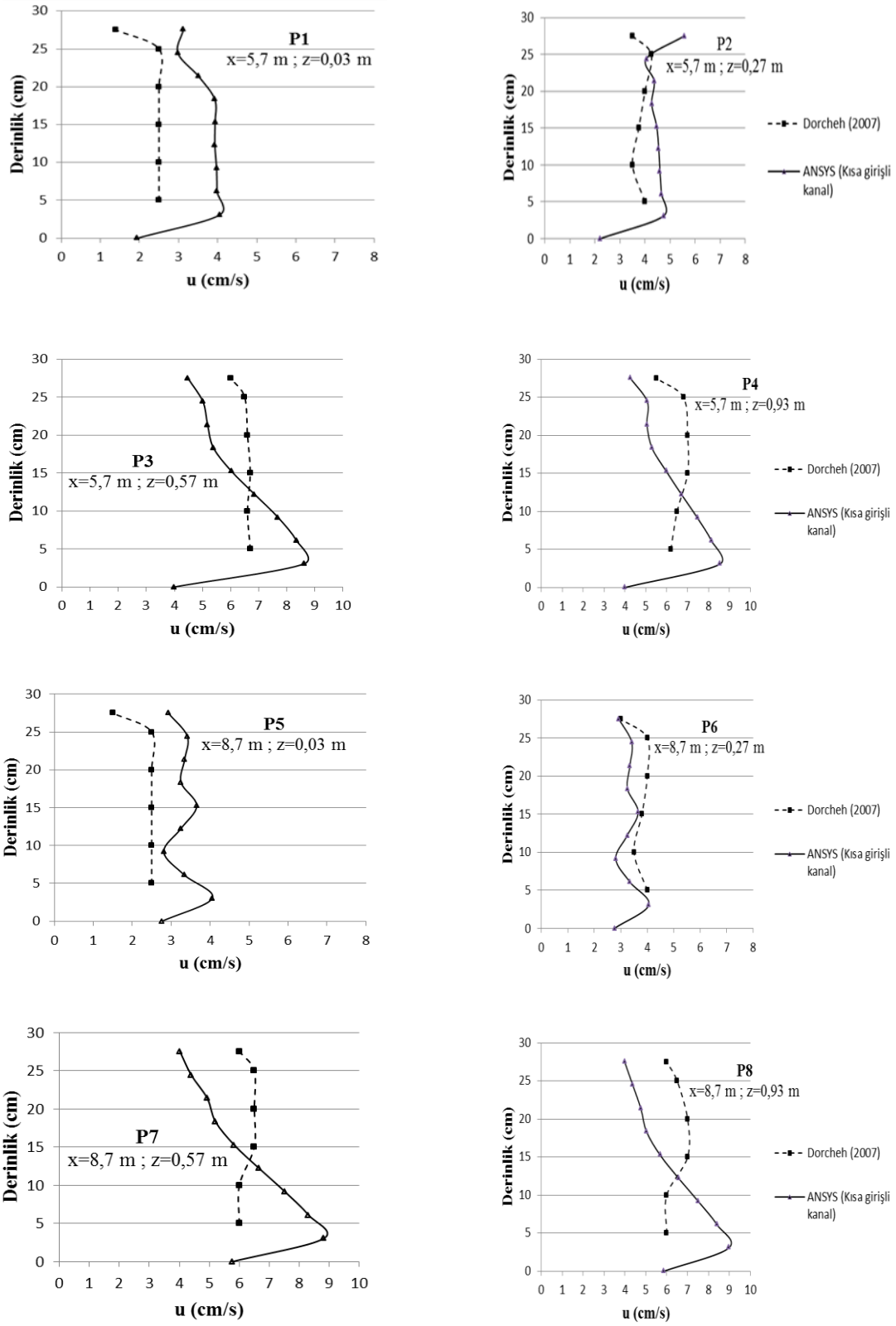
x=9 m'den geçen kanal en kesitindeki boyuna doğrultudaki hız dağılımı Şekil 6.4'te görülmektedir. Bu kesit tam olarak çubukların merkezinden geçmektedir. Kanal kenarlarında geometrinin simetrik olmaması nedeniyle simetrik olmayan bir hız dağılımı gözlenirken, iç bölgelerde simetriğe yakın bir hız dağılımı bulunmaktadır. Çubuk aralarında, kanal tabanında sıfır olan hız tabana yakın bölgede 15 cm/s mertebesine çıkmakta, derinlik azaldıkça 3 cm/s mertebesine düşmektedir. Çubuk kenarlarında akım, "no slip wall" sınır şartı nedeniyle sıfır hıza sahiptir.



Şekil 6.4. Kısa girişli kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=9 m)

Deneyde ölçüm alınan noktalardaki boyuna doğrultudaki hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 6.5'de sunulmaktadır. Bu noktalar, sayısal modeldeki kanalın giriş bölgesinden 7,7 m ilerideki kesit-1 ve 10,7 m ilerideki kesit-2'de yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.2). Kanal duvarına yakın z = 0,03 m'deki P1 noktasında hızlar su yüzeyine yaklaştıkça uyum gösterirken, P5 noktasında hızlar kanal tabanına yakın bir yerde uyum göstermiştir. Kanal yan duvarından iç taraflara doğru z = 0,27 m'deki P2 noktasında hızlar su yüzeyine doğru uyum gösterirken, P6 noktasında deney ve ANSYS CFX sonuçları genel olarak uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu noktalar tam olarak çubuk arkasında yer almaktadır. Kanalın tam ortasına denk gelen z = 0,57 m'deki P3 ve P7 noktaları ile çubukların bitimine yakın z= 0,93 m'deki P4 ve P8 noktalarında, kanal tabanına yakın bölgede deney sonuçlarına göre daha yüksek hızlar gözlemlenirken, su yüzeyi seviyesine yaklaştıkça ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmüştür. P3, P4, P7 ve P8 noktaları tam olarak iki çubuk arasında yer almaktadır (Bkz.

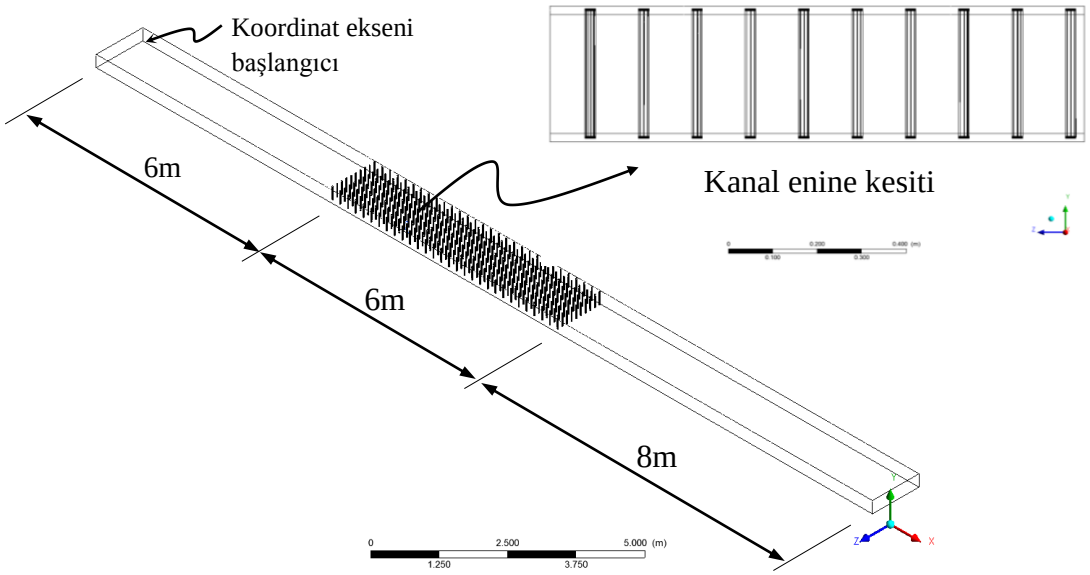
Şekil 4.2). Bu noktaların membaında yer alan çubukların akıma etkileri nedeniyle bu ölçüm noktaları girişim bölgesi içerisinde kalmaktadır. Bu çalışmada yazılım içerisinde yer alan diğer türbülans modellerinin bu bölgedeki sonuçlara etkisinin araştırılması amacıyla k-ε türbülans modeli yerine yazılımın izin verdiği "shear stress transport (k-w türbülans modeli), SSG reynolds stress modeli ve BSL reynolds stress modeli seçilerek ek analizler yapılmıştır. Ancak, yazılım bu ek analizler için çözüm sağlamamıştır. Bu türbülans modelleri incelediğinde bunların çeşitli özel problemlere yönelik olduğu ve bu tez çalışmasındaki problem için en uygun türbülans modelinin *k-ε* modeli olduğu söylenebilir.



Şekil 6.5. Kısa girişli kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi

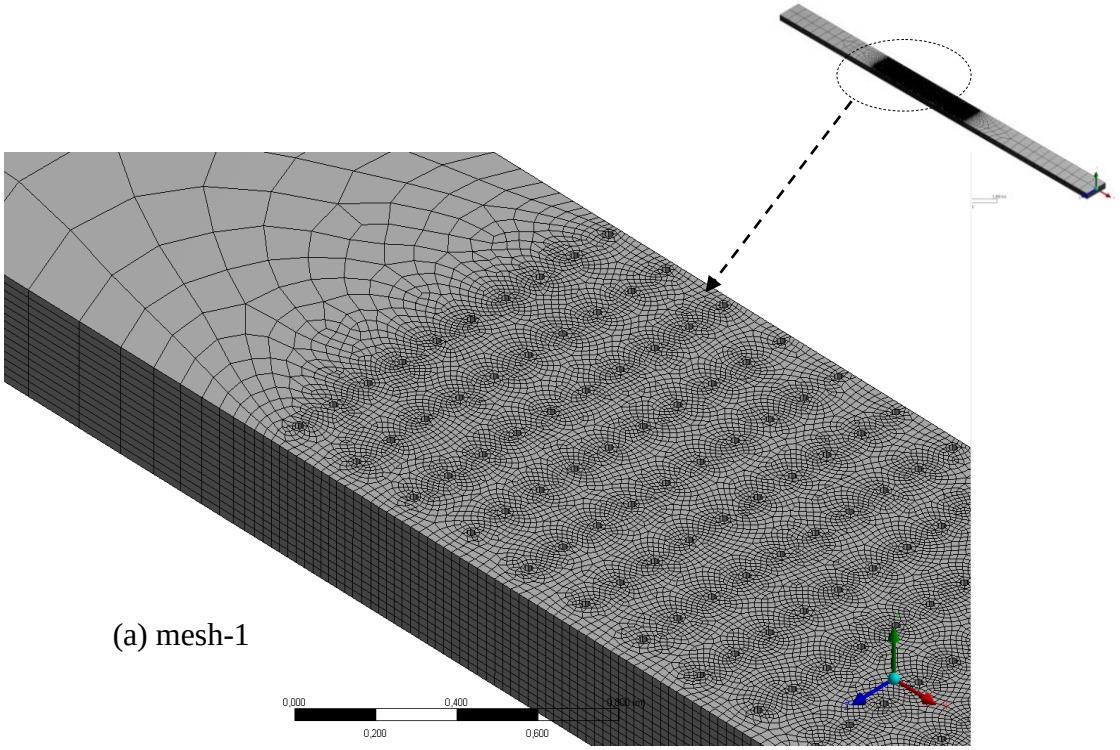
S4: Akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Bu kanala ait geometri Şekil 6.6'da görülmektedir. Bu modelde, akım başlangıcında oluşabilecek düzensizlikleri en aza indirebilmek için kanal boyu 20 m'ye çıkarılmıştır. Kanal geometrisini, deneydekine göre akım girişinin daha uzun olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren 300 adet çubuk yerleştirerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın da deney setindekinden daha uzun olacak şekilde 8 m olması sağlanmıştır. Problem geometrisi düşük yoğunluktaki bitki örtüsü içeren kanal için simetrik olmadığından herhangi bir simetri kolaylaştırılması yapılmamıştır.

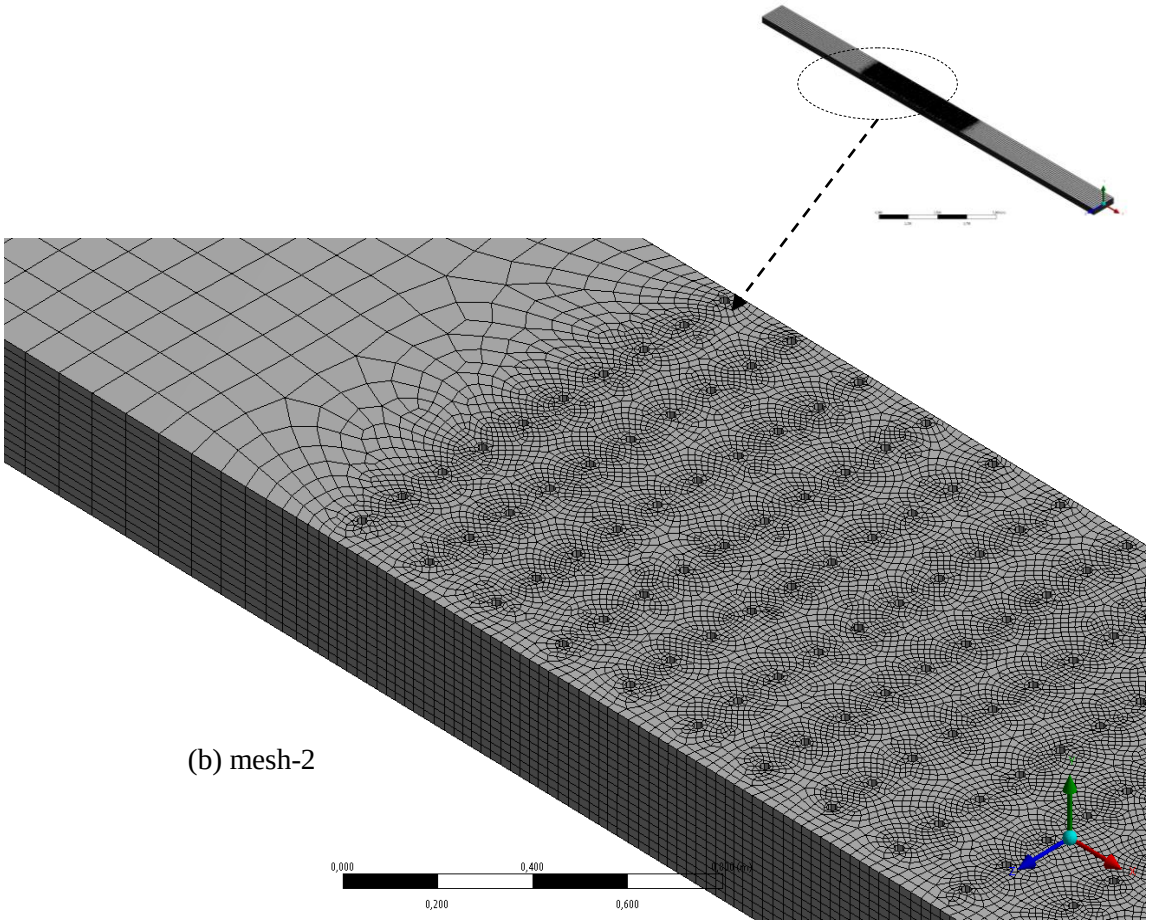


Şekil 6.6. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanal geometrisi ve enine kesiti

Çözüm ağı için ANSYS yazılımının "meshing" bölümünde eleman boyutu 0,5 ve 0,1 m, eleman şekli ise dörtgen (quadratic) olacak şekilde iki tip çözüm ağı kullanılmıştır. Şekil 6.7-a'da gösterilen birinci tip çözüm ağı (mesh-1) 459 942 adet elemana sahiptir. Şekil 6.7-b'de gösterilen ikinci tip (mesh-2) çözüm ağında ise 519 045 adet eleman kullanılmıştır. Birinci tip çözüm ağında giriş ve çıkış bölgelerinde kullanılan eleman boyutu ikinci tip çözüm ağına göre daha büyük seçilmiştir.



(a) mesh-1

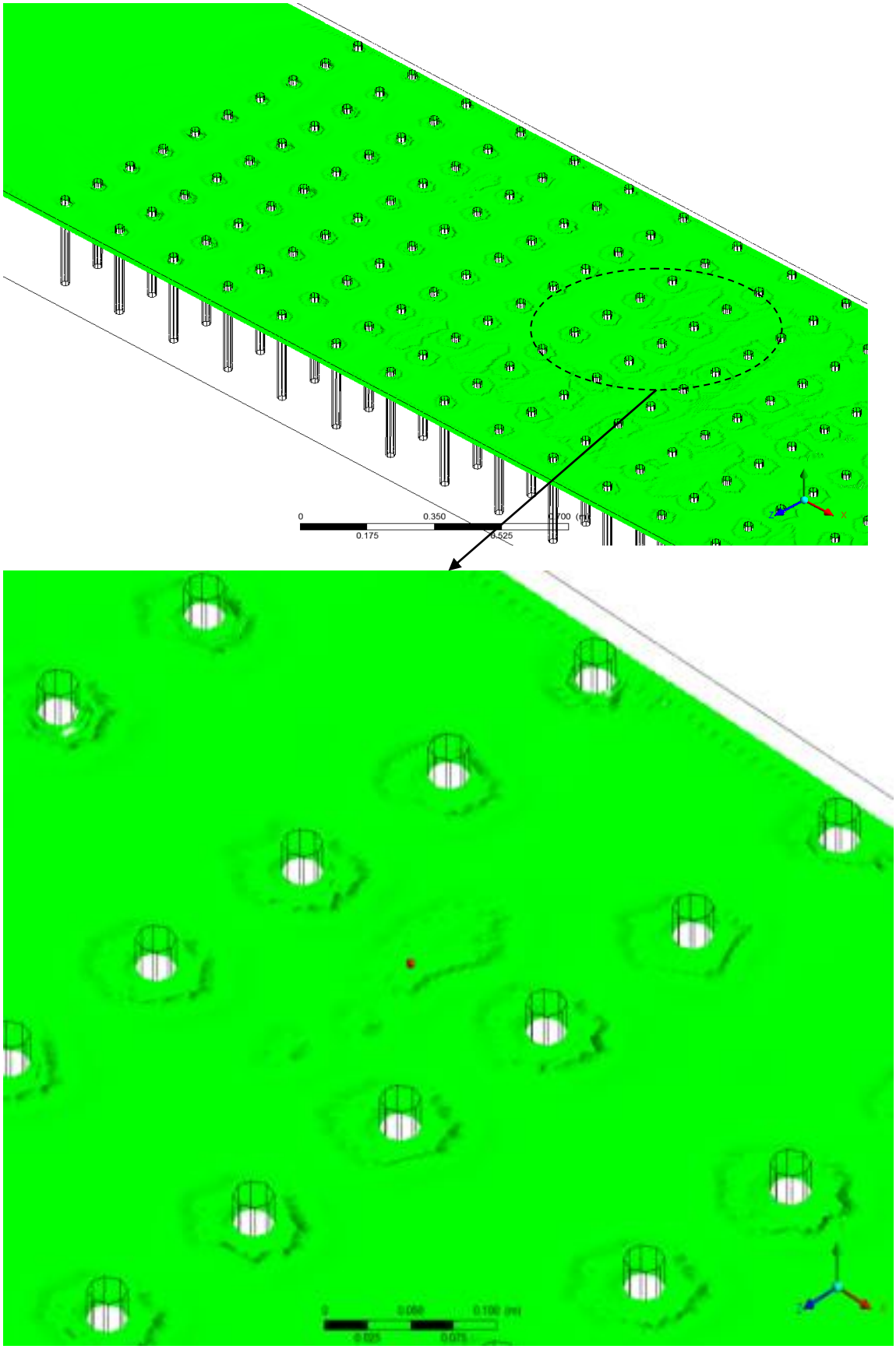


(b) mesh-2

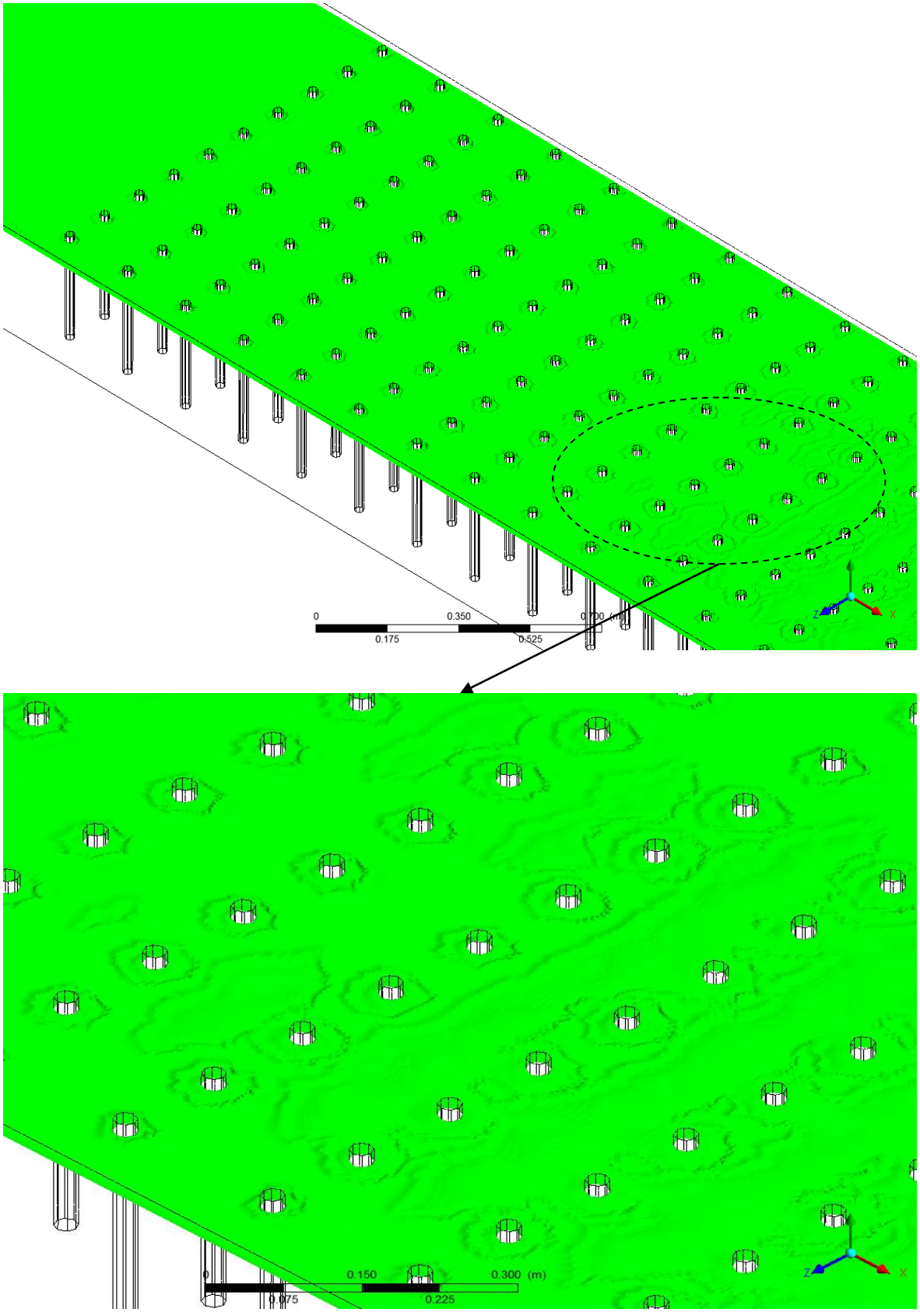
Şekil 6.7. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanalın çözüm ağı

Sınır şartları, geometrik ve hidrolik özellikleri verilen bir deney kanalı için çalıştırılan ANSYS CFX programından kanal boyunca üç eksende hızlar ve kesitin her noktasında su seviyesi sonuçları elde edilebilmektedir. Model grafik ara yüzü, kullanıcının belirlediği bir noktada veya bir kesitte sonuçları grafik olarak çizebilmektedir. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da, rijit çubukların başlangıç bölgesinde oluşan çalkantılar ve su seviyesi gösterilmiştir.

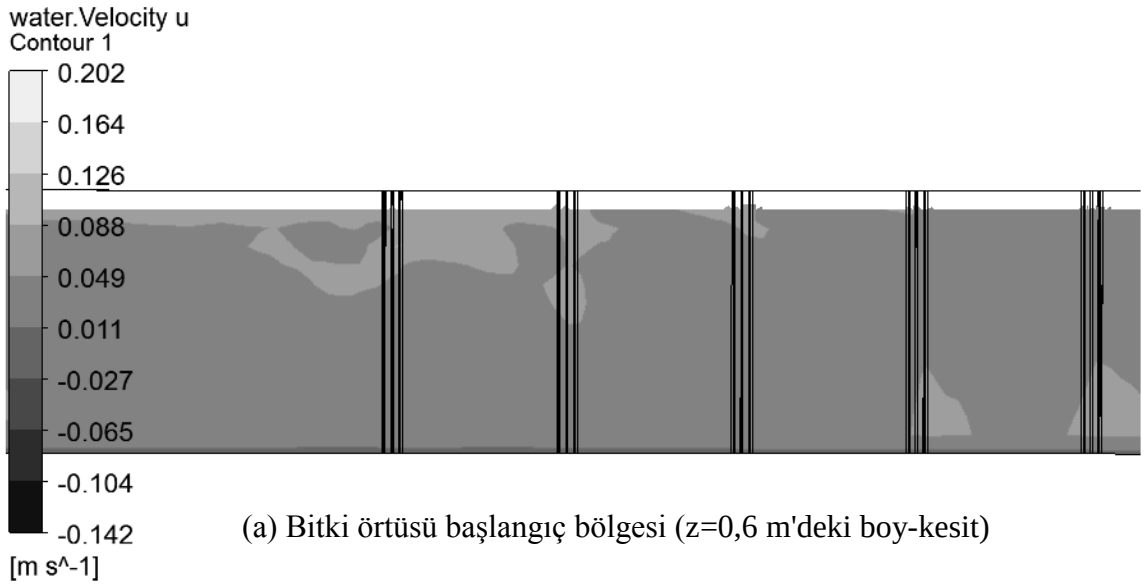
Sayısal modelden elde edilen kanal boyuna yönündeki hız sonuçları mesh-1 ve mesh-2 için kanal ekseni merkezinden geçen z=0,6 m'deki bir boy kesit üzerinde gösterilmiştir. Boyuna yöndeki profilin uzun olması nedeniyle sonuçlar, üç kısımda; kanalda bitki başlangıç bölgesinde, bitki orta bölgesinde ve bitki örtüsünün bittiği bölgede ayrı olarak çizilmiştir Şekil 6.10-a'da bitki örtüsünün başlangıç bölgesinde giriş hızı olan 4,5 cm/s hızın, ilk çubukta 14 cm/s seviyesine çıktığı görülmektedir. Şekil 6.11-a'da bitki örtüsünün başlangıç bölgesinde giriş hızı olan 4,5 cm/s hızın ilk çubukta 7 cm/s seviyesine ulaştığı ve su yüzeyine yakın bölgede hızlı bir değişim olduğu görülmektedir. Bitki örtüsü orta bölgesinde ise tabana ve rijit silindirlere yakın bölgede hızın artarak 10 cm/s seviyesinde olduğu, su yüzeyine yakın bölgelerde ise hızın 3 cm/s olduğu görülmüştür (Şekil 6.10-b). Şekil 6.11-b'de ise tabana ve rijit silindirlere yakın bölgede hızın artarak 7 cm/s seviyesinde olduğu, su yüzeyine yakın bölgelerde ise hızın 2,5 cm/s olduğu görülmektedir. Bitki örtüsünün son bölümünün gösterildiği Şekil 6.10-c'de tabana yakın bölgede hızın 10 cm/s olduğu, yüzeye yakın bölgelerde ise 3 cm/s mertebesinde hızlarla suyun bu bölgeyi terk ettiği görülmektedir. Şekil 6.11-c'de ise tabana yakın bölgede hızın 5,5 cm/s, yüzeye yakın bölgelerde ise 2,5 cm/s mertebesinde hızlarla suyun bu bölgeyi terk ettiği görülmektedir.



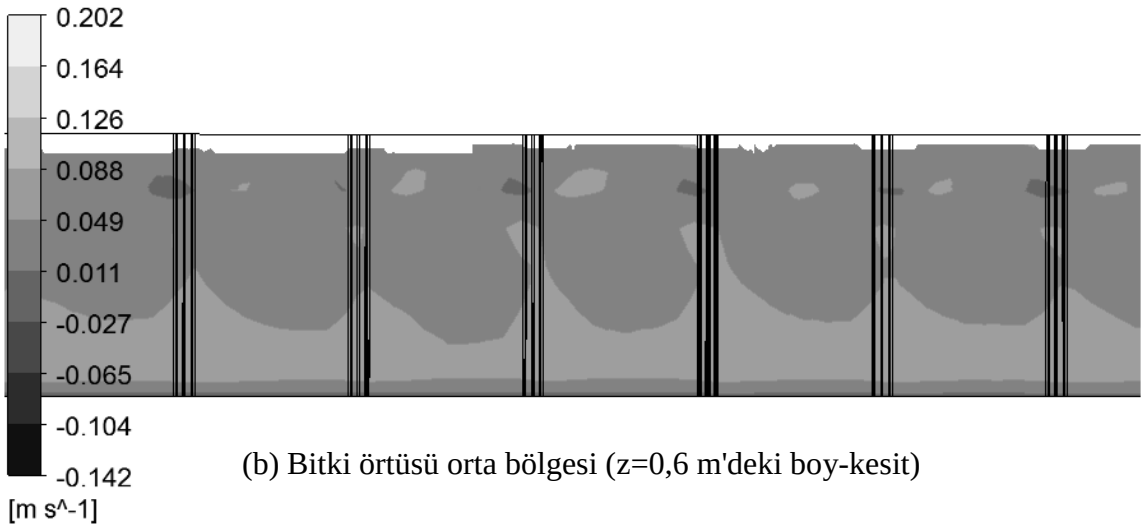
Şekil 6.8. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanalın su yüzeyi profili (mesh-1)



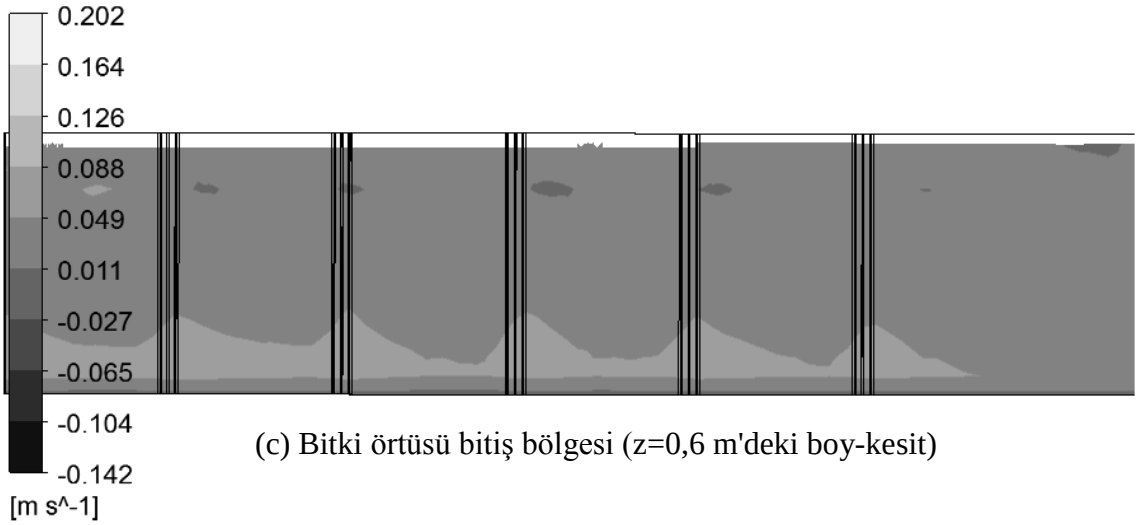
Şekil 6.9. Akım girişi ve çıkışı uzatılmış kanalın su yüzeyi profili (mesh-2)



(a) Bitki örtüsü başlangıç bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

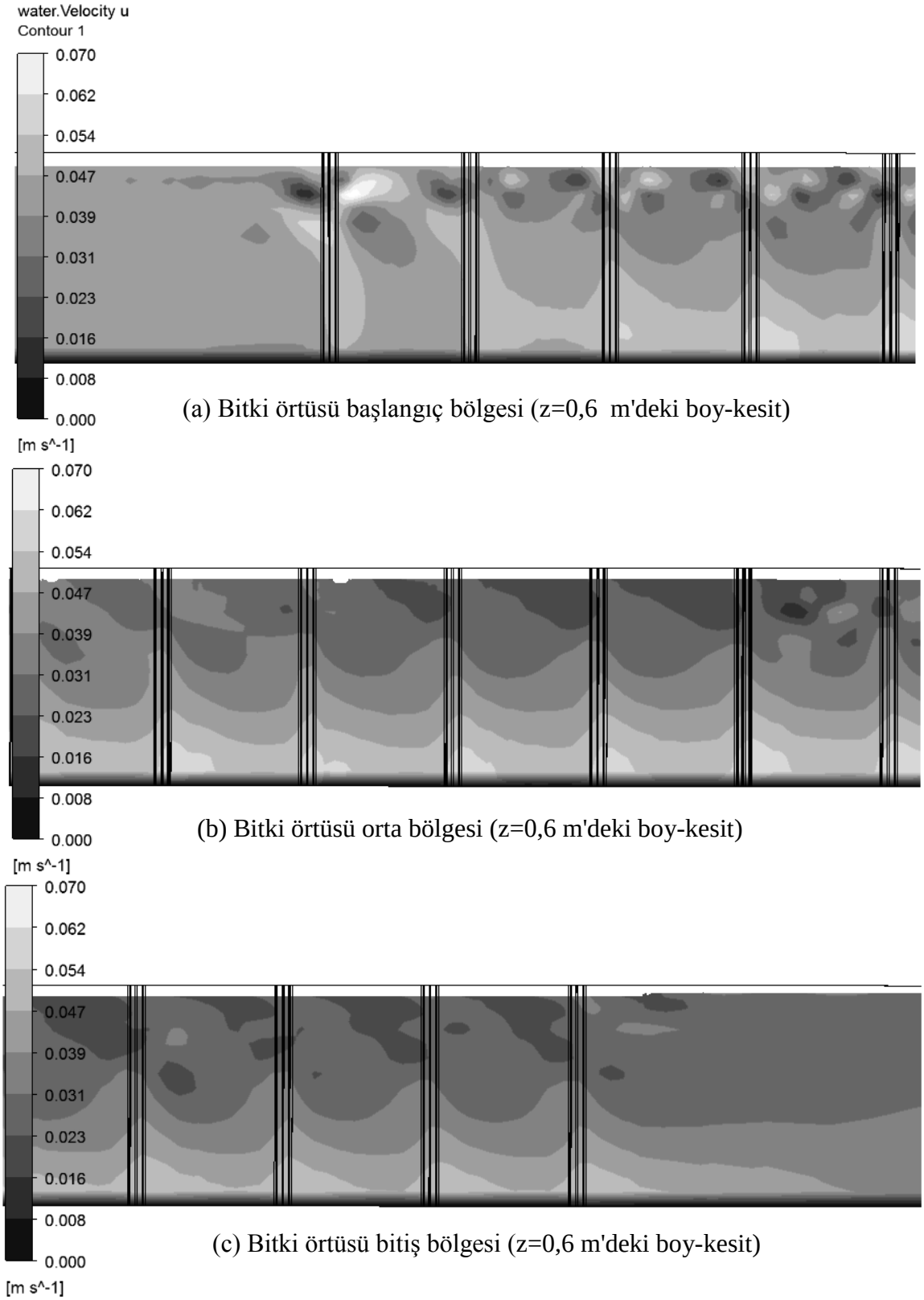


(b) Bitki örtüsü orta bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)



(c) Bitki örtüsü bitiş bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

Şekil 6.10. Uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi (mesh-1)



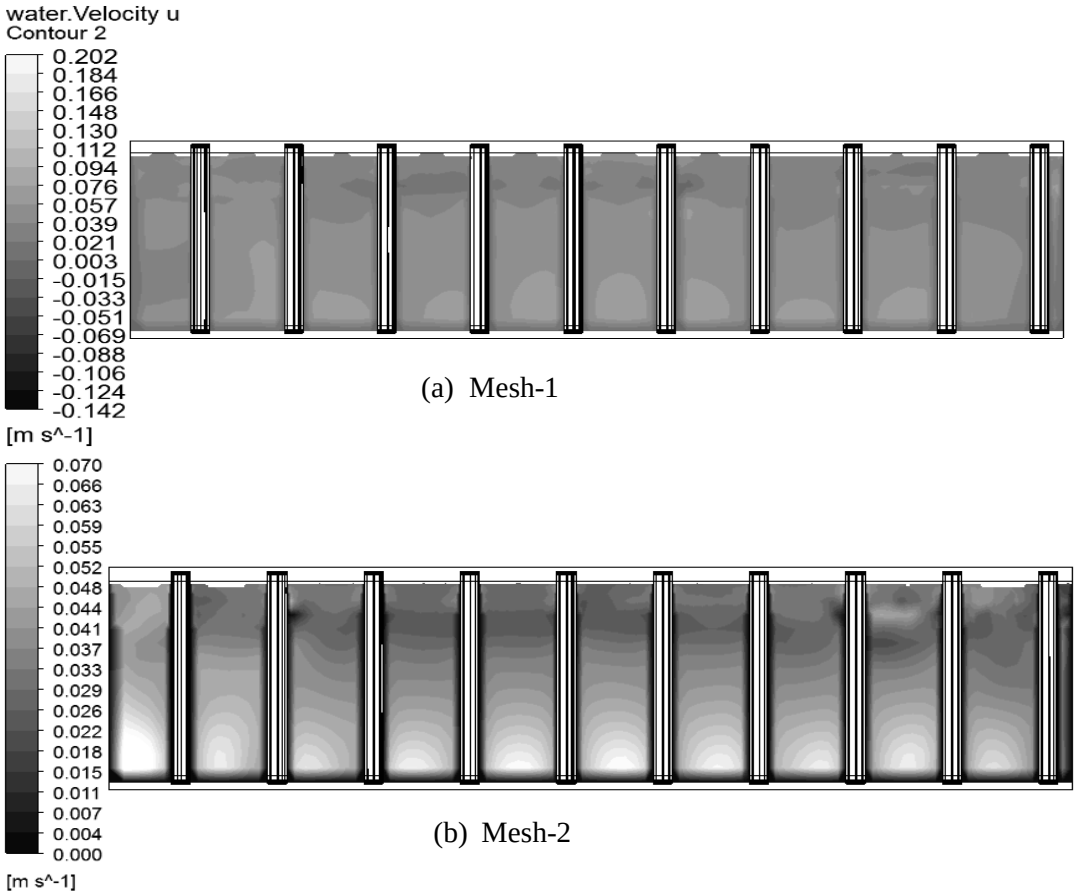
(a) Bitki örtüsü başlangıç bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

(b) Bitki örtüsü orta bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

(c) Bitki örtüsü bitiş bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

Şekil 6.11. Uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi (mesh-2)

x=9 m'den geçen kanal en kesitindeki boyuna doğrultudaki hız dağılımı mesh-1 ve mesh-2 durumu için Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Bu kesit tam olarak çubukların merkezinden geçmektedir. Kanal kenarlarında geometrinin simetrik olmaması nedeniyle simetrik olmayan bir hız dağılımı gözlenirken, iç bölgelerde simetriğe yakın bir hız dağılımı görülmektedir. Çubuk aralarında, kanal tabanında sıfır olan hız tabana yakın bölgede 3 cm/s mertebesine çıkmakta ama genelde sıfıra yakın değerler gözlenmekte, derinlik azaldıkça 6 cm/s mertebesine çıkmaktadır (Şekil 6.12-a). Şekil 6.12-b'de ise çubuk aralarında, kanal tabanında sıfır olan hızın tabana yakın bölgede 7 cm/s mertebesine çıktığı, derinlik azaldıkça da 3 cm/s mertebesine düştüğü görülmektedir. Çubuk kenarlarında akım, "no slip wall" sınır şartı nedeniyle sıfır hıza sahiptir.



(a) Mesh-1

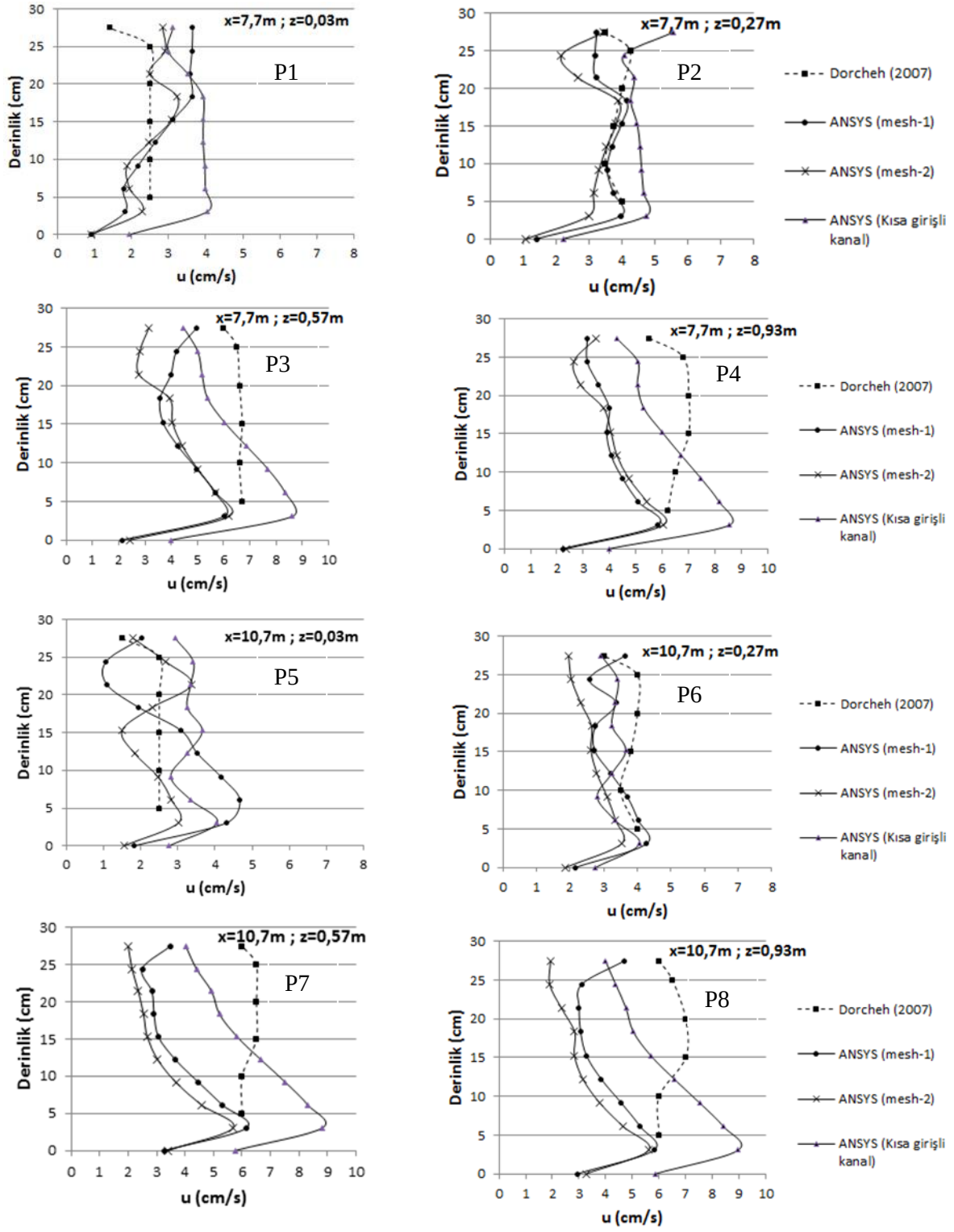
(b) Mesh-2

Şekil 6.12. Uzatılmış kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x = 9 m)

Deneyde ölçüm alınan noktalardaki boyuna doğrultudaki hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 6.13'te sunulmuştur. Bu noktalar, sayısal modeldeki kanalın giriş bölgesinden 7,7 m ilerideki kesit-1 ve 10,7 m ilerideki kesit-2'de yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.2). Kanal duvarına yakın z = 0,03 m'deki P1 noktasında deney ve ANSYS CFX

sonuçları genel olarak uyumlu sonuçlar gösterirken, P5 noktasında hızlar deney sonuçlarına göre dengeli bir dağılım göstermemiştir. Kanal yan duvarından iç taraflara doğru z = 0,27 m'deki P2 ve P6 noktalarında deney ve ANSYS CFX sonuçları genel olarak uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu noktalar tam olarak çubuk arkasında yer almaktadır. Kanalın tam ortasına denk gelen z = 0,57 m'deki P3 ve P7 noktaları ile çubukların bitimine yakın z= 0,93 m'deki P4 ve P8 noktalarında, kanal tabanına yakın bölgedeki hızlar uyumlu görünürken, su yüzeyi seviyesine yaklaştıkça ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmüştür. P3, P4, P7 ve P8 noktaları Şekil 6.13'te görüldüğü gibi tam olarak iki çubuk arasında yer almaktadır. Bu noktaların membaında yer alan çubukların akıma etkileri nedeniyle bu ölçüm noktaları girişim bölgesi içerisinde kalmaktadır. Bu çalışmada yazılım içerisinde yer alan diğer türbülans modellerinin bu bölgedeki sonuçlara etkisinin araştırılması amacıyla k-ε türbülans modeli yerine yazılımın izin verdiği "shear stress transport (k-w türbülans modeli), SSG reynolds stress modeli ve BSL reynolds stress modeli seçilerek ek analizler yapılmıştır. Ancak, yazılım bu ek analizler için çözüm sağlamamıştır.

Ayrıca, Şekil 6.13'te S3 senaryosundan elde edilen sonuçlar da gösterilmiş olup kısa girişli kanal akımının analiz sonuçlarını olumsuz etkilediği görülmektedir. Ancak uzun kanalda deney sonuçlarına yaklaşma bakımından çözüm ağının değiştirilerek analizin yapılmasının daha avantajlı olduğu gözlenmiştir. Mesh-1 sonuçlarından görüleceği üzere çözüm ağındaki eleman boyutunun büyük olması, hız değişimlerinin deney sonuçları ile uyumsuz olmasını sağlamıştır.



Şekil 6.13. Uzatılmış kanalda boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi

6.1.2. Orta yoğunluklu (λ=0,002 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu (senaryo: S5-S6-S7-S8)

Çizelge 6.2. Orta yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu senaryoları

Senaryo No	Kanal Geometrisi Özellikleri	Çözüm Ağı Yapısı Çubuk Sayısı	Sonuç
S5	Orijinal Kanal (deney) L= 10 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Çubuk sayısı: 600 adet	Yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır. Çözüm ağının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir.
S6	Girişi uzun kanal L= 14 m		
S7	Girişi kısa kanal L= 16 m		
S8	Uzatılmış kanal L= 20 m		

S5: 10 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Bu senaryoda geometri olarak Dorcheh'in (2007) tez çalışmasındaki deneysel veriler birebir korunmuştur. Burada oluşturulan geometride kanal 10 m uzunluğunda dikdörtgen kesitlidir. Kanal başlangıcının 2 m mansabından itibaren 600 adet çubuk yerleştirilmiş ve ANSYS yazılımının çözüm ağı yapısını otomatik olarak oluşturması sağlanmıştır. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

S6: Uzun girişli 14 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Burada 14 m uzunluğunda fiktif bir dikdörtgen kanal oluşturulmuştur. Kanal geometrisi, S1 senaryosundan biraz daha uzun planlanmıştır. Bu nedenle kanal başlangıcına 2 m kanal sonuna ise 2 m ilave yapılarak kanal 14 m'ye çıkarılmıştır. Böylece çubuklar (600 adet) kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren konumlandırılacak şekilde yerleştirilmiştir.

Çözüm ağı, bir önceki senaryoda olduğu gibi ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

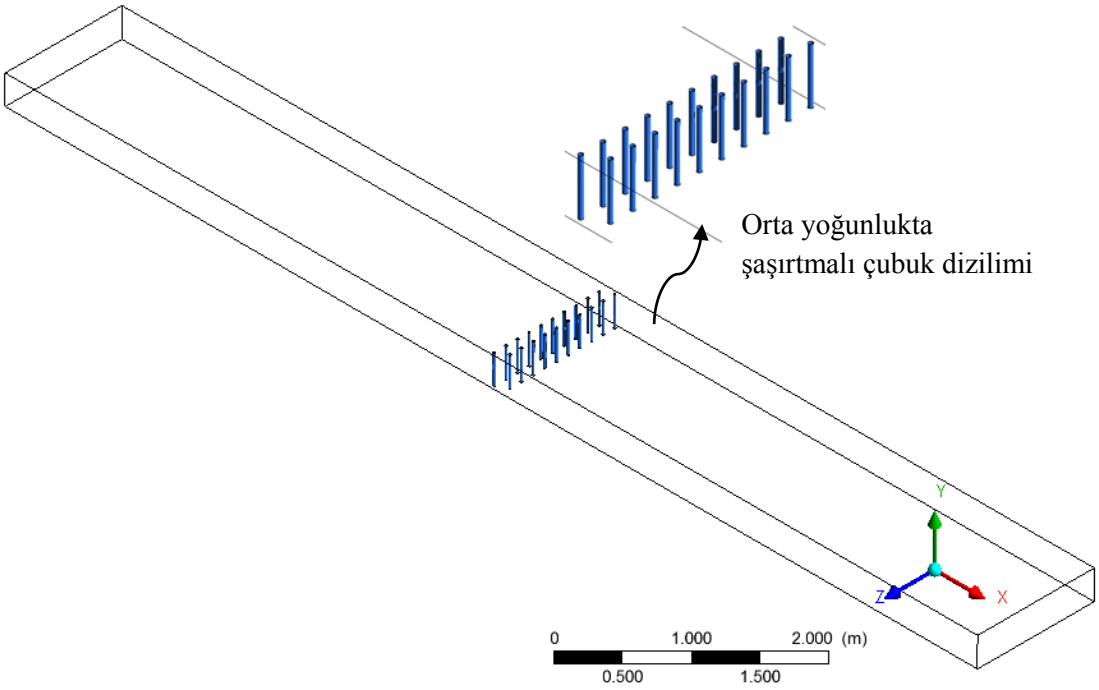
S7: Kısa girişli 16 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Burada 16 m uzunluğunda fiktif bir dikdörtgen kanal oluşturulmuştur. Kanal geometrisini, akım girişinin deneydeki kadar olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 2 m mansabından itibaren 600 adet çubuk yerleştirilerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın deney setindekinden daha uzun olacak şekilde yani 8 m olması sağlanmıştır. Çözüm ağı, ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

S8: Akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

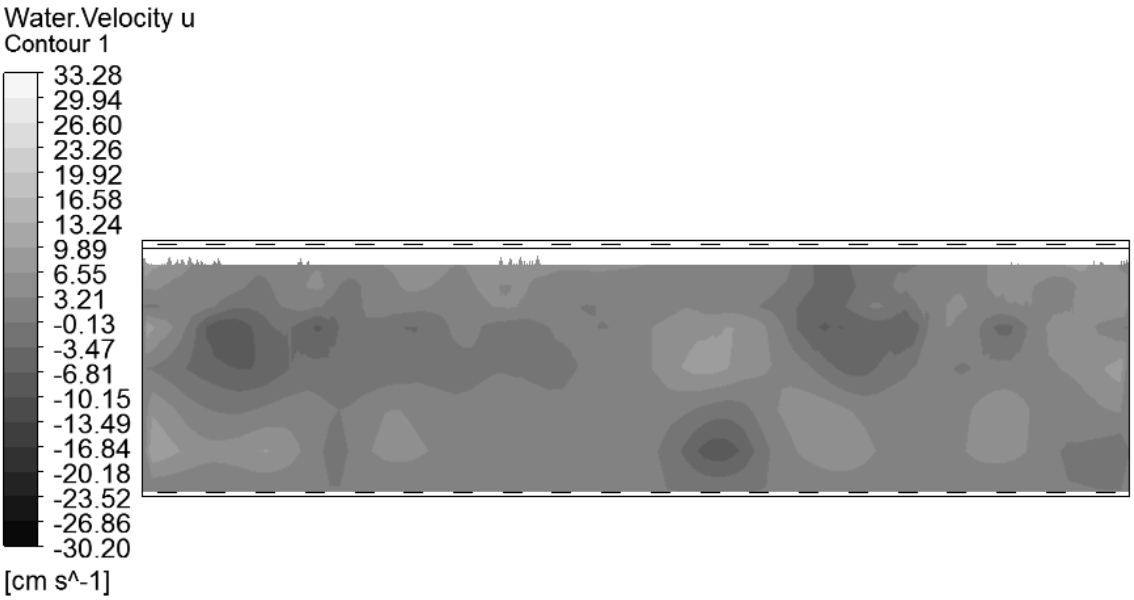
Bu modelde, akım başlangıcında oluşabilecek düzensizlikleri en aza indirebilmek için kanal boyu 20 m'ye çıkarılmıştır. Kanal geometrisini, deneydekine göre akım girişinin daha uzun olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren 600 adet çubuk yerleştirilerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın da deney setindekinden daha uzun olacak şekilde 8 m olması sağlanmıştır. Ancak yazılım yine hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

Orta yoğunluklu batmamış akım durumu özellikleri ile oluşturulan sistemin hata vermesi ve programın çözüm üretmemesi sebebiyle farklı iki senaryo daha çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak 10 m uzunluğunda dikdörtgen bir kanal oluşturularak içerisine 50 adet silindirik çubuk yerleştirilmiştir. Ancak bu özelliklerdeki kanal durumu için herhangi bir sonuç alınamamıştır. Sonrasında Şekil 6.14'te görülen aynı uzunluktaki kanalın tam ortasına denk gelecek şekilde iki sıra yani 20 adet çubuk şaşırtmalı şekilde yerleştirilerek farklı bir model hazırlanmış ve çözüm ağı, ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Bu model için kullanılan eleman sayısı 20 436'dır.



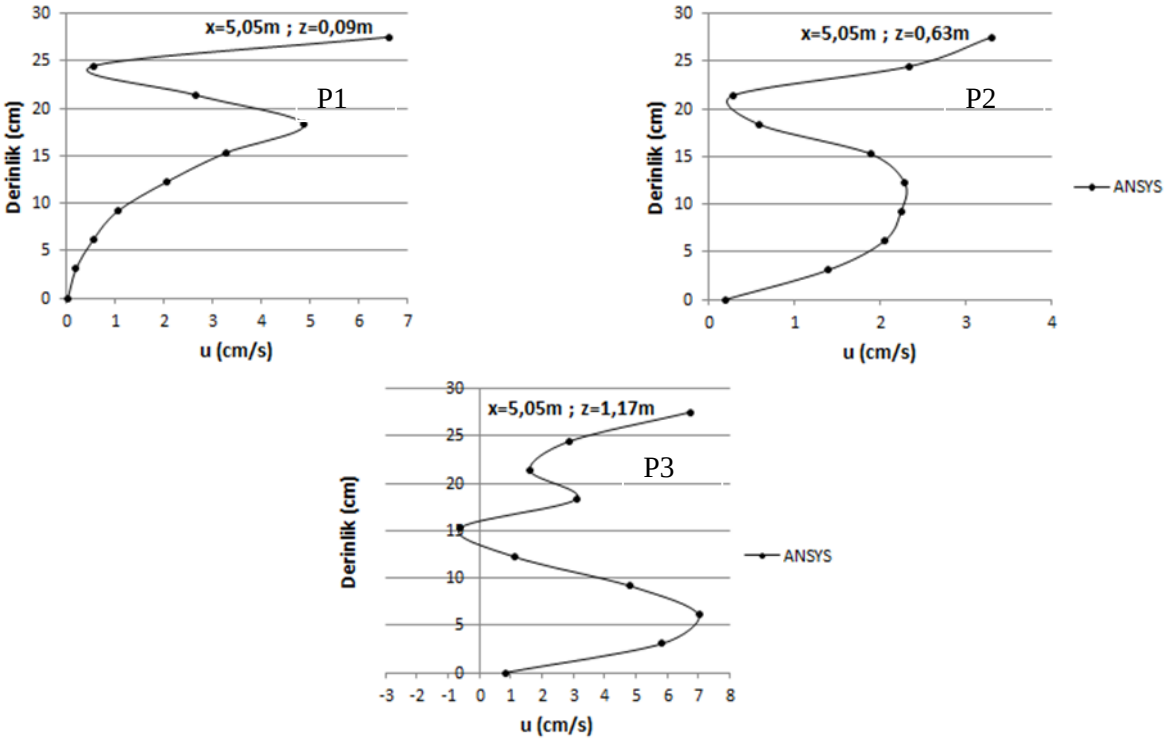
Şekil 6.14. 20 çubuk ile oluşturulan model geometrisi ve çubuk dizilimi

x=5,05 m'den geçen kanal en kesitindeki boyuna doğrultudaki hız dağılımı Şekil 6.15'te görülmektedir. Bu kesit tam olarak çubukların merkezinden geçmektedir. Kanal kenarlarında geometrinin simetrik olmaması nedeniyle simetrik olmayan bir hız dağılımı gözlenmektedir. En kesit genelinde çok yüksek hız değerleri gözlenmektedir.



Şekil 6.15. 20 çubuklu kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=5,05 m)

Deneyde ölçüm alınan noktalardaki boyuna doğrultudaki hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 6.16'da sunulmaktadır. Şekil 6.16'da görülen faklı noktalardaki hız değerlerinin derinlik boyunca birbiri içerisinde uyumlu sonuç gösterdiğidir. Orta yoğunluk durumunda çubukların şaşırtmalı olarak dizilmiş olmasının bu duruma etkisinin olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.16. 20 çubuklu kanalda boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi

6.1.3. Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu (senaryo: S9-S10-S11-S12)

Yüksek yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu için Çizelge 6.3'te görülen senaryolar uygulanmıştır.

Çizelge 6.3. Yüksek yoğunluklu batmamış bitkili akım durumu senaryoları

Senaryo No	Kanal Geometrisi Özellikleri	Çözüm Ağı Yapısı Çubuk sayısı	Sonuç
S9	Orijinal Kanal (deney) L= 10 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Çubuk sayısı: 600 (simetrik geometride) 1200 (tam geometride)	Yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır. Çözüm ağının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Ağ yapısı daha ayrıntılı incelenmelidir.
S10	Girişi uzun kanal L= 14 m		
S11	Girişi kısa kanal L= 16 m		
S12	Uzatılmış kanal L= 20 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Eleman yapısı: dörtgen Çubuk sayısı: 600 (simetrik geometride) 1200 (tam geometride)	Analiz ve deney sonuçlarının genel olarak uyum sağlamadığı gözlenmiştir. Analizin tam geometride farklı çözüm ağlarında analiz ettirilerek bu bölgedeki sonuçlara etkisinin araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

S9: 10 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Dorcheh'in (2007) deneysel verileri birebir korunmuştur. Burada oluşturulan geometride 10 m uzunluğunda dikdörtgen bir kanal oluşturulmuştur. Deneysel yöntemde yüksek yoğunluk durumu için 1200 adet çubuk yerleştirilmiştir. Ancak, problem geometrisi yüksek yoğunluktaki bitki örtüsü içeren kanal için simetrik olduğundan kanal başlangıcının

2 m mansabından itibaren 600 adet çubuk yerleştirilerek simetrik bir geometri oluşturulmuş ve ANSYS yazılımının çözüm ağı yapısını otomatik olarak oluşturması sağlanmıştır. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

S10: Uzun girişli 14 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

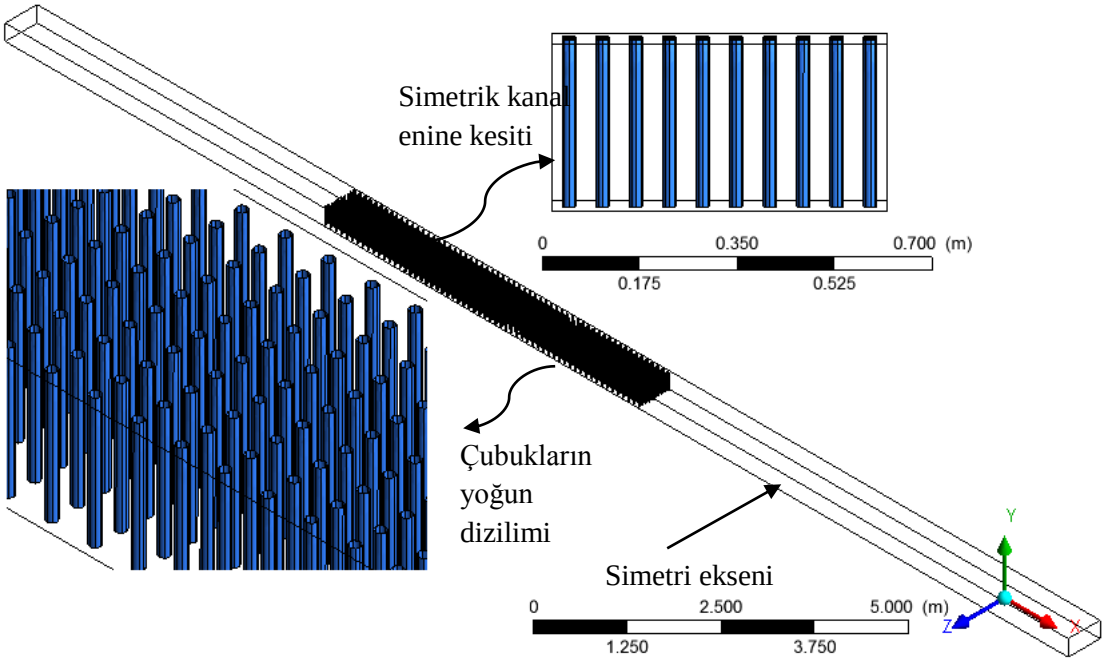
Burada 14 m uzunluğunda fiktif bir dikdörtgen kanal oluşturulmuştur. Kanal geometrisi, S1 senaryosundan biraz daha uzun planlanmıştır. Bu nedenle kanal başlangıcına 2 m kanal sonuna ise 2 m ilave yapılarak kanal 14 m'ye çıkarılmıştır. Böylece çubuklar (simetriden dolayı 600 adet) kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren konumlandırılacak şekilde yerleştirilmiştir. Çözüm ağı, bir önceki senaryoda olduğu gibi ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

S11: Kısa girişli 16 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Burada 16 m uzunluğunda fiktif bir dikdörtgen kanal oluşturulmuştur. Kanal geometrisini, akım girişinin deneydeki kadar olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 2 m mansabından itibaren simetri özelliğinden dolayı 600 adet çubuk yerleştirilerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın deney setindekinden daha uzun olacak şekilde yani 8 m olması sağlanmıştır. Çözüm ağı, ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Ancak yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanamamıştır.

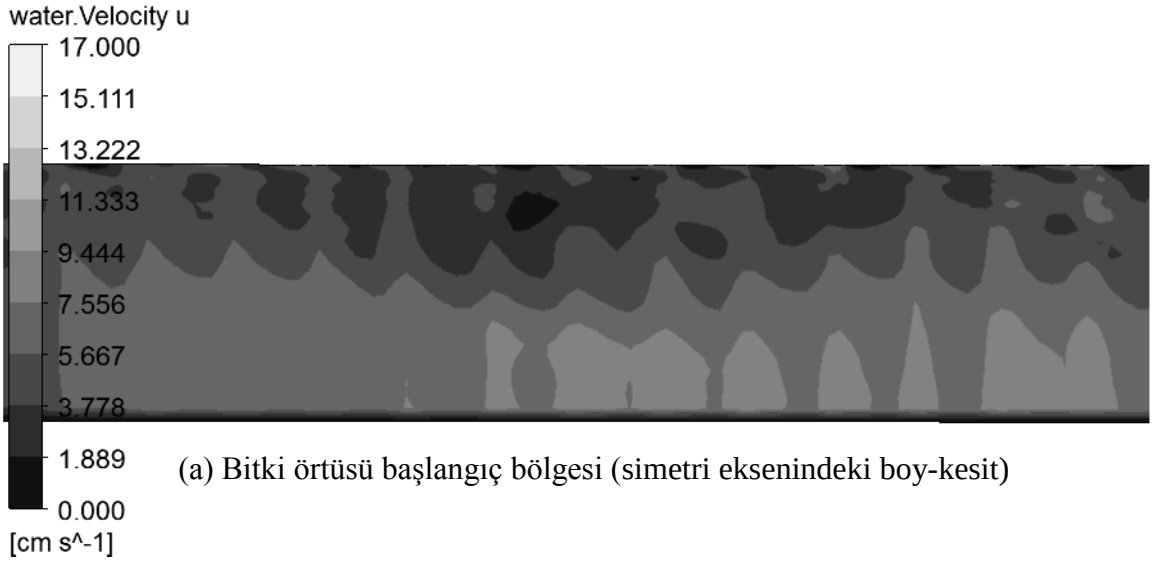
S12: Akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Bu kanala ait geometri Şekil 6.17'de görülmektedir. Bu modelde, akım başlangıcında oluşabilecek düzensizlikleri en aza indirebilmek için kanal boyu 20 m'ye çıkarılmıştır. Kanal geometrisini, deneydekine göre akım girişinin daha uzun olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren simetri özelliğinden dolayı 600 adet çubuk yerleştirilerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın da deney setindekinden daha uzun olacak şekilde 8 m olması sağlanmıştır.

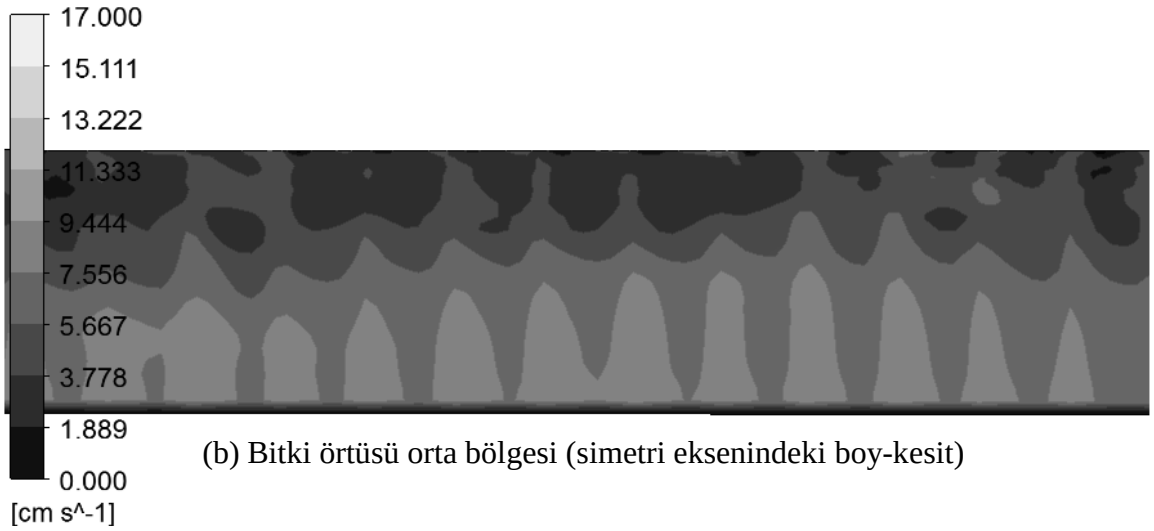


Şekil 6.17. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal geometrisi ve enine kesiti

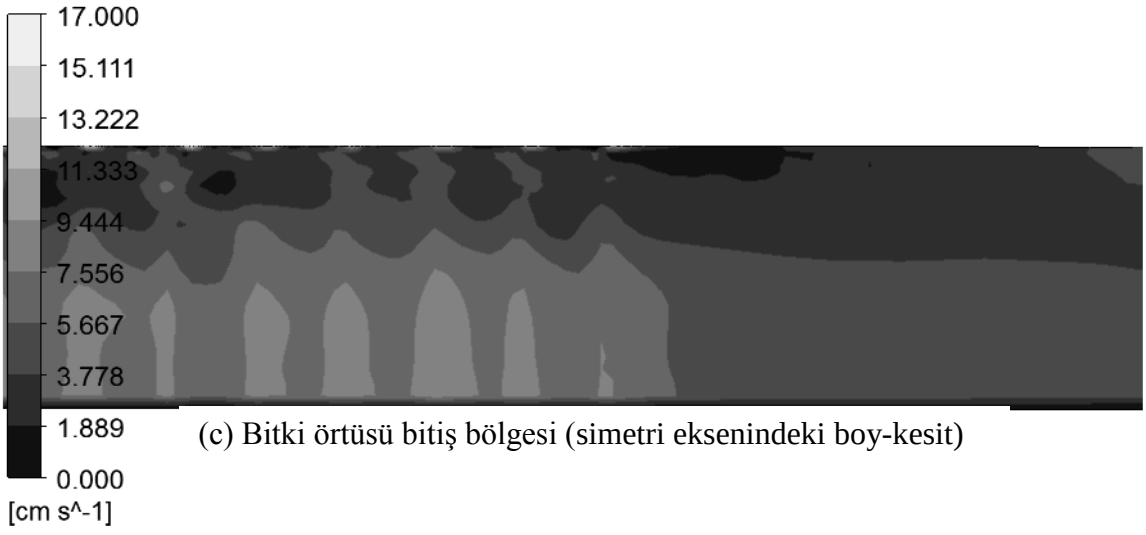
Çözüm ağı, ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur. Çözüm ağının eleman şekli dörtgen (quadratic) olup çözüm ağı 549 360 adet elemana sahiptir. Sayısal modelden elde edilen kanal boyuna yönündeki hız sonuçları simetri eksenindeki bir boy kesit üzerinde gösterilmiştir. Boyuna yöndeki profilin uzun olması nedeniyle sonuçlar, üç kısımda; kanalda bitki başlangıç bölgesinde, bitki orta bölgesinde ve bitki örtüsünün bittiği bölgede ayrı olarak çizilmiştir. Şekil 6.18-a'da bitki örtüsünün başlangıç bölgesinde giriş hızı olan 4,5 cm/s hızın, ilk çubukta 3 cm/s seviyesine düştüğü ve su yüzeyine yakın bölgede hızlı bir değişim olduğu görülmektedir. Bitki örtüsü orta bölgesinde ise tabana ve rijit silindirlere yakın bölgede hızın artarak 13 cm/s seviyesinde olduğu, su yüzeyine yakın bölgelerde ise hızın 1 cm/s ve hatta sıfır olduğu görülmüştür (Şekil 6.18-b). Bitki örtüsünün son bölümünün gösterildiği Şekil 6.18-c'de tabana yakın bölgede 10 cm/s, yüzeye yakın bölgelerde ise 1 cm/s mertebesinde hızlarla suyun bu bölgeyi terk ettiği görülmektedir.



(a) Bitki örtüsü başlangıç bölgesi (simetri eksenindeki boy-kesit)



(b) Bitki örtüsü orta bölgesi (simetri eksenindeki boy-kesit)



(c) Bitki örtüsü bitiş bölgesi (simetri eksenindeki boy-kesit)

Şekil 6.18. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi

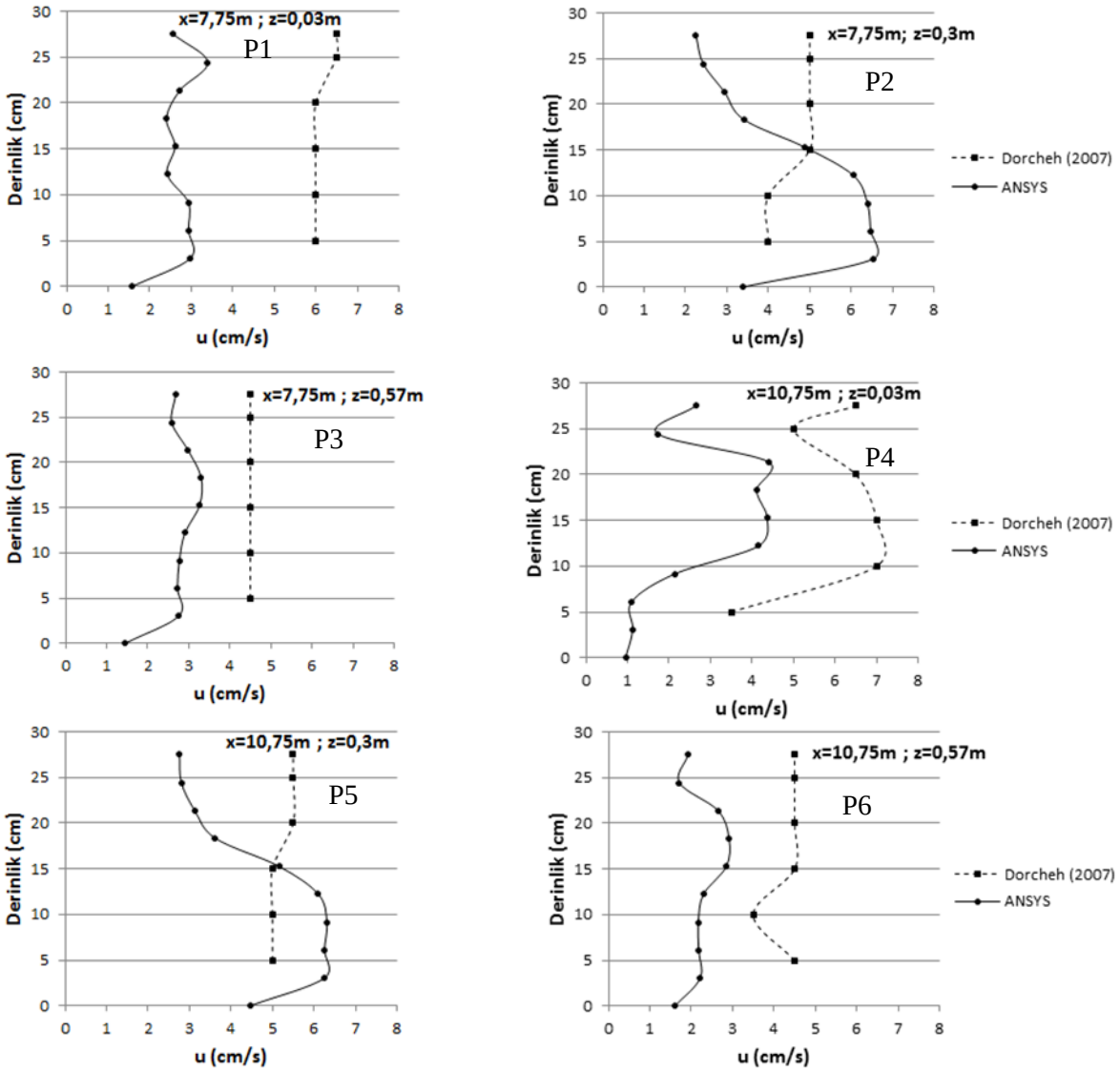
x=9,05 m'den geçen kanal en kesitindeki boyuna doğrultudaki hız dağılımı Şekil 6.19'da görülmektedir. Bu kesit tam olarak çubukların merkezinden geçmektedir. Kanal kenarlarında geometrinin simetrik olması nedeniyle simetrik bir hız dağılımı gözlenmektedir. Çubuk aralarında, kanal tabanında sıfır olan hız tabana yakın bölgede 0,9 cm/s mertebesine çıkmakta ama genelde sıfıra yakın değerler gözlenmekte, derinlik azaldıkça hız 3,5 cm/s mertebesine çıkmaktadır (Şekil 6.19). Çubuk kenarlarında akım, "no slip wall" sınır şartı nedeniyle sıfır hıza sahiptir.



Şekil 6.19. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=9,05 m)

Deneyde ölçüm alınan noktalardaki boyuna doğrultudaki hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 6.20'de sunulmaktadır. Bu noktalar, sayısal modeldeki kanalın giriş bölgesinden 7,75 m ilerideki kesit-1 ve 10,75 m ilerideki kesit-2'de yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.5). Kanal duvarına yakın z = 0,03 m'deki P1 ve P4 noktalarında ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmüştür. P1 ve P4 noktaları tam olarak çubuk arkasında yer almaktadır. Kanal yan duvarından iç taraflara doğru z = 0,30 m'deki P2 ve P5 noktalarında kanal tabanına yakın yerlerde ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha yüksek hızlar verdiği, su yüzeyine yaklaştıkça da daha düşük hızlar verdiği gözlenmiştir. P2 ve P5 noktaları tam olarak iki çubuk arasında yer almaktadır. Tam simetri eksenindeki yani kanalın tam ortasındaki z=0,57 m'deki P3 ve P6 noktalarında ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmektedir. Bu noktaların membaında yer alan çubukların akıma etkileri nedeniyle bu ölçüm noktaları

girişim bölgesi içerisinde kalmaktadır. Yüksek yoğunluk durumu için kanalım tam geometride ve farklı çözüm ağlarında analiz ettirilerek bu bölgedeki sonuçlara etkisinin araştırılması gerekmektedir.



Şekil 6.20. Yüksek yoğunluklu uzatılmış kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi

6.2. Batmış Bitki İçeren Akım Durumu

6.2.1. Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu (senaryo: S13-S14-S15-S16)

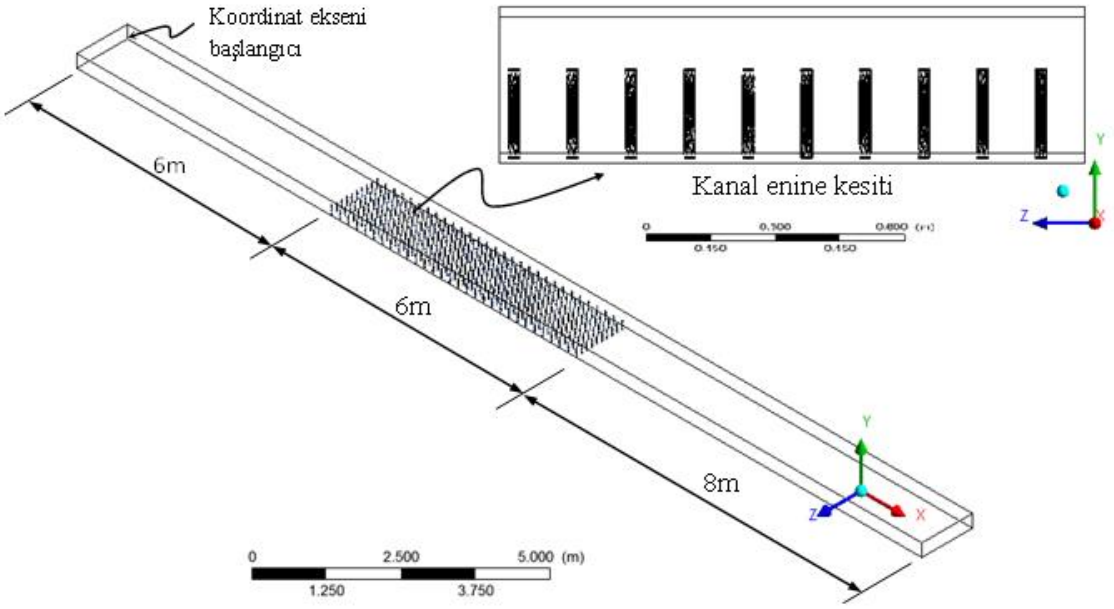
Bu bölümde batmamış akım durumundaki verilerin ve sınır şartlarının aynısı uygulanmıştır Çizelge 6.4). Ancak burada batmış akım durumu modellendiğinden dolayı silindirik çubuk boyları 300 mm yerine 180 mm alınmıştır. Ayrıca; S13, S14 ve S15 senaryolarında yazılım hatası nedeniyle analiz tamamlanamadığından bu bölümde analizin tamamlanabildiği S16 senaryosundan bahsedilmiştir. Bu senaryolarda yazılımın sürekli üç yüzlü elemanlardan oluşan çözüm ağı ürettiği gözlenmiştir. Batmış bitkili akım durumunda hem bitki yoğunluğunun fazla olması hem de akım tipinin karmaşıklaşması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle yazılımın en uygun ağ yapısı olarak üçgensel çözüm ağını tercih ettiği görülmüştür.

Çizelge 6.4. Az yoğunluklu batmış bitkili akım durumu senaryoları

Senaryo No	Kanal Geometrisi Özellikleri	Çözüm Ağı Yapısı Çubuk Sayısı	Sonuç
S13	Orijinal Kanal (deney) L= 10 m	Yazılım hata vermiştir. Çubuk sayısı: 300 adet	Yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanmamıştır. Çözüm ağının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir.
S14	Girişi uzun kanal L= 14 m		
S15	Girişi kısa kanal L= 16 m		
S16	Uzatılmış kanal L= 20 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Eleman yapısı: üçgen Çubuk sayısı: 300 adet	ANSYS CFX'in kanal tabanından çubukların yüksekliğine kadar deney verileri ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Çubuk boylarının su seviyesinin altında olduğundan su ve hava birleşim bölgelerinin iyi analiz edilemediği sonucuna varılmıştır.

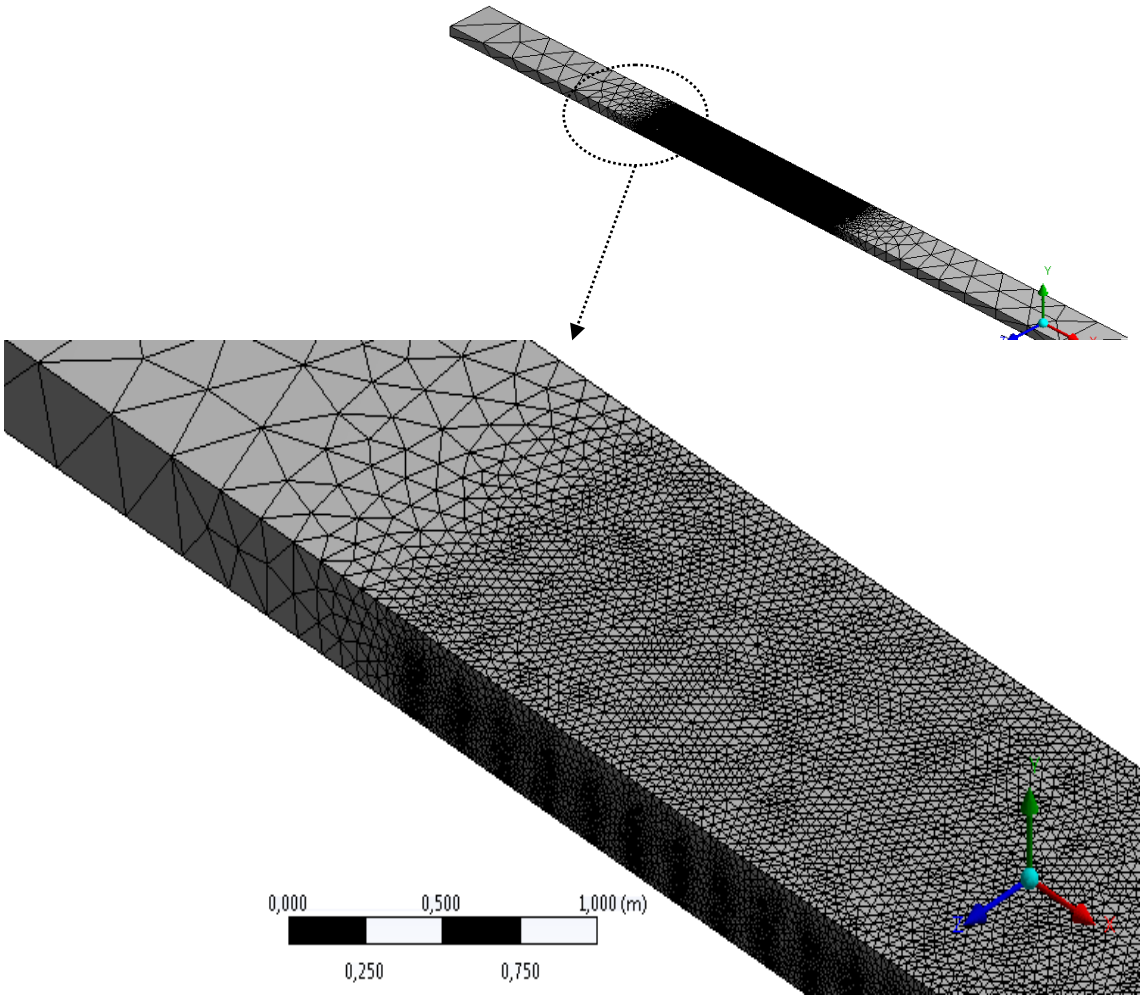
S16: Akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki dikdörtgen kanal

Bu kanala ait geometri Şekil 6.21'de görülmektedir. Bu modelde, akım başlangıcında oluşabilecek düzensizlikleri en aza indirebilmek için kanal boyu 20 m'ye çıkarılmıştır. Kanal geometrisini, deneydekine göre akım girişinin daha uzun olacağı şekilde yani kanal başlangıcının 6 m mansabından itibaren 180 mm uzunluğunda 300 adet çubuk yerleştirerek çubukların bitiminden kanal bitimine uzaklığın da deney setindekinden daha uzun olacak şekilde 8 m olması sağlanmıştır. Problem geometrisi düşük yoğunlukta bitki örtüsü içeren kanal için simetrik olmadığından herhangi bir simetri kolaylaştırılması yapılmamıştır.



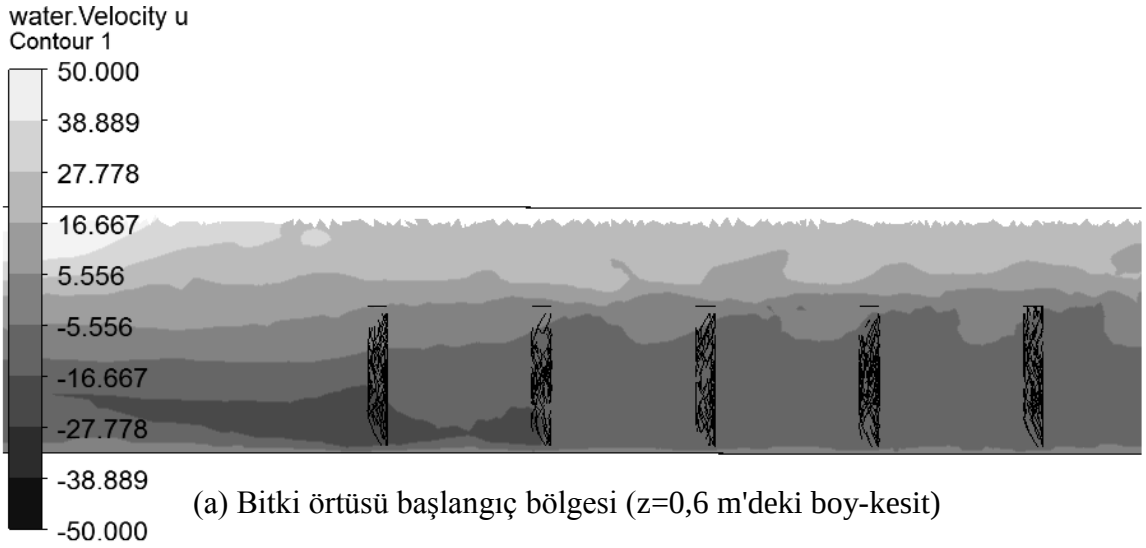
Şekil 6.21. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal geometrisi ve enine kesit

Şekil 6.22'de gösterilen çözüm ağı ANSYS yazılımının "meshing" bölümünde otomatik olarak oluşturulmuş olup eleman şekli üçgen (triangle) ve eleman sayısı 3 212 648'dir.

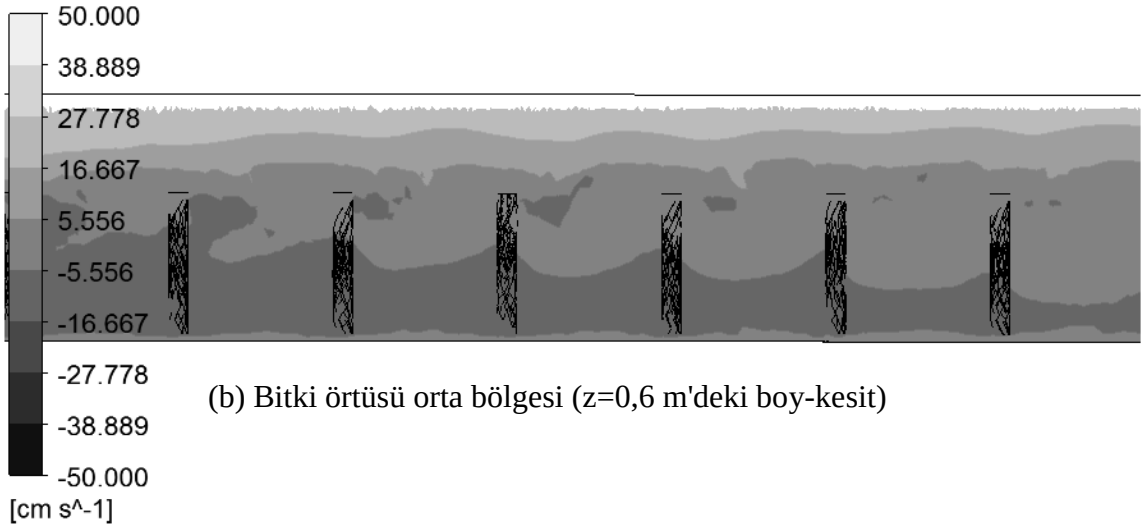


Şekil 6.22. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal çözüm ağı

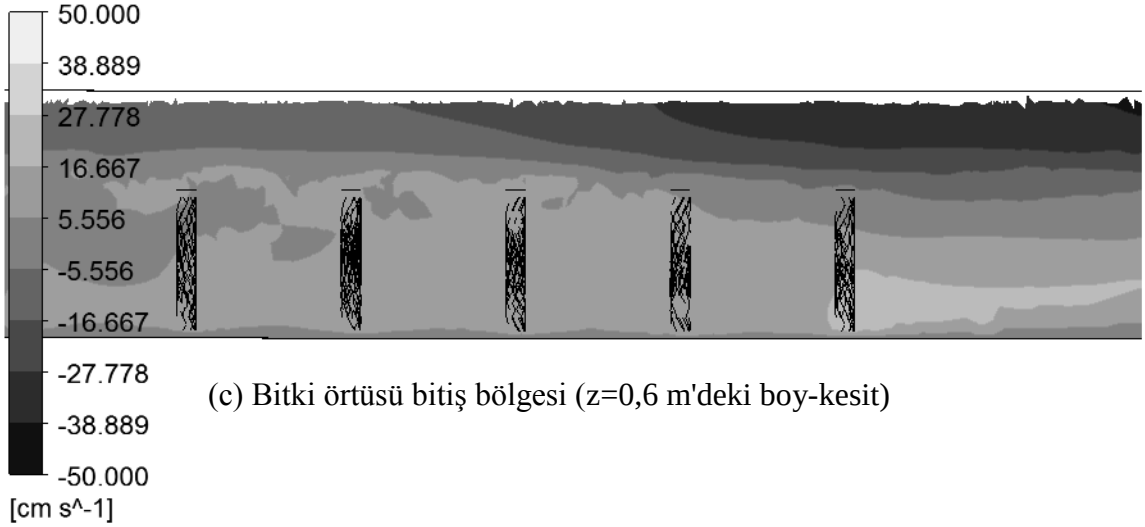
Sayısal modelden elde edilen kanal boyuna yönündeki hız sonuçları kanal ekseni merkezinden geçen z=0,6 m'deki bir boy kesit üzerinde gösterilmiştir. Boyuna yöndeki profilin uzun olması nedeniyle sonuçlar, üç kısımda; kanalda bitki başlangıç bölgesinde, bitki orta bölgesinde ve bitki örtüsünün bittiği bölgede ayrı olarak çizilmiştir. Şekil 6.23-a'da bitki örtüsünün başlangıç bölgesinde giriş hızı olan 4,5 cm/s hızın, ilk çubukta kanal tabanında negatif hız değerlerinden 27 cm/s seviyesine çıktığı görülmektedir. Bitki örtüsü orta bölgesinde ise tabana ve rijit silindirlere yakın bölgede hızın artarak 5 cm/s seviyesinde olduğu, su yüzeyine yakın bölgelerde ise hızın 27 cm/s olduğu görülmüştür (Şekil 6.23-b). Bitki örtüsünün son bölümünün gösterildiği Şekil 6.23-c'de tabana yakın bölgede hızın 30 cm/s olduğu, yüzeye yakın bölgelerde ise negatif hızlarla suyun bu bölgeyi terk ettiği görülmüştür.



(a) Bitki örtüsü başlangıç bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)



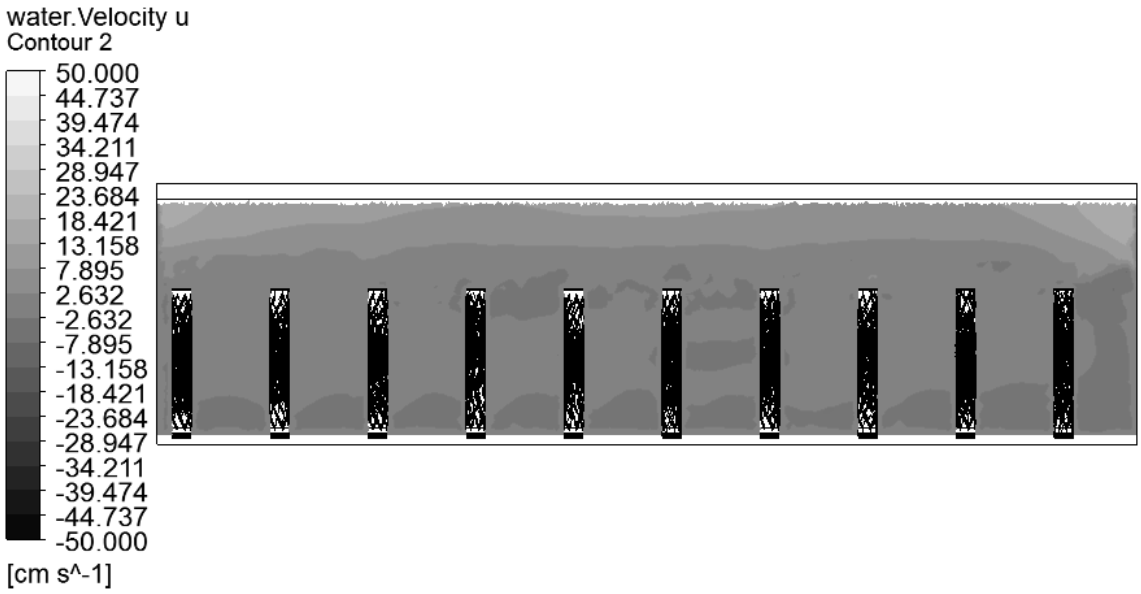
(b) Bitki örtüsü orta bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)



(c) Bitki örtüsü bitiş bölgesi (z=0,6 m'deki boy-kesit)

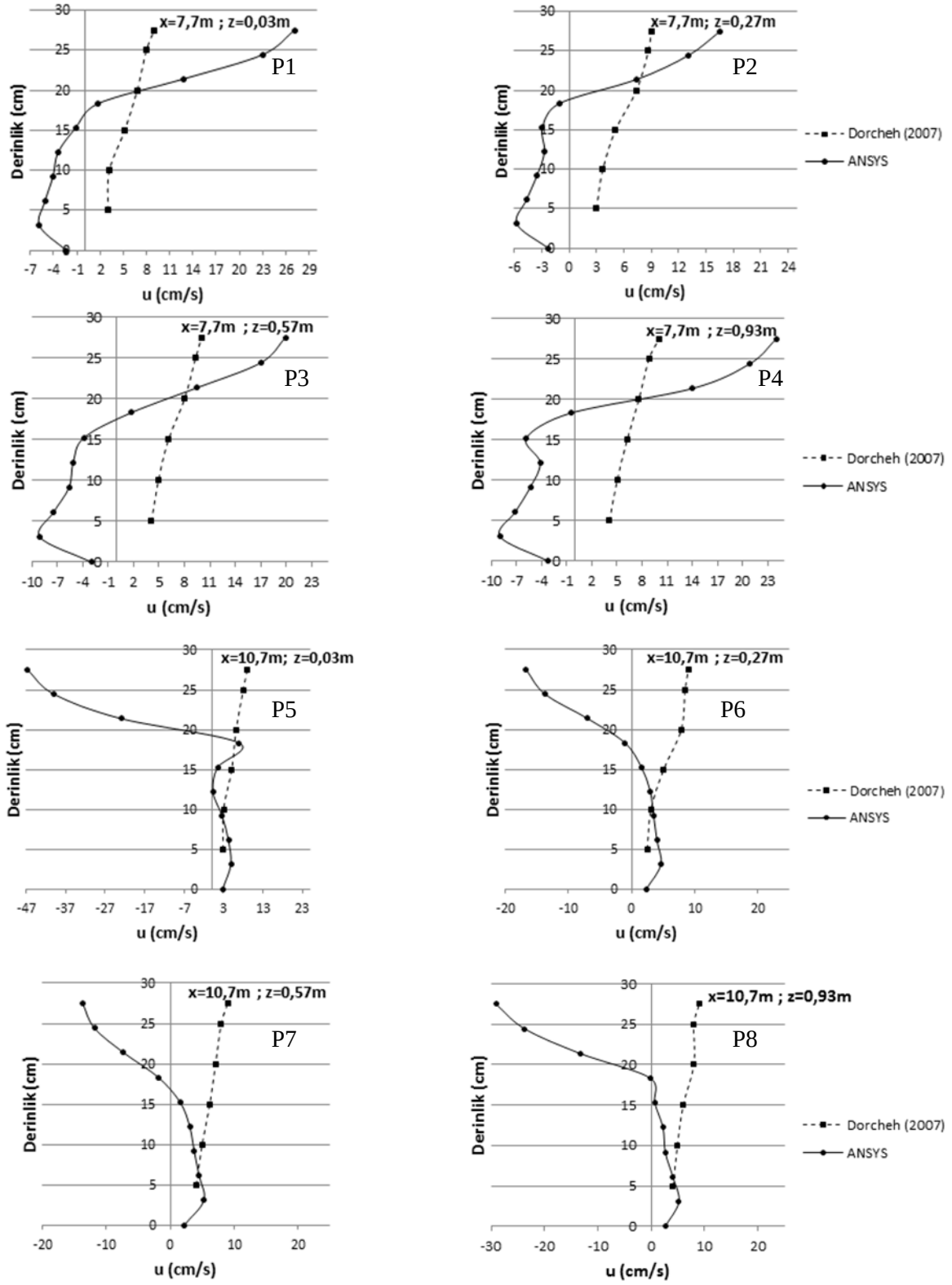
Şekil 6.23. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal boy-kesitinde boyuna doğrultuda hızın değişimi

x=9 m'den geçen kanal en kesitindeki boyuna doğrultudaki hız dağılımı Şekil 6.24'te görülmektedir. Bu kesit tam olarak çubukların merkezinden geçmektedir. Kanal kenarlarında geometrinin simetrik olmaması nedeniyle simetrik olmayan bir hız dağılımı gözlenirken, iç bölgelerde simetriğe yakın bir hız dağılımı gözlenmiştir. Çubuk aralarında, kanal tabanında sıfır olan hızın tabana yakın bölgede 2,5 cm/s mertebesine çıktığı, derinlik azaldıkça 13 cm/s mertebesine yükselmiştir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=9 m)

Deneyde ölçüm alınan noktalardaki boyuna doğrultudaki hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 6.25'te sunulmaktadır. Bu noktalar, sayısal modeldeki kanalın giriş bölgesinden 7,7 m ilerideki kesit-1 ve 10,7 m ilerideki kesit-2'de yer almaktadır (Bkz. Şekil 4.2). Kanal duvarına yakın z = 0,03 m'deki P1 noktasında ANSYS CFX'in kanal tabanında negatif hız değerleri, su yüzeyine doğru ise deney sonuçlarından daha yüksek hız değerleri verdiği gözlenmiştir. P5 noktasında ise ANSYS CFX'in kanal tabanından çubukların yüksekliğine kadar deney sonuçları ile uyumlu sonuçlar verdiği, su yüzeyine doğru da negatif hız değerleri verdiği görülmüştür. Kanal yan duvarından iç taraflara doğru z = 0,27 m'deki P2 ve P6 noktalarında sırasıyla P1 ve P5 noktalarındakine benzer sonuçlar görülmüştür. Bu noktalar tam olarak çubuk arkasında yer almaktadır. Kanalın tam ortasına denk gelen z = 0,57 m'deki P3 noktasında P1 ve P2, P7 noktasında ise P5 ve P6 noktalarındakine benzer sonuçlar görülmektedir. Aynı durum çubukların bitimine yakın z= 0,93 m'deki P4 ve P8 noktalarında da görülmektedir.



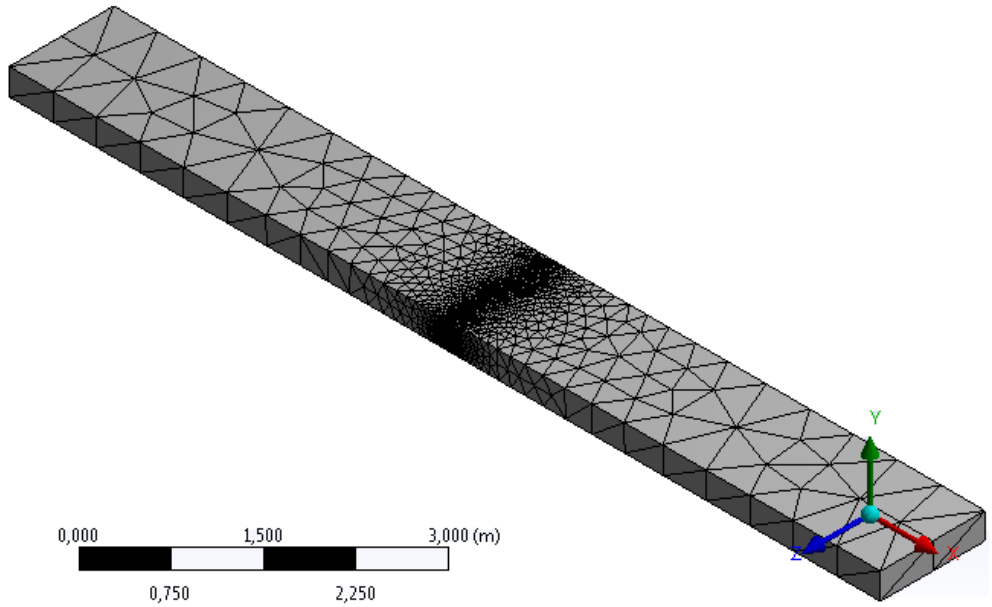
Şekil 6.25. Batmış bitkili akım uzatılmış kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi

6.2.2. Orta yoğunluklu (λ=0,002 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu (senaryo: S17-S18-S19-S20)

Çizelge 6.5. Orta yoğunluklu batmış bitkili akım durumu senaryoları

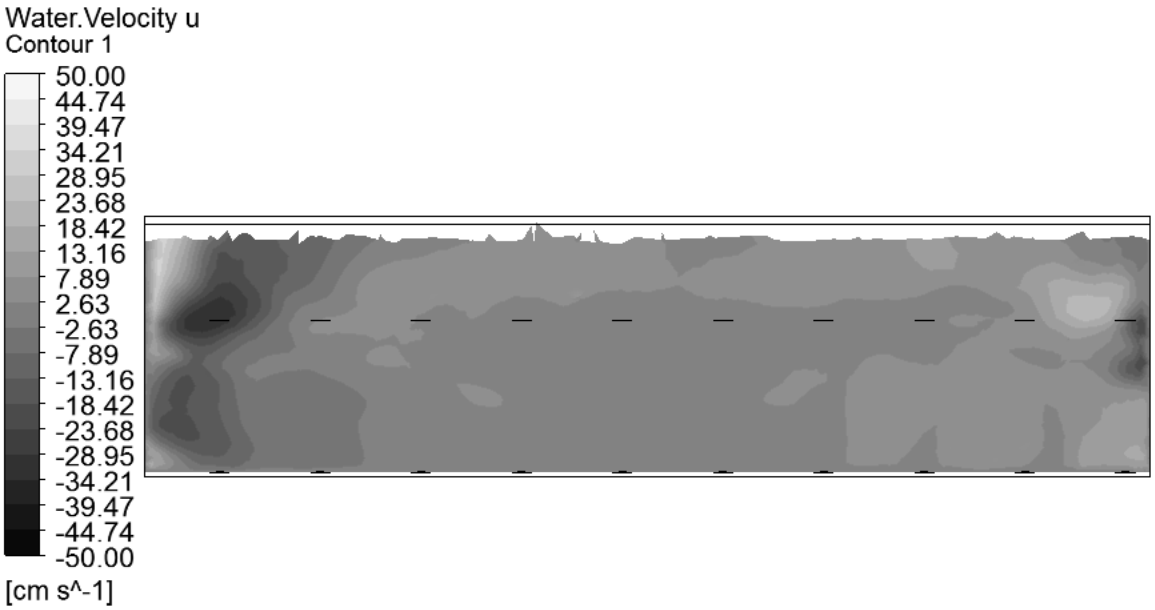
Senaryo No	Kanal Geometrisi Özellikleri	Çözüm Ağı Yapısı Çubuk Sayısı	Sonuç
S17	Orijinal Kanal (deney) L= 10 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Çubuk sayısı: 600 adet	Yazılım hata verdiğinden analiz tamamlanmamıştır. Çözüm ağının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. 10 m uzunluktaki kanalın tam ortasına denk gelecek şekilde iki sıra yani 20 adet çubuk şaşırtmalı şekilde yerleştirilerek farklı bir model hazırlanmış ve çözüm ağı, otomatik oluşturulduğunda sonuç elde edilmiştir.
S18	Girişi uzun kanal L= 14 m		
S19	Girişi kısa kanal L= 16 m		
S20	Uzatılmış kanal L= 20 m		

Orta yoğunluklu batmış bitkili akım durumunda da sistemin sürekli hata vermesi ve iterasyonları bir türlü gerçekleştirmemesi sebebiyle farklı iki senaryo daha çalışılmıştır (Bkz. Çizelge 6.5). Bu amaçla ilk olarak 10 m uzunluğunda dikdörtgen bir kanal oluşturularak içerisine 50 adet silindirik çubuk yerleştirilmiştir. Ancak yine de herhangi bir sonuç alınamamıştır. Daha sonra, Şekil 6.26' da görüldüğü üzere orta yoğunluklu batmamış bitkili akım durumundaki kanal ile aynı uzunluktaki kanalın tam ortasına denk gelecek şekilde iki sıra yani 20 adet çubuk şaşırtmalı şekilde yerleştirilerek bir model oluşturulmuş ve çözüm ağı, ANSYS yazılımı ile otomatik oluşturulmuştur (eleman sayısı 681 827). ANSYS yazılımının otomatik olarak gerçekleştirdiği ağ yapılarında batmış akım durumunda yazılımın sürekli üçgensel yapıda ağ oluşturduğu gözlenmiştir.



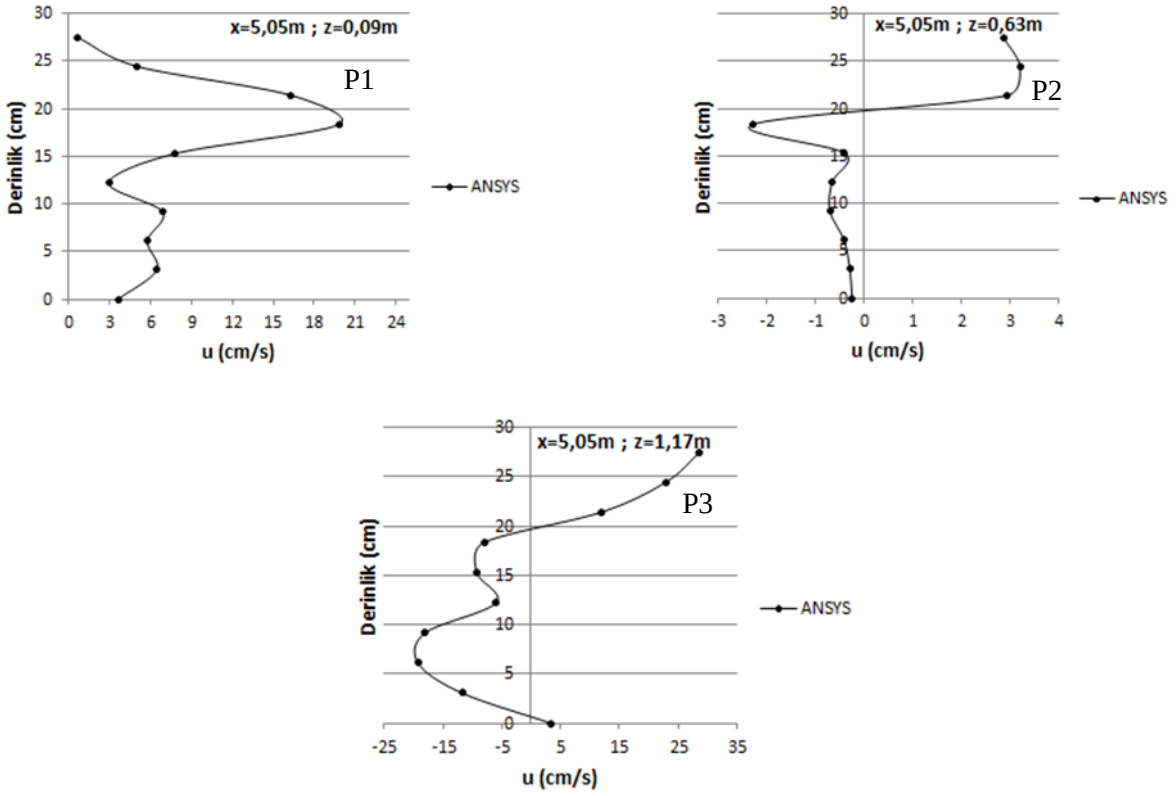
Şekil 6.26. Batmış bitkili akım durumunda 20 çubuklu kanal geometrisinin çözüm ağı

x=5,05 m'den geçen kanal en kesitindeki boyuna doğrultudaki hız dağılımı Şekil 6.27'de görülmektedir. Bu kesit tam olarak çubukların merkezinden geçmektedir. Kanal kenarlarında geometrinin simetrik olmaması nedeniyle simetrik olmayan bir hız dağılımı gözlenmektedir. En kesit genelinde yer yer çok yüksek hız değerleri gözlenmektedir. Bu durum, en kesit genelinde dengeli bir hız dağılımının olmadığının göstergesidir.



Şekil 6.27. Batmış bitkili akım durumunda 20 çubuklu kanal en-kesitinde boyuna doğrultudaki hızın değişimi (x=5,05 m)

Deneyde ölçüm alınan noktalardaki boyuna doğrultudaki hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 6.28'de sunulmaktadır. Şekil 6.28'de faklı noktalardaki hız değerlerinin derinlik boyunca negatif hız değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 6.28. Batmış bitkili akım durumunda 20 çubuklu kanal boyuna doğrultuda hızın derinlik boyunca değişimi

6.2.3. Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu (senaryo: S21-S22-S23-S24)

Yüksek yoğunluklu batmış akım durumunda oluşturduğumuz senaryoların hiçbirinden sonuç alınamamıştır (Çizelge 6.6). Gerek çözüm ağı yapısında gerekse başlangıç sınır şartlarında çeşitli değişikliklere gidilmesine rağmen yazılım sürekli hata vererek iterasyonları gerçekleştirmemiştir.

Çizelge 6.6. Yüksek yoğunluklu batmış bitkili akım durumu senaryoları

Senaryo No	Kanal Geometrisi Özellikleri	Çözüm Ağı Yapısı Çubuk Sayısı	Sonuç
S21	Orijinal Kanal (deney) L= 10 m	Yazılım tarafından otomatik oluşturulmuştur. Çubuk sayısı: 600 adet (simetrik geometride) 1200 adet (tam geometride)	Gerek çözüm ağı yapısında gerekse başlangıç sınır şartlarında çeşitli değişikliklere gidilmesine rağmen yazılım sürekli hata vererek iterasyonları gerçekleştirmemiştir.
S22	Girişi uzun kanal L= 14 m		
S23	Girişi kısa kanal L= 16 m		
S24	Uzatılmış kanal L= 20 m		

7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, bitki örtüsü içeren dikdörtgen kesitli bir kanaldaki akım davranışları ANSYS CFX programı ile incelenmiş olup elde edilen analiz sonuçlarının Dorcheh'in (2007) doktora tezindeki deney sonuçları ile karşılaştırması yapılmıştır.

Bu çalışma, akım başlangıcında oluşabilecek düzensizliklerin analiz sonuçlarını nasıl etkilediğini ve deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş olan hız değerleri ile sayısal analiz sonucunda elde edilen hızların ne oranda farklılık göstereceğini belirlemek için yapılmıştır. Sayısal çözümde Dorcheh'in (2007) deney setinde kullandığı geometri, sınır şartları ve akım parametre verilerinin orijinal hali kullanılmış fakat elde edilen sonuçlardan sonra sayısal çözümde kullanılan geometride bazı düzenlemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla geniş dikdörtgen bir kanalda az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve çok yoğunluklu durumlar için akım içerisinde batmış ve batmamış bitki durumlarına göre oluşturulan deney setlerinin verileri kullanılarak analiz sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmamış bitkili akım durumu için dört adet senaryo çalışılmıştır. Bu senaryoların analiz sonuçlarına bakıldığında aşağıdaki tespitler elde edilmiştir.

S1 (10 m uzunluğundaki kanal) ve S2 (uzun girişli 14 m uzunluğundaki kanal) senaryoları, yazılım hata verdiğinden analiz edilememiştir. Bu senaryolarda program tarafından otomatik olarak oluşturulan çözüm ağlarının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. S1 ve S2 senaryolarındaki çözüm ağı yapısının daha ayrıntılı bir şekilde irdelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

S3 (kısa girişli 16 m uzunluğundaki kanal) senaryosunda kanal duvarına yakın yerlerde ve bitki bölgesinin başlarında hızların su yüzeyine yaklaştıkça, bölgenin bitimine doğru ise hızların kanal tabanına yakın yerlerde deney sonuçları ile uyum gösterdiği görülmüştür. Kanalın ortasına doğru ve bitkili bölgenin başlarında hızların, su yüzeyine doğru uyum gösterdiği, bitkili bölgenin bitimine yakın yerlerde ise deney ve ANSYS CFX sonuçlarının genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Kanalın tam ortasında, kanal tabanına yakın bölgede deney sonuçlarına göre daha yüksek hızlar gözlemlenirken, su yüzeyi seviyesine yaklaştıkça ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği

görülmüştür. Burada ölçüm alınan noktaların tam olarak iki çubuk arasında yer alması, dolayısıyla bu noktaların membaında yer alan çubukların akıma etkileri nedeniyle bu ölçüm noktalarının girişim bölgesi içerisinde kalması böyle bir sonucu doğurduğu düşünülmektedir. Bu senaryoda kullanılmış olan çözüm ağı yapısının ve eleman boyutlarının çeşitlendirilerek analizlerin çoğaltılması ile daha ayrıntılı irdelemeler yapılabilir.

S4 (akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki kanal) senaryosunda iki tip çözüm ağı kullanılarak analizler yapılmıştır. Birinci tip çözüm ağında giriş ve çıkış bölgelerinde kullanılan eleman boyutu ikinci tip çözüm ağına göre daha büyük seçilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında ikinci tip çözüm ağının deney sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Çözüm ağındaki eleman boyutunun büyük olması ölçüm alınan noktaların bazılarında hız değişimlerinin deney sonuçları ile uyumsuz olmasına neden olmuştur. İkinci tip çözüm ağı sonuçlarına bakıldığında, kanal duvarına yakın yerlerde ve bitkili bölgenin başlarında hızların genel olarak deney sonuçları ile uyumlu olduğu ancak, bitkili bölgenin bitimine yakın yerlerde hızların dengeli bir dağılım göstermediği gözlenmiştir. Kanalın ortasına doğru bitkili bölge boyunca deney ve ANSYS CFX sonuçlarının genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Kanalın tam ortasında, kanal tabanına yakın bölgedeki hızlar uyumlu görünürken, su yüzeyi seviyesine yaklaştıkça ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmüştür. İkinci tip çözüm ağında az yoğunluklu durum için çalışılmış olan senaryolardan S4 senaryosu, deney sonuçlarına en yakın hız değerlerini vermiştir.

Orta yoğunluklu (λ=0,002 m^{-1}) batmamış ve batmış bitkili akım durumları için çalışılan S5-S17 (10 m uzunluğundaki kanal), S6-S18 (uzun girişli 14 m uzunluğundaki kanal), S7-S19 (kısa girişli 16 m uzunluğundaki kanal) ve S8-S20 (akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki kanal) senaryolarının hiçbirinden sonuç elde edilememiştir. Bu senaryolarda çubukların dizilimi şaşırtmalı olduğundan yazılım tarafından oluşturulan otomatik ağ yapısının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Orta yoğunluk durumu için kullanıcı tarafından oluşturulacak bir çözüm ağının kullanılarak analizin tekrarlanması gerektiği düşünülmektedir. Programın şaşırtmalı bir dizilim sebebiyle hata verip vermediğini anlamak için daha az sayıda çubuk kullanılarak analiz yapılmıştır ve az sayıda çubuk kullanılması durumunda programın sonuç verdiği gözlenmiştir.

Batmış akım durumunda su ve hava birleşim bölgesinin program tarafından iyi analiz edilemediği ya da probleme yönelik farklı sınır şartlarının araştırılarak analizlerin çeşitlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmamış akım durumu için çalışılan S9 (10 m uzunluğundaki kanal), S10 (uzun girişli 14 m uzunluğundaki kanal) ve S11 (kısa girişli 16 m uzunluğundaki kanal) senaryosundan herhangi bir sonuç alınamamıştır. S12 (akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki kanal) senaryosunda da genel olarak elde edilen hız değerlerinin deneydeki değerlerle uyuşmadığı gözlenmiştir. Kanal duvarına yakın yerlerde ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmüştür. Kanalın ortasına doğru, kanal tabanına yakın yerlerde ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha yüksek hızlar verdiği, su yüzeyine yaklaştıkça da daha düşük hızlar verdiği gözlenmiştir. Kanalın tam ortasında, ANSYS CFX'in deney sonuçlarına göre daha düşük hızlar verdiği görülmüştür. Yüksek yoğunluk durumu için çubukların fazlalığı ve geometrinin simetrik olması nedeniyle simetrik bir geometride çalışılmıştır. Dolayısıyla daha net sonuçlara ulaşabilmek için kanalın tam geometride ve farklı çözüm ağlarında analiz ettirilerek bu bölgedeki sonuçlara etkisinin araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Ayrıca; batmamış bitki durumları için yazılım içerisinde yer alan diğer türbülans modellerinin bu bölgedeki sonuçlara etkisinin araştırılması amacıyla *k*-ε türbülans modeli yerine yazılımın izin verdiği "shear stress transport (*k*-*w* türbülans modeli), SSG reynolds stress modeli ve BSL reynolds stress modeli seçilerek ek analizler yapılmıştır. Ancak, yazılım bu ek analizler için çözüm sağlamamıştır. Bu türbülans modelleri incelendiğinde farklı özel problemler ve akım koşulları için tanımlandıkları sonucuna varılmıştır.

Batmamış bitkili akım durumlarına genel olarak bakıldığında bekleneceği üzere maksimum hızların çubuk aralarında, minimum hızların ise çubuk arkalarında oluştuğu görülmüştür.

Az yoğunluklu (λ=0,001 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu için çalışılan S13 (10 m uzunluğundaki kanal), S14 (uzun girişli 14 m uzunluğundaki kanal) ve S15 (kısa girişli 16 m uzunluğundaki kanal) senaryolarının hiçbirinden sonuç elde edilememiştir. Bu senaryolarda yazılım tarafından oluşturulan otomatik ağ yapısının oldukça karmaşık bir

yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Burada çubuk boyları su seviyesinin altında olduğundan su ve hava birleşim bölgelerinin iyi analiz edilemediği sonucuna varılmıştır.

S16 (akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki kanal) senaryosunda bitkili bölgenin başlarında yazılımın kanal tabanında negatif hız değerleri, su yüzeyine doğru ise deney sonuçlarından daha yüksek hız değerleri verdiği gözlenmiştir. Bitkili bölgenin bitimine doğru ANSYS CFX'in kanal tabanından çubukların yüksekliğine kadar deney verileri ile uyumlu sonuçlar ürettiği, su yüzeyine doğru ise negatif hızlar hesaplandığı görülmüştür.

Yüksek yoğunluklu (λ=0,004 m^{-1}) batmış bitkili akım durumu için çalışılan S21 (10 m uzunluğundaki kanal), S22 (uzun girişli 14 m uzunluğundaki kanal), S23 (kısa girişli 16 m uzunluğundaki kanal) ve S24 (akım girişi ve çıkışı uzatılmış 20 m uzunluğundaki kanal) senaryolarının hiçbirinden sonuç alınamamıştır. Burada, çubuk sayısının ve yoğunluğunun yüksek olmasının yanı sıra çubukların akım içerisinde batık olmasının çözüm ağının oldukça karmaşık bir hale dönüşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda elde edilmiş olan sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en makul çözümlerin az yoğunluklu ve batmamış bitki örtülü akım durumlarında elde edildiği, bu analizler için en uygun modelin *k*-ε türbülans modeli olduğu ve çözüm ağı yapısının çeşitlendirilmesi ile daha ayrıntılı sonuçlara ulaşılabileceği görülmüştür. Ayrıca, burada çalışılmış olan tüm senaryoların daha geniş bir platformda, gerek çözüm ağı yapısı gerekse sınır koşulları yönünden ayrıntılı bir şekilde çalışılarak sonuçların daha net bir şekilde değerlendirilebileceği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

Ansari, K. (2011). *Boundary shear stress distribution and flow structures in trapezoidal channels*, Unpublished PhD Thesis, University of Nottingham, United Kingdom.

ANSYS, Inc. (2008). *ANSYS Release 12.1*.

ANSYS, Inc. (2009). *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*, 258.

ANSYS, Inc. (2012). *ANSYS® Workbench 14.5 Help System*.

Baghalian, S., Bonakdari, H. and Fazli, M. (2011, April). *Numerical simulation of flow in open channel with a 90^o bend*. Presented at the Sixth National Congress on Civil Engineering, Semnan University, Iran.

Bennett, S. J., Pirim, T. and Barkdoll, B. D. (2002). Using simulated emergent vegetation to alter stream flow direction within a straight experimental channel. *Geomorphology*, 44(2002), 115-126.

Chow, V. T. (1959). *Open channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 680.

Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M. (2012). *Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları*. (Çev. T. Engin). Ankara: Palme Yayıncılık. (Eserin orijinali 2008'de yayımlandı), 940.

Dewangan, N., Das, A. K. and Das, P. K. (2008). Free surface flow over a bump with hydraulic jump. *Fourth BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering*, Bangladesh, 330-335.

Dorcheh, S. A. M. (2007). *Effect of rigid vegetation on the velocity, turbulence and wave structure in open channel flows*, Unpublished PhD Thesis, University of Cardiff, United Kingdom.

Dunn, C. J. (1996). *Experimental determination of drag coefficients in open channel with simulated vegetation.* Unpublished Master's Thesis, University of Illinois at Urban-Champaign, Urbana, IL.

Erduran, K. S. and Kutija, V. (2003). Quasi-three-dimensional numerical model for flow through flexible, rigid, submerged and non-submerged vegetation. *Journal of Hydroinformatics*, 5(3), 189–202.

Ferro, V. (1999). Friction factor for gravel-bed cahnnel with high boulder concentration. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(7), 771-778.

Fischer, A. T., Stoesser, T., Bates, P. and Olsen, N. R. B. (2010). 3D numerical modelling of open channel flow with submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 39(3), 303-310.

French, R. H. (1986). *Open-channel hydraulics*. Singapure: McGraw-Hill, 705.

Ghisalberti, M. and Nepf, H.M. (2004). The limited growth of vegetated shear layers. *Water Resources Research*, 40(7), 1-12.

Graf, W. H. and Altinakar, M. S. (1998). *Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry*. England: Wiley, 681.

Gümüş, V., Aköz, M. S. ve Kırkgöz, S. (2013). Kapak mansabında batmış hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Teknik Dergisi*, 24(2), 6379-6397.

Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries, *Journal of Computational Physics*, 39, 201-225.

Kim, S. J. (2011). *3D numerical simulation of turbulent open-channel flow through vegetation*, Unpublished PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, USA.

Koçyiğit, Ö. ve Alyavuz, B. (2013). Dikdörtgen kesitli açık kanal akımında silindirik engel çevresinde akımın incelenmesi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 3. Su Yapıları Sempozyumu Kitabı,* (Yayın No: E714/02), 133-141.

Luhar, M. and Nepf, H. M. (2011). Flow-induced reconfiguration of buoyant and flexible aquatic vegetation. *Limnology and Oceanography*, 56(6), 2003-2017.

Najmeddin, S. (2012). *CFD modelling of turbulent flow in open-channel expansions.* Unpublished Master's Thesis, University of Concordia, Canada.

Nepf, H. M. (1999). Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water Resources Research*, 35(2), 479-489.

Nezu, I. and Nakagawa, H. (1993). *Turbulence in open channel flows*. Rotterdam: A.A. Balkema, 293.

Nezu, I. and Rodi, W. (1993). Experimental study on secondary currents in open-channel flow. *Twenty-First IAHR Congress*, Melbourne, Australia, 19-23.

Özbek, T. (2009). *Açık kanal akımlarının hidroliği ve hidrolik yapılar*. Ankara: Teknik Yayınevi, 644.

Stamou, A. I., Papadonikolaki, G., Gkesouli, A. and Nikoletopoulos, A. (2011). Modelling the effect of vegetation on river floodplain hydraulics. *Twelfth International Conference on Environmental Science and Technology*, Greece, 1818-1825.

Stenmark, E. (2013). *On Multiphase Flow Models in ANSYS CFD Software*. Unpublished Master's Thesis, Department of Applied Mechanics Division of Fluid Dynamics Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Tanino, Y. and Nepf, H. M. (2008). Laboratory investigation of mean drag in a random array of rigid, emergent cylinders. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(1), 34-41.

Terzuoli, F., Galassi, M. C., Mazzini, D. ve D'Auria F. (2008). CFD code validation against stratified air-water flow experimental data. *Hindawi Publishing Corporation Science and Technology of Nuclear Installations*, 2008(434212), Italy, 7.

Thom, A. S. (1975). Momentom, mass and heat exchange of plant communities. In J. L. Monteith (Ed.), *Vegetation and the atmosphere*. London: Academic Press, pp. 57-109.

Wilson, C. A. M. E., Hoyt, J. and Schnauder, I. (2008). Impact of foliage on the drag force of vegetation in aquatic flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(7), 885-891.

Wilson, C. A. M. E., Yagci, O., Rauch, H. P. and Olsen, N. R. B. (2006). 3D numerical modelling of a willow vegetated river/floodplain system. *Journal of Hydrology*, 327(1-2), 13-21.

Yagci, O. and Kabdasli, M. S. (2008). The impact of single natural vegetation elements on flow characteristics. *Hydrological Processes*, 22(21), 4310-4321.

Yılmaz, Ö. (2009). *Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemiyle İncelenmesi,* Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Trabzon, 9-15.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : KOÇ, Selcan

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 17.02.1988, Antakya

Medeni hali : Evli

Telefon : (537) 631 51 31

Faks :

e-posta : selcansovukluk@hotmail.com

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2011
Lise	Hacı Ali Nurlu Lisesi	2005

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2011-devam ediyor	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

Sovukluk, S., Koçyiğit, Ö. ve Alyavuz, B. (2015). Akarsu Yatağındaki Bitki Örtüsünün Akım Şartlarına Etkisinin Sayısal Yöntemle İncelenmesi. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 4. Su Yapıları Sempozyumu Kitabı*, 361-370.

Hobiler

Step-Aerobik, Yemek yapma, Kitap okuma



GAZİ GELECEKTİR...