



**FARKLI BİTKİ KÜMESİ İÇEREN AÇIK KANAL AKIMINDAKİ HIZ
DAĞILIMININ ANSYS-FLUENT PROGRAMI İLE MODELLENMESİ**

Muhammed Raşit AYDOS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Muhammed Raşit AYDOS tarafından hazırlanan “FARKLI BİTKİ KÜMESİ İÇEREN AÇIK KANAL AKIMINDAKİ HIZ DAĞILIMININ ANSYS-FLUENT PROGRAMI İLE MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Mete KÖKEN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 18/06/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.

Muhammed Raşit AYDOS

18/06/2019

FARKLI BİTKİ KÜMESİ İÇEREN AÇIK KANAL AKIMINDAKİ HIZ DAĞILIMININ
ANSYS-FLUENT PROGRAMI İLE MODELLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed Raşit AYDOS

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Açık kanal akımlarında hız dağılımını en kesit şekli, kayma gerilmesi, ikincil akışlar, bitki örtüsü muhteviyatı, viskozite, difüzyon katsayısı ve sediment konsantrasyonu gibi birçok faktör etkilemektedir. Kanal içerisinde bulunan bitki örtüsü, pürüzlülüğü arttırmakta, dolayısıyla akımdaki hız dağılımını önemli derecede değiştirmektedir. Ayrıca bitki örtüsünün özelliklerine bağlı olarak akım şartları da değişiklik gösterir. Literatürde konu ile ilgili deneysel çalışmalar, ampirik modeller ve sayısal çözümler mevcuttur. Deneysel çalışmaların maliyetli olması, ampirik formüllerin sınırlı ölçek aralığına uygulanabilmesi, bilgisayar teknolojisindeki gelişim ile birlikte sayısal çözüm yöntemleri alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS-Fluent programı kullanılmıştır. Dikdörtgen kesitli açık kanal akımı içerisinde bitki örtüsünün rijit silindirik çubuklar ile temsil edildiği, bitki örtüsünün batmış veya batmamış durumları için deneysel verilerden elde edilen sonuçlar, bu tez kapsamında elde edilen sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kanal en kesitinin kısmi veya tamamının bitki örtüsü ile kaplı olma durumu da incelenmiştir. Bununla birlikte literatürde bitki örtüsü içeren açık kanal akımlarını modellemek için farklı yazılımlar kullanılarak yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlar da bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan model ile kanal kesiti boyunca akım davranışı incelenmiş ve elde edilen sonuçların literatürde belirtilen fiziksel model sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sayısal model çözümünde önemli bir faktör olan çözüm ağı sıklığı, akım içerisindeki bitki örtüsü miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu sayı artıkça modelin kullanacağı çözüm ağı miktarı da artmakta ve dolayısıyla analiz süreleri de uzamaktadır.

Bilim Kodu : 91107

Anahtar Kelimeler : Pürüzlülük, bitki örtüsü, H.A.D., ANSYS Fluent

Sayfa Adedi : 155

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT

MODELING OF VELOCITY DISTRIBUTION IN OPEN CHANNEL FLOW
INCLUDING DIFFERENT VEGETATION PATTERN BY ANSYS-FLUENT
SOFTWARE
(M. Sc. Thesis)

Muhammed Raşit AYDOS

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
June 2019

ABSTRACT

In natural stream, many factors such as cross-sectional shape, shear stresses, secondary currents, existence of vegetation, viscosity, diffusion coefficient and sediment concentration affect the current circulation across the channel. Presence of dense vegetation causes higher roughness in the canal, consequently the velocity distribution along the cross-section over the river is significantly affected as well. Moreover, depending on the characteristics of the vegetation, the flow conditions in the channel also alters accordingly. Experimental, empirical and numerical model studies on the subject are available in the literature. However, experimental set-up is not often cost-effective and empirical formulas can only be applied to a limited scale case. Therefore, numerical models may be considered as an alternative solution together with developments of computer technology. In this thesis, ANSYS-Fluent program which is a computational fluid dynamics software was used in order to compare and simulate the velocity profiles emerged throughout the vegetated flume. Literature survey provided the flow data observed from a set of experiments which were conducted in a rectangular cross-sectional flume intended for the submerged or non-submerged conditions of the vegetation. In the experiment, vegetation was represented by fixed rigid cylindrical rods. Those experimental data are compared with the numerical model results originated from the model runs for various analysis conditions. Analysis comprises fully or partially covered vegetation cases over the cross-section. In addition, results produced from the Fluent model are compared to the counterpart numerical model outcomes (i.e. ANSYS-CFX). As a conclusion, the analysis results show that Fluent model has a prominent capacity that produces analogous current profiles obtained from the experimental observations in the literature. Another inference from the runs of the analysis that the mesh density will be used in the numerical model must be primarily considered as a significant factor for the future runs. Because, it is directly proportional by the quantity of the existing vegetation in the stream. As the number of vegetation increases, the number of mesh that will be used by the model also increases and thus the simulation times are prolonged.

Science Code : 91107

Key Words : Roughness, vegetation, CFD, ANSYS Fluent

Page Number : 155

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimime başladığım ilk günden itibaren hem ders dönemim sürecince hem de tez aşamam boyunca çok değerli katkılarıyla her zaman destek olan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Önder KOÇYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca destek olan mesai arkadaşlarıma ve yüksek lisans tezimi tamamlayabilmem için maddi ve manevi yardımlarını hiç esirgemeyen değerli arkadaşım ve meslektaşım Ahmet Esat KORKUT'a teşekkür ederim. Ayrıca, bin bir emek ve sevgiyle beni yetiştiren, her zaman yanımda olan ve her başarımda katkıları bulunan annem Fatma AYDOS'a ve babam Ahmet AYDOS'a, tez çalışmam sürecinde dünyaya gelerek hayatımıza renk katan oğlum Alparslan Göktürk'e ve hayatımın her aşamasında maddi ve manevi olarak destek olan eşim Emine Sevilay AYDOS'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	3
3. AÇIK KANAL AKIM ÖZELLİKLERİ.....	13
3.1. Açık Kanal Akımında Rejim ve Davranış.....	14
3.1.1. Viskozite etkileri	15
3.1.2. Yerçekimi etkileri.....	16
3.1.3. Akımın rejimi	17
3.2. Akım Direnci	17
3.3. Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımı	17
3.4. Açık Kanallarda Debi Denklemleri	18
4. DENEY VERİLERİ VE BİLGİSAYARDA MODELLEME	21
4.1. Deney Kanal Özellikleri ve Hız Ölçümü	23
4.2. Deneyde Kullanılan Kanal ve Bitki Örtüsü Tipleri	23
4.3. Bilgisayarlı Modellemeler	28
5. SAYILSAL MODELİN AÇIKLANMASI	29

	Sayfa
5.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	29
5.2. Fluent Yazılımının Tarihsel Gelişimi	30
5.3. ANSYS Fluent Yazılımı	32
5.4. Programın Kullandığı Denklemler	32
5.4.1. Kütlenin korunumu	34
5.4.2. Momentumun korunumu.....	35
5.5. Akışkan Hacmi (Volume of Fluid, VOF) Modeli	35
5.5.1. Akışkan hacmi eşitliği	36
5.5.2. Açık kanal akımı	36
5.5.3. Memba sınır koşulları	37
5.5.4. Mansap sınır koşulları	38
5.6. Türbülans Modelleri.....	39
5.6.1. k- ϵ türbülans modeli	41
5.6.2. RNG k- ϵ türbülans modeli	41
5.6.3. Realizable k- ϵ modeli	42
5.6.4. Standart k- ω modeli	43
5.7. ANSYS Fluent Programı ile Sayısal Modelin Hazırlanması ve Analiz	43
5.7.1. Geometri oluşturulması	45
5.7.2. Çözüm ağı oluşturulması	46
5.7.3. Sınır koşullarının ve fiziksel özelliklerin tanımlanması	47
5.7.4. Analizin başlatılması ve sonuçların alınması	48
6. FLUENT PROGRAMI İLE SAYISAL MODELLEME	57
6.1. Senaryoların Numaralandırılması	57
6.2. Analizlerde Kullanılan Yazılımın ve Bilgisayarın Özellikleri	58

Sayfa

6.3. Sayısal Modelde Kullanılan Kanal Geometrisi ve Bitki Örtüsü Modelleri	59
6.3.1. Kanal en kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar	60
6.3.2. Kanal en kesitinin kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar ...	64
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	69
7.1. Tamamı Bitki Örtüsü ile Kaplı Kanala Ait Analiz Sonuçları	70
7.1.1. Batmamış bitki örtüsü ($R_h=300\text{mm}$) içeren analiz sonuçları	70
7.1.2. Batmış bitki örtüsü ($R_h=180\text{mm}$) içeren analiz sonuçları	99
7.2. Bir Tarafı Kısmi Olarak Bitki Örtüsü ile Kaplı Kanala Ait Analiz Sonuçları	117
7.2.1. Batmamış bitki örtüsü ($R_h=300\text{mm}$) içeren analiz sonuçları	117
7.2.2. Batmış bitki örtüsü ($R_h=180\text{mm}$) içeren analiz sonuçları	131
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	147
KAYNAKLAR	151
ÖZGEÇMİŞ	155

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Dorcheh tarafından yürütülen çalışmada bileşik kesitli ve dar kanal ile yürütülen deney setleri.....	22
Çizelge 4.2. Dorcheh tarafından yürütülen çalışmada geniş dikdörtgen kanal ile yürütülen deney setleri.....	22
Çizelge 4.3. Çubuk Konfigürasyonları	24
Çizelge 4.4. Dorcheh'in tamamı bitki örtüsü ile kaplı dikdörtgen kanal deney setleri	25
Çizelge 4.5. Dorcheh'in sadece bir yarısının bitki örtüsü ile kaplı dikdörtgen kanal deney setleri	26
Çizelge 4.6. Dorcheh'in kanal kenarlarının bitki örtüsü ile kaplı dikdörtgen kanal deney setleri	27
Çizelge 4.7. Koç'un çalışmasında modellenen kanal ve bitki örtüsü tipleri	28
Çizelge 6.1. ANSYS Fluent 15.0 yazılımı için gerekli asgari sistem özellikleri	59
Çizelge 7.1. Ana senaryoların bitki örtüsü durumuna göre dağılımı	70
Çizelge 7.2. Kanal kesitinin tamamı batmamış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar	71
Çizelge 7.3. Kanal kesitinin tamamı batmış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar	99
Çizelge 7.4. Bir tarafı kısmi olarak batmamış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar	118
Çizelge 7.5. Bir tarafı kısmi olarak batmış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar	131

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Açık kanal akımlarının sınıflandırılması	14
Şekil 3.2. Pürüzlülüğün açık kanal hız dağılımı üzerindeki etkisi.....	18
Şekil 4.1. Dorcheh'in çalışmasındaki temel kanal tipleri: a) Bileşik kesitli kanal, b) Dar kanal, c) Geniş dikdörtgen kanal	21
Şekil 4.2. Deneyde kullanılan kanal geometrisi	23
Şekil 5.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği içinde toplanan farklı disiplinler	30
Şekil 5.2. ANSYS Fluent analizinde işlem adımları	44
Şekil 6.1. Senaryo numaralandırılmasının gösterimi	57
Şekil 6.2. Tamamı kaplı kanalda az yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti, c) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti	60
Şekil 6.3. Tamamı kaplı kanalda orta yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), c) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2), d) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), e) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2)	61
Şekil 6.4. Tamamı kaplı kanalda yüksek yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti, c) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti	63
Şekil 6.5. Kısmi kaplı kanalda az yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti, c) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti	64
Şekil 6.6. Kısmi kaplı kanalda orta yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), c) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2), d) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), e) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2)	65
Şekil 6.7. Kısmi kaplı kanalda yüksek yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti, c) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti	67
Şekil 7.1. Çözüm ağındaki eleman sayısı-Hata oranı grafiği	74

Şekil	Sayfa
Şekil 7.2. Çubuklar bölgesi orta kesiminde bulunan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımının karşılaştırılması	79
Şekil 7.3. Sc_2 Senaryolarında çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in sonuçları ile karşılaştırılması ..	88
Şekil 7.4. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımının Koç'un sonuçları ile karşılaştırılması	89
Şekil 7.5. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in ve Koç'un çalışmalarındaki sonuçlar ile karşılaştırılması	95
Şekil 7.6. Sc4_03/04/05/06 senaryolarında farklı türbülans modelleri ile yapılan analiz sonuçlarında çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in sonuçları ile karşılaştırılması ..	107
Şekil 7.7. Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in sonuçları ile karşılaştırılması	110
Şekil 7.8. Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Koç'un sonuçları ile karşılaştırılması	111
Şekil 7.9. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in sonuçları ile karşılaştırılması	114
Şekil 7.10. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosu ile Sc6_03_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[k-ε]_Symmetry senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte hız dağılımlarının karşılaştırılması	116
Şekil 7.11. Sc7 ile Dorcheh'in derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması ...	122
Şekil 7.12. Sc8 ile Dorcheh'in derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması ...	126
Şekil 7.13. Sc9 ile Dorcheh'in derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması ...	130
Şekil 7.14. Sc10 ile Dorcheh'in derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması ..	135
Şekil 7.15. Sc11 ile Dorcheh'in derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması..	141
Şekil 7.16. Sc12 ile Dorcheh'in derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması..	145

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Çubuk dizilimleri.....	4
Resim 2.2. Huai ve diğerlerinin (2014) çalışmasında çubuk konfigürasyonları: a)X konfigürasyonu, b) Y konfigürasyonu	5
Resim 2.3. Asılı durumdaki bitki örtüsü.....	6
Resim 2.4. Çok katmanlı bitki örtüsü yaklaşımı. Farklı bitki örtüsü yükseklikleri ve 4 katman örneği	7
Resim 2.5. Liu’nun (2008) kanalında çubuk yerleşim düzeni	8
Resim 5.1 Fluent yazılımının tarihsel gelişimi	31
Resim 5.2. Sonlu hacim metodunda kontrol hacmi	34
Resim 5.3. Workbench’in genel görünümü	45
Resim 5.4. Design Modeler’in genel görünümü	46
Resim 5.5. ANSYS Meshing’in genel görünümü.....	47
Resim 5.6. ANSYS CFD penceresinin genel görünümü	47
Resim 5.7. Initialization penceresi.....	49
Resim 5.8. CFD-POST ekranında Isosurface ile oluşturulan su yüzü görüntüsü	50
Resim 5.9. CFD-POST ekranında çubuklar çevresinde akım iplikçiklerinin görünümü.....	50
Resim 5.10. CFD-POST ekranında çubuklar çevresinde akım iplikçiklerinin ayrıntılı görünümü.....	51
Resim 5.11. CFD-POST ekranında akım doğrultusunda fazların hacimsel oran (volume fraction) görünümü	51
Resim 5.12. CFD-POST ekranında çubuklar bölgesinde akımın hız dağılımının perspektiften görünümü.....	52
Resim 5.13. CFD-POST ekranında çubuklar bölgesinde akımın hız dağılımı	52
Resim 5.14. CFD-POST ekranında boyuna doğrultudaki hızın belli bir en kesitteki dağılımının görünümü	53

Resim	Sayfa
Resim 5.15. CFD-POST ekranında belli bir konumda hızın derinlik boyunca değişim grafiği	53
Resim 5.16. Workbench'te aynı proje içinde birden fazla model hazırlanması	54
Resim 5.17. CFD-POST ekranında farklı analizlerin sonuçlarının karşılaştırılması işlemi	55
Resim 5.18. CFD POST ekranında aynı konum için hızın derinlik boyunca değişiminin farklı analiz sonuçları arasında karşılaştırılması	55
Resim 7.1. Sc1_01_Fv_Rh300_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi	72
Resim 7.2. Sc1_01_Fv_Rh300_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı	73
Resim 7.3. Sc1_02_Fv_Rh300_20rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, $u(\text{cm/s})$	75
Resim 7.4. Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi	75
Resim 7.5. Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı: a) Çözüm ağının genel görünüşü, b) Çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü ..	76
Resim 7.6. Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, $\bar{u}(\text{cm/s})$	78
Resim 7.7. Dorcheh'in çalışmasında az yoğun bitki örtüsü içeren batmamış durum senaryosunda çubuklar bölgesi orta kısmında boyuna doğrultudaki hız dağılımı, $u(\text{cm/s})$	78
Resim 7.8. Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunun kanal geometrisi: a) Kanal geometrisinin genel görünüşü, b) Çubuklar bölgesinin yakından görünüşü	80
Resim 7.9. Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı	81
Resim 7.10. Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, $u(\text{cm/s})$	82
Resim 7.11. Sc2_Fv_Rh300_Md_Ch.L20 Senaryolarında $k-\epsilon$, $k-\omega$ ve çözüm ağı yoğunlaştırılmış senaryoların, çubukların arasında kalan en kesitte hız dağılımlarının karşılaştırılması	83
Resim 7.12. Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] Senaryosunda kanal geometrisi	83

Resim	Sayfa
Resim 7.13. Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı .	84
Resim 7.14. Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] Senaryosunda çubukların hemen öncesinde alınan en kesitte hız dağılımı, u(cm/s)	84
Resim 7.15. Dorcheh'in çalışmasında orta yoğunlukta bitki örtüsü içeren batmamış durum senaryosunda çubuklar bölgesi orta kısmında boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	85
Resim 7.16. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] Senaryosunda kanal geometrisi	85
Resim 7.17. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] Senaryosunda çözüm ağı	86
Resim 7.18. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] Senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	87
Resim 7.19. Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi	90
Resim 7.20. Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı	91
Resim 7.21. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi	92
Resim 7.22. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı .	93
Resim 7.23. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] Senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	94
Resim 7.24. Dorcheh'in çalışmasında yüksek yoğunlukta bitki örtüsü içeren batmamış durum senaryosunda çubuklar bölgesi orta kısmında boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	94
Resim 7.25. Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda simetrik kanal geometrisi.....	96
Resim 7.26. Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisinde simetri düzlemi.....	97
Resim 7.27. Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	98
Resim 7.28. Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi	100

Resim	Sayfa
Resim 7.29. Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı: a)Çubuklar bölgesi genel görünüş, b)Çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüş	101
Resim 7.30. Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε]senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, u(cm/s)	102
Resim 7.31. Dorcheh az yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gele en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s).....	102
Resim 7.32. Sc4_02_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε]_Biggerairvolume senaryosu ile Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda hız dağılımlarının karşılaştırılması	103
Resim 7.33. Sc4_03_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	104
Resim 7.34. Sc4_04_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε. Realizable] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	104
Resim 7.35. Sc4_05_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε.RNG] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	105
Resim 7.36. Sc4_06_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ω] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	105
Resim 7.37. Farklı türbülans modelleri ile elde edilen boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	106
Resim 7.38. Sc5_01_Fv_Rh180_Md_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	106
Resim 7.39. Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	109
Resim 7.40. Dorcheh Orta yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s).....	109
Resim 7.41. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	113
Resim 7.42. Dorcheh Yüksek yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s).....	113

Resim	Sayfa
Resim 7.43. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]_Symmetry senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	115
Resim 7.44. Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi: a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü	119
Resim 7.45. Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı ...	120
Resim 7.46. Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	121
Resim 7.47. Dorcheh Az yoğunluklu batmamış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	121
Resim 7.48. Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε]senaryosunda kanal geometrisi: a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü	123
Resim 7.49. Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε]senaryosunda	124
Resim 7.50. Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε]senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	125
Resim 7.51. Dorcheh Orta yoğunluklu batmamış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	125
Resim 7.52. Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi: a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü	127
Resim 7.53. Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı ..	128
Resim 7.54. Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	129
Resim 7.55. Dorcheh Yüksek yoğunluklu batmamış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	129
Resim 7.56. Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi: a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü	132
Resim 7.57. Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı	133

Resim	Sayfa
Resim 7.58. Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	134
Resim 7.59. Dorcheh Az yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	134
Resim 7.60. Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi: a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü.	137
Resim 7.61. Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı	138
Resim 7.62. Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	139
Resim 7.63. Dorcheh Orta yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	139
Resim 7.64. Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi: a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü	142
Resim 7.65. Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı	143
Resim 7.66. Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	144
Resim 7.67. Dorcheh Yüksek yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)	144

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a_x	Akım doğrultusunda çubuklar arası mesafe
a_y	Akım dik doğrultuda çubuklar arası mesafe
$\vec{a}$	Serbest yüzeydeki bir noktanın konum vektörü
$\vec{b}$	Yüzey kütle merkezi
C	Chezy katsayısı
C_2	Model sabiti
$Ch.L$	Kanal uzunluğu
$C_{1\varepsilon}$	Model sabiti
$C_{2\varepsilon}$	Model sabiti
$C_{3\varepsilon}$	Model sabiti
d_0	Boru çapı
D	Hidrolik derinlik
f	Sürtünme faktörü
$\vec{F}$	Modelden bağımsız gözenekli ortam
F	Froude sayısı
Fr	Froude sayısı
F_v	Tamamı bitki örtüsü kaplı (Fully vegetated)
G_b	Kaldırma kuvvetine bağlı türbülans
G_k	Türbülans kinetik enerjisinin oluşumu
g	Yerçekimi ivmesi
$ \vec{g} $	Yerçekiminin büyüklüğü
$\hat{g}$	Yerçekiminin birim vektörü
h_f	Boru akımlarında sürtünme kaybı
I	Birim tensörü
k	Türbülans kinetik enerjisi
L	Boru uzunluğu

Simgeler	Açıklamalar
n	Manning sürtünme katsayısı
p	Statik basınç
P_0	Toplam basınç
P_v	Kısmen bitki örtüsü kaplı (Partially vegetated)
R	Hidrolik yarıçap
R	Reynolds sayısı
Re	Reynolds sayısı
R_h	Çubuk yüksekliği
S	Kanal eğimi
s	Saniye
S_k	Kullanıcı tanımlı kaynak terimi
S_ε	Kullanıcı tanımlı kaynak terimi
S_m	Sürekli olan faza ikincil fazdan eklenen kütle
t	Zaman
u	Boyuna doğrultudaki hız
V	Hız
V_w	Dalganın yayılma hızı
y	Kanal tabanından su yüzeyine olan mesafe
Y_M	Dalgalı genişlemenin toplam dağılım oranına katkısı
y_{local}	Referans konum
q	Faz sayısı
q	Dinamik basınç
Q	Debi
μ	Moleküler viskozite
$\bar{\tau}$	Gerilme tensörü
α_k	k için ters etkili Prandtl sayısı
α_ε	ε için ters etkili Prandtl sayısı
α_q	q'ncü akışkanın hacimsel oranı
$\dot{m}_{qp}$	q fazından p fazına kütle taşınımı
$\dot{m}_{pq}$	p fazından q fazına kütle taşınımı
ε	Türbülans dağılım oranı
ω	Türbülans spesifik dağılım oranı

Simgeler**Açıklamalar**

Φ	Çubuk çapı
λ	Bitki örtüsü yoğunluğu
Γ_k	Difüzyon katsayısı
ρ	Hücredeki karışımın yoğunluğu
ρ_0	Referans yoğunluk
σ_k	k için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ε	ε için türbülanslı Prandtl sayısı
ν	Suyun kinematik viskozitesi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADV	Acoustic Doppler Velocimeter
CFD	Computational Fluid Dynamics
CPU	Central Processing Unit
DES	Detached Eddy Simulation
DNS	Direct Numerical Solution
DPM	Discrete Phase Model
ELES	Embedded Large Eddy Simulation
FDI	Fluid Dynamics International
FDM	Finite Difference Method
FEM	Finite Elements Method
FVM	Finite Volume Method
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LDV	Lazer Doppler Meter
LES	Large Eddy Simulation
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
RNG	Renormalization Group
RSM	Reynolds Stress Model
SAS	Scale-Adaptive Simulation
SST	Shear Stress Transport

Kısaltmalar**Açıklamalar****VOF**

Volume of Fluid

V2F v^2 -f Model

1. GİRİŞ

Açık kanal akımı terimi, atmosferik basınca açık ortamlarda serbest bir su yüzeyinin olduğu ve suyun doğal ya da yapay taşınımını kapsamaktadır. Dere ve nehirlerdeki akım, sulama kanalları ve cadde kenarlarındaki kaldırım ve oluk boyunca akan sular açık kanal akımlarına örnek verilebilir. Kanal yüzeyi, sediment gibi doğal yollarla ortaya çıkan bir yüzeyden meydana gelebileceği gibi beton, metal veya toprak gibi malzemelerden yapay şekilde oluşturulan bir yüzeyden de meydana gelebilir.

Açık kanal akımlarında genellikle boyuna doğrultudaki hız bileşeninin bir en kesiti boyunca değişimi belirgin özelliklerindendir. Üç boyutlu bir akımda hız dağılımı bir noktadan başka bir noktaya değişiklik gösterir. Bunun nedeni kanal duvarları ve tabanındaki kayma gerilmeleri ile serbest yüzeydeki gerilmelerdir. Hız dağılımının kartezyen koordinat sisteminin her üç yönünde de bileşeni vardır ancak boyuna yöndeki hız bileşeni baskın akımlarda yanal ve düşey yönlerdeki hızlar oransal olarak çok düşüktür. Açık kanal akımlarında hız dağılımları; en kesitin şekli, kayma gerilmesi, ikincil akış, bitki örtüsü muhteviyatı, viskozite, difüzyon katsayısı ve sediment konsantrasyonu gibi diğer akış özellikleriyle ya doğrudan ilgilidir veya etkileşim içindedir. Kanal pürüzlülüğü de açık kanal akımında hız dağılımını etkileyen faktörlerden birisidir. Pürüzlülüğün hız dağılımına etkileri konusu birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir.

Chow (1959) kanal pürüzlülüğünü (Manning pürüzlülük katsayısını) etkileyen faktörleri; yüzey pürüzlülüğü, bitki örtüsü muhteviyatı, kanal kesit ve şeklinin düzensizliği, kanalın eğriliği, engeller, kanalın şekli ve boyutu ve debi olarak sıralamıştır.

Akımın önünde bitki örtüsü bulunması akıma karşı bir direnç oluşturmakta ve akım şartlarını değiştirmektedir. Bitki örtüsünün akışkan içinde batmış ya da batmamış durumda olması da akım yapısını farklı şekillerde etkilemekte ve bu araştırmacılar tarafından incelenen konular arasındadır. Bugüne kadar; akım içerisinde batmış bitkileri, batmamış bitkileri, tabakalı bitki örtüsü içeren akımları, içerisinde esnek veya rijit bitki örtüsü içeren akımları kapsayan pek çok araştırma yürütülmüştür. Yürütülen çalışmalar deneysel gözlemlerin yanı sıra numerik bir modelin oluşturularak deneysel verilerle karşılaştırılmasını kapsamaktadır.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler akışkanlar dinamiği alanında da hızla etkilerini göstermiş ve günümüzde sayısal çalışmaların etkinliği deneysel yürütülen çalışmalara alternatif teşkil etme niteliğine sahip olmuştur. Hesaplama akışkanlar dinamiği kavramı 1960’larda bilgisayarların kullanılabilirliğiyle ortaya çıkmış ve 1970’lerden sonra hızla gelişim göstermiştir. Ampirik denklemlerin oluşturuldukları sınırlı ölçek aralıkları için geçerlilikleri ve deneysel şartların kurulumunun zaman ve maliyet gerektirmesi gibi hususlar hesaplama akışkanlar dinamiği ile elde edilecek çözümlerin öneminin artmasında etkin rol oynamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında sayısal modellerin oluşturulması ve analizlerin yürütülmesinde kullanılan ANSYS Fluent yazılımı ilk defa 1983 yılında piyasaya sürülmüş hesaplama akışkanlar dinamiği paket programıdır. Yazılımın ilk çalışmalarını başlatan Türk araştırmacı Dr. Ferit Boysan bu program ile laminar ve türbülanslı sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akım problemlerinin yanı sıra ısı transferleri ve kimyasal reaksiyonlar gibi çok çeşitli mühendislik problemlerine yönelik analiz imkanları sunmaktadır. Modelde önerilen çözüm yöntemi akışkan hacmi (volume of fluid, VOF) metodu ve sonlu hacimler yöntemleridir.

Çalışma kapsamında Dorcheh’in (2007) deney sonuçları dikkate alınarak; bitki örtüsünün rijit silindirik çubuklar ile temsil edildiği, su içerisinde batmış ve batmamış çubuk durumları için sayısal model sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca batmış ve batmamış bitki örtüsü durumları kanal en kesitinin kısmi veya tamamının kaplı olduğu durumlar için ayrı ayrı incelenmiştir. Örnekleme yarısı kanal en kesitinin tamamının ve diğer yarısı ise kanal en kesitinin kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı olduğu toplamda 28 adet analiz çalışılarak sonuçları Dorcheh (2007) tarafından yürütülen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

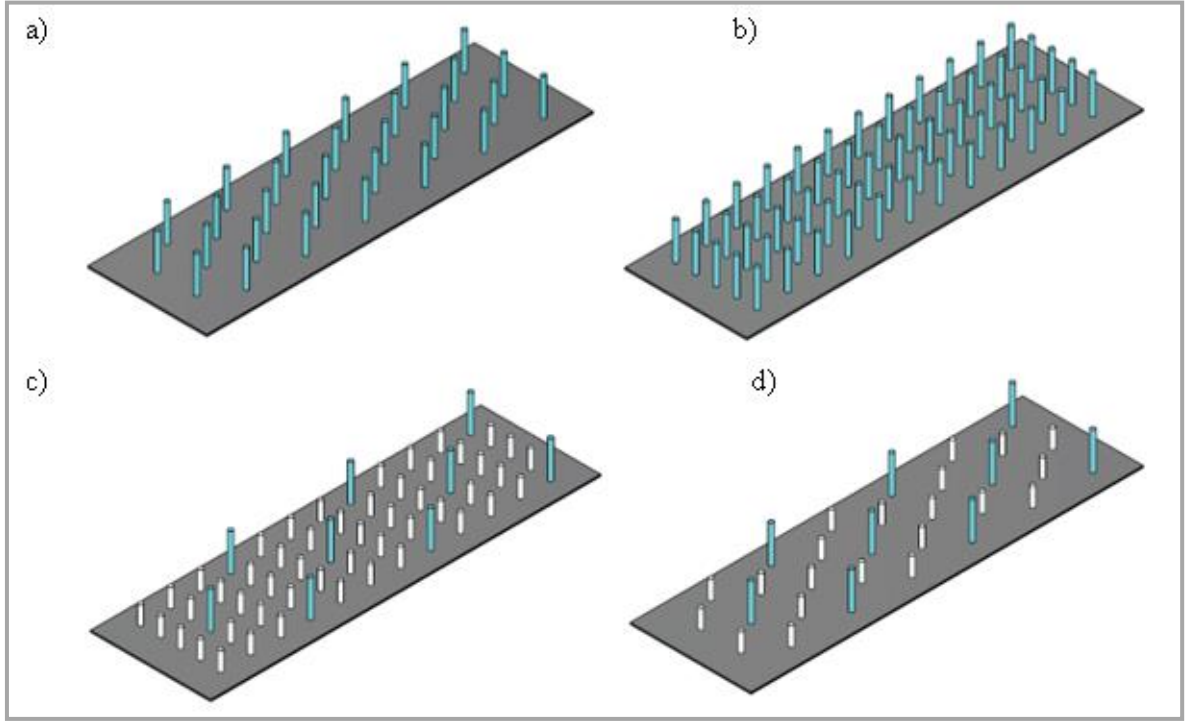
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Doğal kanallarda oluşan açık kanal akımı içerisinde farklı türden bitkilerin habitatu oluşabilmektedir. Bu bitkiler akımın içerisinde batmış durumda olabilecekleri gibi akım dışına da taşabilirler. Bunlar nehir yönetiminin önemli bir parçasıdır. Akım alanının içinde bitki örtüsü bulunması sürtünme ve türbülans etkileri sebebiyle akımın hidrolik yapısını önemli ölçüde etkilemektedir.

Açık kanal akımlarında akım hızı en önemli parametrelerden birisidir ve akımla ilgili pek çok özellik ile doğrudan ilişkilidir. Bitki örtüsü bulunduran bir açık kanal akımındaki hız dağılımı kanal en kesitinin şekline, akım derinliğine ve debiye bağlı olduğu gibi bitki örtüsünün yoğunluğu, bitki örtüsünün dizilimi, kanalın pürüzlülüğü gibi çeşitli hususlardan etkilenmektedir. Bitki örtüsünün su içinde batmış veya batmamış durumda olması ya da esnek veya rijit olması da hız dağılımını etkileyen hususlardandır.

Bitki örtüsüne ilişkin bu parametreler ile hız dağılımı arasındaki ilişki bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından ele alınmış ve çok sayıda çalışma yürütülmüştür.

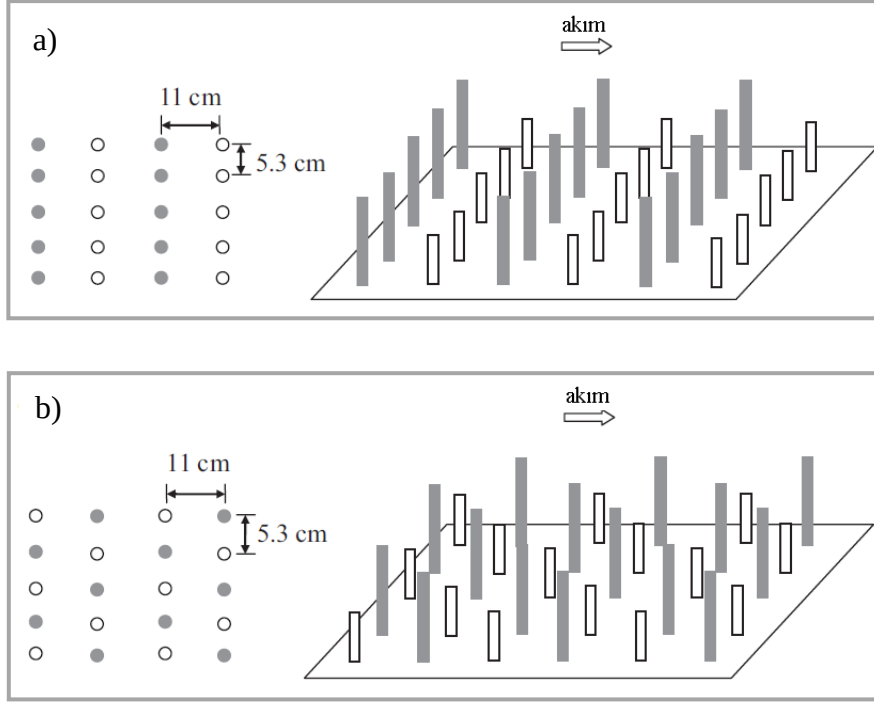
Zhu, Hao ve Chang (2014) bitki örtüsünün rijit silindir çubuklar tarafından temsil edildiği bir akım içerisinde bitki örtüsü etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Araştırmalarında 7 m uzunluğunda, 0,5 m genişliğinde ve 0,8 m yüksekliğinde yan duvarları cam, tabanı beton olan bir kanal kullanmışlardır. Deneyler, rijit çubuklar arasında farklı açıklık değerlerinin düzgün dizilimle ve şaşırtmalı olarak yerleştirilmesiyle yürütülmüştür. Akım alanında batmış tek tabakalı ve çift tabakalı bitki örtüsü koşulları için ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir (Resim 2.1).



Resim 2.1. Çubuk dizilimleri (Zhu, Hao ve Chang 2014)

Zaman ortalamalı düşey hız dağılımları akustik doppler hızölçer (Acoustic Doppler Velocimeter, ADV) ile elde edilmiştir. Bitki örtüsü yoğunluğu ile rijit çubukların yüksekliklerinin etkileri üzerine odaklanan bu çalışmanın sonuçlarında; batmış bitki örtüsü varlığının alansal hız değişim oranını artırdığı görülmüş olup hızı azaltıcı etkisi olan yatak pürüzlülüğünün arttığı ve bunun artan bitki örtüsü yoğunluklarında daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bitki örtüsü yoğunluğunun artışıyla durgun su olgusunun olduğu fakat akım derinliği arttıkça da bu etkinin azaldığı sonucu elde edilmiştir. Bitki örtüsü üst noktasına kadar olan kısımda hızların daha düşük olduğu görülmüştür.

Huai, Wang, Hu, Zeng ve Yang (2014), çift katmanlı rijit bitki örtüsü içeren açık kanal akımında boyuna doğrultudaki hız dağılımının tahmini için analitik bir model çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bunun için bir laboratuvar kanalında iki farklı yükseklikteki bir dizi çelik silindirden oluşan çift katmanlı bir fiziksel model oluşturulmuştur. Çalışmada 20 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 0,5 m derinliğinde cam bir kanal ve bitki örtüsü olarak da 14 cm ve 24 cm uzunluğunda 0,6 cm çapında çelik silindirler kullanılmıştır. Çubuklar iki farklı konfigürasyonda kurgulanmıştır (Resim 2.2).



Resim 2.2. Huai ve diğerlerinin (2014) çalışmasında çubuk konfigürasyonları: a) X konfigürasyonu, b) Y konfigürasyonu

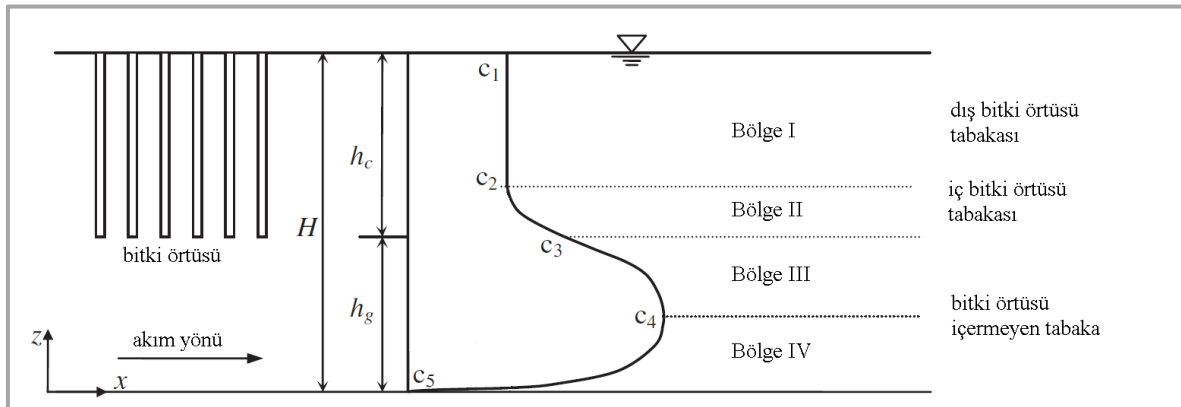
Araştırma sonucunda; sayısal çözümler, deney sonuçları ve saha araştırmalarıyla kıyaslanmasına dayanılarak önerilen analitik modelin kullanımının uygun olduğu neticesine varılmıştır. Çalışmada farklı bitki örtüsü konfigürasyonlarından farklı hız dağılımları elde edilmiş ve analitik modelin X konfigürasyonu için verdiği hız dağılımlarının Y konfigürasyonu için verdiği sonuçlara göre daha güvenilir olduğu görülmüştür.

Liu, Chen, Zu, Hui ve Jiang (2012) çalışmalarında, batmış durumdaki çalı tipi bitki örtüsü içeren akımın boyuna doğrultudaki hızının düşey dağılımı için analitik bir çözüm önermişlerdir. Öncelikle, çalı tipindeki bitki örtüsünün farklı tiplerinin çap değişimlerine uyacak şekilde bir şekil fonksiyonu geliştirilmiştir. Momentum denklemi ve karışım uzunluğu türbülans modeli kullanılarak, bitki örtüsünün boyuna doğrultudaki hızın düşey profili boyunca değişimini ifade eden analitik bir çözüm elde edilmiştir. Ayrıca logaritmik hız profili varsayımı ile bütün su sütunu boyunca hız dağılımı elde edilmiştir. Liu ve diğerleri (2012) Tsingua Üniversitesinin Hidrolik Laboratuvarındaki düz, sertleştirilmiş cam kanalda bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Önerilen analitik modelin deneysel verilerle çok uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar bitki örtüsünün üstündeki akışın logaritmik bir hız profiline sahip olduğunu gösterirken bitki örtüsü içeren bölgedeki akışın bitki örtüsünün şeklinden ve yoğunluğundan büyük ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur. Önceki çalışmalarda olduğu

gibi Liu ve diğerkleri de (2012) batmış bitki örtüsü içeren durum için bitki örtüsü bölgesinde kalan ve bitki örtüsünün üst kısmında kalan şeklinde iki farklı hız profilinin oluştuğunu belirtmiştir.

Hu, Huai ve Han (2013), batmış bitki örtüsü içeren kararlı üniform bir açık kanal akımında boyuna doğrultudaki düşey hız profilini araştırmak için üç bölge bir model oluşturmuşlardır. Üç bölge; aşağı bitki örtüsü bölgesi, üst bitki örtüsü bölgesi ve bitki örtüsü içermeyen bölge olarak ele alınmıştır. Bu üç bölge için üç hız formülü önerilmiş ve bunlar Tsujimoto ve Kitamura'nın (1990) deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Analitik çözümden elde edilen hız ve gerilme değerlerinin deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Huai, Hu, Zeng ve Han (2012), bu çalışmalarında askıdaki bitki örtüsünün akımın hız dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Açık kanallarda asılı durumdaki bitki örtüsü, akışı yavaşlatır, bunun sonucu olarak akış hızının dikey dağılımı, klasik logaritmik dağılımdan sapar. Askıda bitki örtüsü içeren açık kanal akımının hidrolik özelliklerinin açık şekilde anlaşılması için akım bölgesi kanal tabanından su yüzeyi arasında üç bölgeye ayrılmıştır (Resim 2.3). Bunlar bitki örtüsü içermeyen tabaka, iç bitki örtüsü tabakası ve dış bitki örtüsü tabakası olarak adlandırılmıştır.



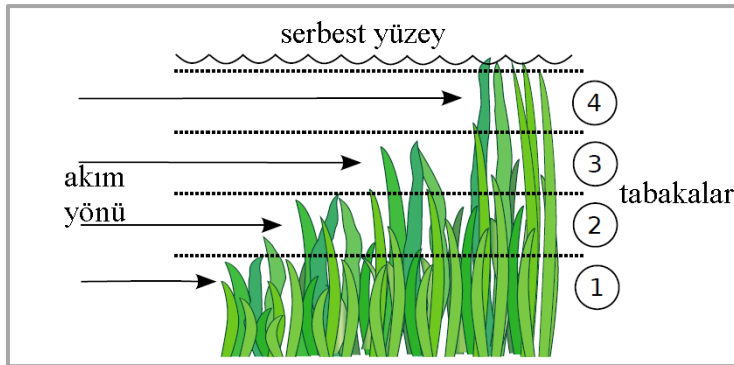
Resim 2.3. Asılı durumdaki bitki örtüsü (Huai, Hu, Zeng ve Han'ın (2012) çalışmasından uyarlanmıştır)

Her tabaka için akım yönündeki hız, momentum denklemlerinin çözülmesiyle elde edilmiştir. İç bitki örtüsü tabakası ve bitki örtüsü içermeyen tabakada kayma gerilmelerinin belirlenmesi için karışım uzunluğu teorisi (mixing length theory) kullanılmıştır. Sonuçlar deneysel veri ile karşılaştırılmış ve analitik olarak tahmin edilen değerlerin su yüzeyine

yakın bölge haricinde uyumlu olduğu görülmüştür. Su yüzeyine yakın bölgede ise hesaplanan değerler ölçülen değerlerden nispeten yüksek çıkmıştır (Huai ve diğerleri, 2012).

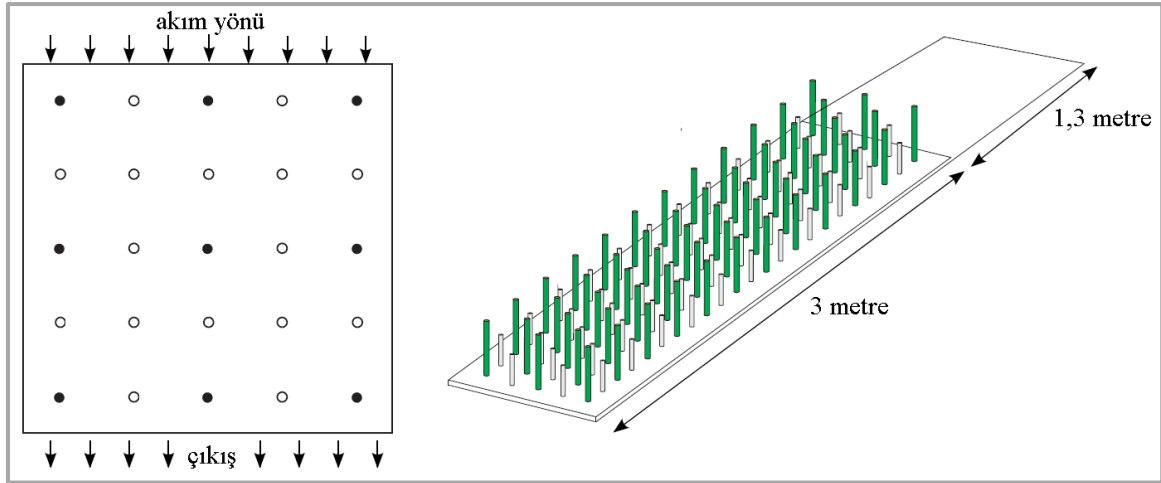
Hirschowitz ve James (2009) çalışmalarında çok çeşitli koşullar üzerinde gerçekçi açıklamalar getirebilmek için derinlik ortalamalı hızın enine doğrultudaki dağılımını tanımlamak için daha önceden önerilmiş mevcut yöntemleri inceleyerek Nuding metodunda yeni verilere dayanarak değişiklik yapmışlardır. Geliştirdikleri yeni eşitliği 798 noktadaki ölçüm değerleri ile kıyaslamışlardır. Çalışmalarının sonucunda, kanal kıyısı boyunca bulunan batmamış durumdaki bitki örtüsünün derinlik ortalamalı hız dağılımı üzerinde büyük etkileri olduğu görülmüştür. Ayrıca Nuding (1991, 1994) metodunda değişiklik yaparak önerdikleri yeni eşitliğin deneysel sonuçlarla kıyaslanmasına dayanarak mevcut yöntemler üzerinde bir gelişme kaydedildiğini belirtmişlerdir.

Piña, León, Cuevas ve Castañeda (2014) bitki örtüsünün akım üzerindeki etkisi üzerine çalışma yürütmüşler ve bitki örtüsünden geçen ortalama akımı belirlemek için yaygın olarak kullanılan $k-\epsilon$ modelinden daha basit bir türbülans modelinin uygulanabilirliğini doğrulamışlardır. Simülasyonlarda kullanılan hidrodinamik sayısal model Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) eşitliklerine dayanmaktadır. Hızın hesaplanmasında kesinlik elde edilebilmesi için farklı bitki örtüsü yüksekliklerini ele alacak çok katmanlı bir model esas alınmıştır (Resim 2.4). Sayısal simülasyonlar iki farklı aşamada yürütülmüştür. İlkinde batmış durumdaki bitki örtüsü simülasyonları için 36 m uzunluğunda ve 1,1 m genişliğinde bir kanal kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Järvelä'nın (2005) deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Resim 2.4. Çok katmanlı bitki örtüsü yaklaşımı. Farklı bitki örtüsü yükseklikleri ve 4 katman örneği (Piña ve diğerleri, 2014)

İkinci aşamada batmış durumdaki ve batmamış durumdaki bitki örtüsü birlikte değerlendirmeye alınmıştır. Bu simülasyonlar ise Liu'nun (2008) deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu deneyler için 4,3 m uzunluğunda, 0,3 m genişliğinde ve 0,1046 m yüksekliğinde bir kanal kullanılmıştır. İki tabakalı çubukların kanalda yerleşim düzeni Resim 2.5'te verilmiştir. Araştırmada ilk aşama için yapılan karşılaştırma sonucunda bitki örtüsünün batmış olması durumunda oluşan serbest su yüzü profilinin sayısal model ile elde edilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bitki örtüsünün bir kısmının su yüzeyinden yukarıda olduğu, batmış ve batmamış bitki örtüsünün birlikte modellendiği ikinci aşama sonuçları karşılaştırıldığında ise sonuçların yeterince uyumlu olmadığı görülmüştür. Bunun nedeninin türbülanslı girdap viskozitesi formülünde (turbulent eddy viscosity) kanalda bitki örtüsü bulunması durumunun dikkate alınmamasından kaynaklandığı yorumu yapılmıştır.



Resim 2.5. Liu'nun (2008) kanalında çubuk yerleşim düzeni (Piña ve diğerleri, 2014)

Wang, Yuan, He ve Wang (2014) çalışmalarında batmış durumdaki bitki örtüsü koşullarında esnek bitki örtüsünün akım yapısı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Deneylerde 33 m uzunluğunda, 0,50 m genişliğinde ve 0,70 m yükseliğinde bir kanal kullanılmıştır. Ayrıca deneylerde 'Scirpus mariqueter' adlı bitki kullanılarak sulak alan bitki örtüsünün akım üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlardan akım alanının tamamının bitki örtüsünden ciddi oranda etkilendiği görülmüştür. Ayrıca deney sonuçları türbülans yoğunluğu ve Reynolds gerilmelerinin eğilmiş bitki örtüsü üst noktasının hemen altında en üst değerine ulaştığı kaydedilmiştir.

Stamou, Papadonikolaki, Gkesouli ve Nikolettopoulos (2011) çalışmalarında türbülans modeli olarak k-ε modelini kullanan CFX-12.1 hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı ile

açık kanallarda bitki örtüsünün ortalama akış üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hesaplama ile bulunan hız dağılımları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Araştırma neticesinde bitki örtüsü içeren kısımlarda düşük, su yüzeyine yakın kısımlarda yüksek hızlar elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında en yoğun düğüm noktası olan çözüm ağı ile en uyumlu sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Zeng ve Li (2014), akımın batmış yarı rijit bitki örtüsü bölgesindeki hidrodinamiğini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Yüksek türbülans yoğunluğunun sadece girişim bölgesi mansabında oluştuğu görülmüştür.

Bennett, Pirim ve Barkdoll (2002), bir deney kanalında sistematik bitki örtüsü kullanarak maksimum yüzey akış hızını belirleyerek akış koridorunun talvegini oluşturmayı amaçlamışlardır. Çalışmaları neticesinde; akış hızının bitki örtüsü içeren bölgelerin içinde ve yakınında belirgin bir şekilde azaldığını, akışın karşı kıyıya doğru yönlendirilebileceğini ve bitki örtüsü yoğunluğunun bu etkilerin büyüklüğünü kontrol edebileceğini tespit etmişlerdir.

Fischer, Stoesser, Bates ve Olsen (2010), kısmen bitki örtüsüyle (batmış durumdaki) kaplı kanallardaki hız dağılımlarını üç boyutlu olarak hesaplamışlardır. Navier-Stokes denklemleri, SIMPLE metodu ve $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür. Sayısal model sonuçları, bitki örtüsünün kanal kesitini kısmen kapladığı üniform akışa sahip üç farklı durumu içeren laboratuvar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda ölçülen hız profilleri ile hesaplananların oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Luhar ve Nepf (2011), akımdan kaynaklanan yüzen ve esnek su bitkilerinin hareketinin yeniden yapılanmasını laboratuvar kanalı ve teorik model kullanarak araştırmışlardır.

Nepf (1999), çalışmasında batmamış durumdaki bitki örtüsü içeren akım için sürtünmeyi, difüzyonu ve türbülansı karakterize edecek bir model oluşturmuştur. Araştırmanın gerçekleştirildiği deneyler 24 m uzunluk ve 0,38 m genişliğe sahip laboratuvar kanalı içerisinde 0,15 m akım derinliğinde yürütülmüştür. Hız ölçümleri ADV cihazı ve lazer doppler velocitymeter (LDV) kullanılmıştır. Araştırmanın saha boyutunda ise Cape Cod, Massachusetts'teki Great Sippewisset Marsh'ta bulunan 'Spartina alterniflora' bitkisi kullanılmıştır. Araştırma neticesinde iki temel sonuç elde edilmiştir: (1) türbülans

yoğunluğunun seyrek bitki örtüsünün başlamasıyla birlikte arttığı ve daha sonra azaldığı, (2) bitki örtüsü bulunması sebebiyle özellikle eddy ölçeğindeki azalmaya bağlı olarak, bitki örtüsü içeren sistem dahilindeki dağılma oranının, bitki örtüsü içermeyen eşdeğer sistemdekine kıyasla daha az olduğu.

Tanino ve Nepf (2008), rastgele dağıtılmış, rijit, batmamış durumdaki dairesel silindirlerin uyguladığı sürüklenmeyi araştırmışlardır. Deneyler laboratuvarında iki farklı kanalda yürütülmüş ve ölçümler ADV cihazı ile alınmıştır. Çalışmalarında $\emptyset$ 'yi katı hacimsel oranı olarak tanımlamışlar ve deneylerini 0,091 ile 0,35 arasında farklı $\emptyset$ değerleri ile tekrarlamışlardır. Çalışma neticesinde artan $\emptyset$ değerlerinin sürüklenmeyi artırdığı görülmüştür.

Sonnonwald, Guymer ve Stovin (2019), ANSYS Fluent 19 yazılımı kullanarak akım alanı, türbülans, bitki örtüsü içeren ortamlardaki karışım karakteristiklerinin tahmini için bilgisayarlı akışkanlar dinamiği yaklaşımını esas alan bir model çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada hem tamamen bitki örtüsü içeren durum hem de kısmi bitki örtüsü durumları ele alınmıştır. Sonuçlar yayınlanmış 5 deneysel veri seti ile karşılaştırılmıştır.

Gandhi, Verma ve Abraham (2016), dikdörtgen kesitli bir açık kanal akımında hız profili için matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu matematiksel model ANSYS Fluent programı ile oluşturulan 6 farklı açık kanal simülasyonu ve deneylerle karşılaştırılmıştır.

Atay (2016) yüksek lisans tez çalışmasında taşkın yatağında ve ana yatakta bitki örtüsü içeren akım koşullarında Flow-3D yazılımından elde edilen hız sonuçları ile literatürde mevcut bir deneyden elde edilmiş hızları karşılaştırılmıştır. Araştırması neticesinde bitki örtüsü içeren açık kanal akımlarında elde edilen sayısal model sonuçlarının deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

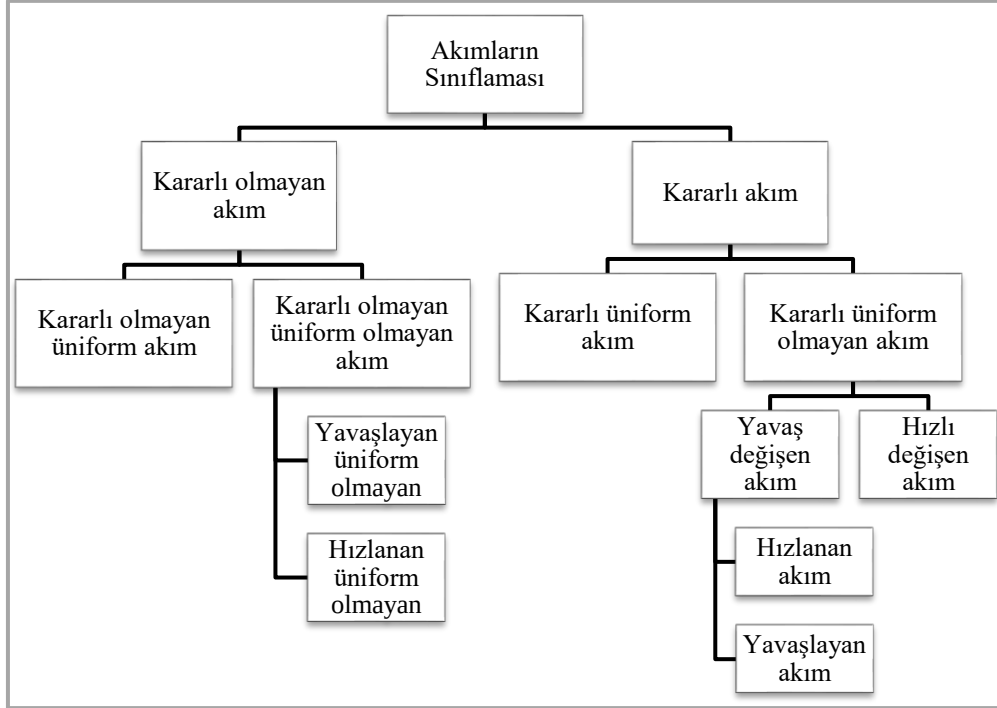
Koç (2016) yüksek lisans tez çalışmasında akarsu yatağında bitki örtüsü bulunması durumunda akımın hidrolik yapısını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Çalışmasında dikdörtgen kesite sahip bir açık kanalda bitki örtüsünün etkilerini ANSYS CFX yazılımı kullanarak modellemiş ve analizler gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarını Dorcheh (2007) tarafından yürütülen deney sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Dorcheh (2007) doktora tezi çalışmasında batmış ve batmamış durumdaki bitki örtüsü varlığının akım üzerindeki etkilerini laboratuvar ortamındaki bileşik kesitli, dar kesitli ve geniş dikdörtgen kesitli kanallarda deneyler gerçekleştirerek araştırmıştır. Ahşap çubuklar kullanılarak üç farklı bitki örtüsü yoğunluğu incelenmiştir. Çalışması kapsamında kanal kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar ve kanal kesitinin kısmi olarak kaplı olduğu durumlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Araştırma neticesinde genel olarak bitki örtüsü yakınında ve bitki örtüsü olan kısımlarda hızların azaldığı, batmış bitki örtüsü durumlarında çubukların üst kısmında ya da çubuk olmayan bölgelerde hızların arttığı görülmüştür. Ayrıca geniş dikdörtgen kanalda dalgaların oluşumu ile ilgili de araştırma yapılmıştır.

3. AÇIK KANAL AKIM ÖZELLİKLERİ

Açık kanal akımı, akışkanın bir su yolu, kanal veya boruda serbest bir yüzey ile akması olarak tarif edilebilir. Birçok uygulamada, akışkan sudur ve akışın üzerindeki hava genellikle hareketsiz ve standart atmosferik basınçtadır. Açık kanal akımları, mühendislik yapılarının yanı sıra doğada da mevcuttur. Doğada, vahşi nehirlerde, akarsu geçişlerinde ve taşkın durumunda akan sularda rastlanır. Sakin akımlar genellikle haliçlere yakın geniş nehirlerde görülür (Chanson, 2004).

Bir açık kanaldaki akım eğer akım derinliği dikkate alınan zaman aralığı içinde değişmiyorsa ya da sabit kabul edilebiliyorsa akım kararlı akım olarak ifade edilir. Eğer derinlik zamanla değişiyorsa akım kararsızdır. Açık kanaldaki akım derinliği kanalın her kesitinde aynı ise akım üniform olarak adlandırılır. Üniform bir akım, derinliğin zamana bağlı olarak değişip değişmemesine göre kararlı ya da kararsız akım olabilir. Kanal uzunluğu boyunca akım derinliği değişiyorsa akım değişken olarak ifade edilir. Değişken akımlar da kararlı ya da kararsız olabilir. Değişken akımlar hızlı değişken akımlar ve yavaş değişken akımlar olarak sınıflandırılabilir. Su derinliği, oldukça kısa bir mesafede aniden değişiyorsa akım hızlı değişen akım, aksi durumda ise yavaş değişen akım olarak sınıflandırılır (Chow, 1959). Açık kanal akımlarının sınıflandırılması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Açık kanal akımlarının sınıflandırılması (Özbek, 2009)

3.1. Açık Kanal Akımında Rejim ve Davranış

Akımın davranışına genel olarak akımın atalet kuvvetlerinden çok yerçekimi ve viskozitenin etkileri hakimdir. Belirli koşullarda yüzey gerilmesi akımın davranışını etkileyebilir ancak mühendislikte karşılaşılan açık kanal problemlerinin birçoğunda bu durum etken değildir. Viskozitenin etkisine bağlı olarak akım üniform akım, türbülanslı akım ya da geçiş akımı olabilir.

Laminer akımlar; akımın atalet kuvvetlerine nispeten viskoz kuvvetlerinin çok güçlü olduğu ve akımın davranışının belirlenmesinde büyük paya sahip olduğu akımlardır. Laminer akımlarda su parçacıklarının belirli düzgün bir yol veya akış çizgisinde hareket ettiği ve son derece ince akışkan tabakalarının bitişik olduğu tabakaların üzerinde kaydığı görülür. Viskoz kuvvetlerin akımın atalet kuvvetlerine kıyasla zayıf olduğu akımlar türbülanslıdır. Türbülanslı akımda, su parçacıkları ne düzgün ne de sabit olan düzensiz yollar izler ancak hala tüm akıntının ileri yönde hareketini yansıtır (Chow, 1959).

3.1.1. Viskozite etkileri

Viskoz etkileri belirten en önemli boyutsuz büyüklüklerden birisi Reynolds sayısıdır:

$$R = \frac{VL}{\nu} \quad (3.1)$$

Burada; V hızı, L hidrolik çapı ve ν ise suyun kinematik viskozitesini göstermektedir (Chow, 1959).

Reynolds sayısı (R) atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı olarak tanımlanabilir. $Re < 2000$ ise akımın laminar, $Re > 3000$ ise akımın türbülanslı olduğu kabul edilir. Laminer akımdan türbülanslı akıma geçişin sınırı $R=2000$ olarak kabul edilir ve bu bölgedeki akımlara geçiş akımı denir (Özbek, 2009).

Açık kanal akımının laminar, türbülanslı ve geçiş davranışları, Reynolds sayısı ile Darcy-Weisbach sürtünme faktörü arasındaki ilişkiyi gösteren bir diyagram ile de ifade edilebilir. Boru akımları için geliştirilen bu diyagram Stanton diyagramı olarak bilinir. Öncelikli olarak boru akımları için geliştirilen Darcy-Weisbach eşitliği:

$$h_f = f \frac{L}{d_0} \frac{V^2}{2g} \quad (3.2)$$

şeklinde. Burada; h_f boru akımında sürtünme kaybını, f sürtünme faktörünü, L boru uzunluğunu d_0 borunun çapını, V akımın hızını ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. $d_0 = 4R$ ve enerji çizgisi eğimi $S=h_f/L$ olduğundan Eş. 3.2. üniform ve üniforma yakın açık kanal akımları için aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$f = \frac{8gRS}{V^2} \quad (3.3)$$

Pürüzsüz borular için f - R ilişkisi, R değerinin 750 ile 25 000 aralığında olması halinde geçerli kabul edilen Blasius eşitliği ile ifade edilmiştir:

$$f = \frac{0,223}{R^{0,25}} \quad (3.4)$$

Daha yüksek R değerlerinde von Karman, Nikuradse tarafından elde edilen verilerle daha uyumlu olması için daha sonradan Prandtl tarafından değiştirilen genel bir ifade geliştirmiştir. Nihai Prandtl-von Karman eşitliği:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(R\sqrt{f}) + 0,4 \quad (3.5)$$

şeklindedir (Chow, 1959).

3.1.2. Yerçekimi etkileri

Yerçekiminin akım davranışı üzerindeki etkisi, atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerine oranı olarak tanımlanan Froude sayısı ile ifade edilir:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (3.6)$$

Burada; V ortalama hızı, g yerçekimi ivmesini ve D hidrolik derinliktir. Hidrolik derinlik D , açık kanal akımlarında, akım yönünün normali olan ıslak alanın su yüzü genişliğine oranı şeklindedir. Froude sayısının bir sayısına eşit olması durumunda:

$$V = \sqrt{gD} \quad (3.7)$$

elde edilir ve bu durum akımın kritik olduğu değerdir. Froude sayısı, bir sayısından küçük olduğunda, yani $V < \sqrt{gD}$ iken akım, nehir rejimi olarak adlandırılır. Bu durumda yerçekimi kuvvetlerinin oynadığı rol daha belirgindir ve dolayısıyla akım düşük hızlarda olup genellikle sakin ve akıcı olarak adlandırılır Froude sayısı, bir sayısından büyük olduğunda, yani $V > \sqrt{gD}$ iken akım sel rejimi olarak adlandırılır. Bu durumda atalet kuvvetleri daha baskın hale gelir ve dolayısıyla akım yüksek hızlarda olup genellikle hızlı, sel gibi olarak adlandırılır (Chow, 1959).

3.1.3. Akımın rejimi

Viskozite ve yerçekiminin birlikte etkileri neticesinde dört rejim türünden birisi ortaya çıkar: (1) F , 1 'den küçük ve R laminer bölgede olduğunda nehir-laminer rejim, (2) F , 1 'den büyük ve R laminer bölgede olduğunda sel-laminer rejim, (3) F , 1 'den büyük ve R türbülanslı bölgede olduğunda sel-türbülanslı rejim ve (4) F , 1 'den küçük ve R türbülanslı bölgede olduğunda nehir-türbülanslı rejim (Chow, 1959).

3.2. Akım Direnci

Gerçek bir akışkan akımında enerji sürekli olarak harcanır. Bu, akışkanın viskozitesinden kaynaklı olarak akımın dirence karşı koymasından meydana gelir. Akış düşük Reynolds değerlerine sahip laminer akım ya da yüksek Reynolds değerlerinde türbülanslı akım da olsa temel direnç mekanizması, yavaş hareket eden bir akışkan katmanının, daha hızlı hareket eden akışkanın bitişiğindeki bir katmanı üzerinde bir yavaşlatma kuvveti uyguladığı kayma gerilmesine sahiptir. (Henderson, 1989). Akım hızının belirlenmesi için önerilen bir diğer formül 1786'da Fransız mühendis Chezy tarafından önerilmiştir:

$$v = C\sqrt{RS} \quad (3.8)$$

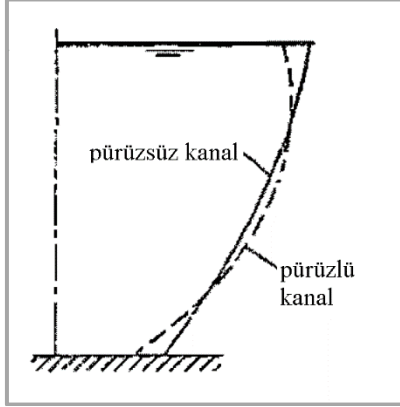
Kendi adı ile anılan bu formülde v kesitteki ortalama hızı, S ise kanal eğimini ifade etmektedir.

3.3. Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımı

Serbest su yüzü ve kanal duvarları boyunca sürtünme olması sebebiyle bir kanal kesitindeki hızlar kesitin her yerine eşit şekilde dağılmamıştır. Doğal kanallarda ölçülen en yüksek hızlar, genellikle akım derinliğinin su yüzeyinden %5 ila %25'i kadar aşağısında oluşmaktadır. Ayrıca kanal kenarlarına yaklaşıldıkça en yüksek hızların olduğu derinlik artmaktadır.

Kanal en kesitindeki hız dağılımı, kesitin şekli, kanalın pürüzlülüğü ve kanal menderesliliği gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Geniş, hızlı ve sık bir akımda veya çok pürüzsüz bir kanalda

en yüksek hızlar genellikle serbest yüzeyde oluşur. Kanalin pürüzlülüğü düşey hız dağılımının eğriliğinin artmasına sebep olur (Chow, 1959).



Şekil 3.2. Pürüzlülüğün açık kanal hız dağılımı üzerindeki etkisi (Chow, 1959)

3.4. Açık Kanallarda Debi Denklemleri

Açık kanal en kesitleri doğal ve prizmatik özelliklerde olup debi hesabı kesitin geometrik ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak çok farklılık göstermektedir. Sulama veya drenaj kanalları gibi prizmatik kanallara karşın açık kanalın akarsu en kesiti gibi doğal bir kesit olması durumunda hidrolik hesap daha da özellik arz eder (Özbek, 2009).

Chezy denklemleri elde edilinceye değin birçok araştırmacı ortalama hız ve debiyi belirlemede kullanılabilecek daha basit ampirik bağıntılar geliştirmek için epeyce çaba harcamıştır. Bunların en yaygın olarak kullanılanı, Fransız Philippe-Gaspard Gauckler (1826-1905) tarafından 1868’de ve İrlandalı Robert Manning (1816-1897) tarafından 1889’da, birbirlerinden habersiz olarak geliştirilen denklemdir. Gauckler ve Manning, Chezy denklemindeki sabit için aşağıdaki ifadeyi önermişlerdir:

$$C = \frac{a}{n} R_h^{1/6} \quad (3.9)$$

Buradaki n , Manning katsayısı olarak adlandırılır ve değeri kanal yüzeyinin pürüzlülüğüne bağlıdır. Bu katsayının Eş.3.8’de yerine yazılmasıyla üniform akış hızı ve debisi için Manning denklemleri (ilk kez Philippe-Gaspard Gauckler tarafından önerildikleri için Gauckler-Manning denklemleri) olarak bilinen aşağıdaki ampirik bağıntı elde edilir:

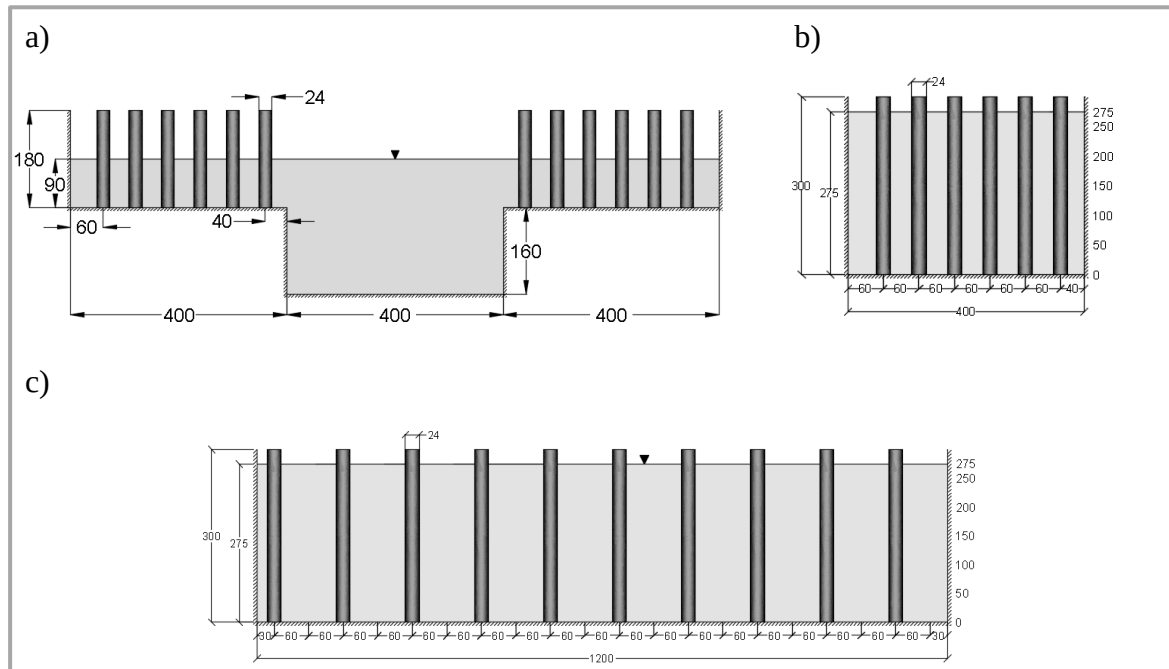
$$V_0 = \frac{a}{n} R_h^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3.10)$$

Burada a çarpanı, SI birimlerindeki değeri $a=1 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ olan boyutlu bir sabittir (Çengel ve Cimbala, 2008/2008).

4. DENEY VERİLERİ VE BİLGİSAYARDA MODELLEME

Bu çalışma kapsamında bir bilgisayar modeli kullanılarak içerisinde bitki örtüsü bulunan açık kanal akımı için elde edilen sonuçlar, Dorcheh (2007) tarafından hız ve türbülansa ilişkin karakteristiklerin değişimini araştırmak amacıyla farklı kanal ve bitki örtüsü tipleri oluşturularak elde edilmiş deney sonuçları ile birlikte değerlendirilmesi planlanmıştır. Bu nedenle bu bölümde Dorcheh (2007) tarafından gerçekleştirilmiş deneysel çalışma ve sonuçları ile ilgili bazı bilgiler verilecektir.

Yapılan çalışmada temel olarak bileşik kesitli, dar basit ve geniş dikdörtgen kanallar kullanılmıştır (Şekil 4.1). Deneyler; bileşik kesitli kanalda taşkın yatağında bitki örtüsünün batmamış durumu için, dar basit kanal ile geniş dikdörtgen kesitli kanallarda ise kanal en kesitinin tamamının batmış ve batmamış bitki örtüsü içermesi, ayrıca kanal en kesitinin kısmi olarak batmış ve batmamış bitki örtüsü içerdiği durumlar için gerçekleştirilmiştir. Bileşik kesitli ve dar kanal ile yürütülen deneylere ilişkin ayrıntılar Çizelge 4.1’de, geniş dikdörtgen kanal ile yürütülen deneylere ilişkin ayrıntılar Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki temel kanal tipleri: a) Bileşik kesitli kanal, b) Dar kanal, c) Geniş dikdörtgen kanal (Bütün ölçüler mm olarak verilmiştir)

Çizelge 4.1. Dorcheh (2007) tarafından yürütülen çalışmada bileşik kesitli ve dar kanal ile yürütülen deney setleri

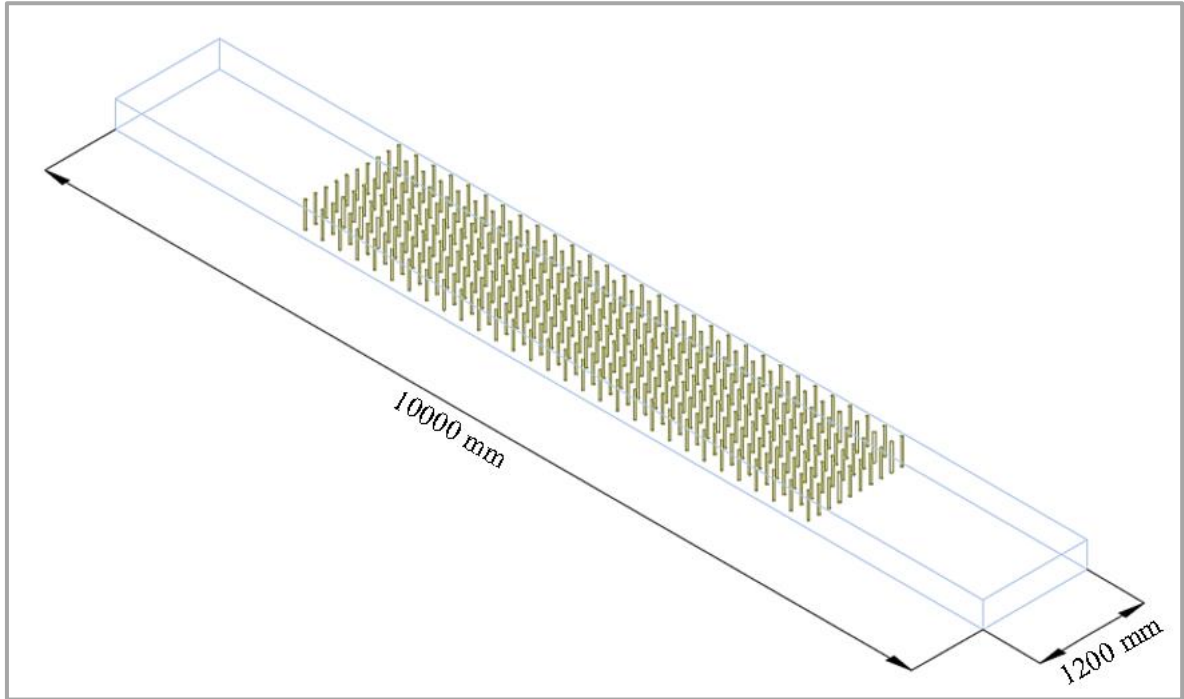
No	Kanal Tipi	Çubuk Yüksekliği (mm)	Çubuk Yoğunluğu	Debi, Q (l/s)
1	Bileşik Kesitli Kanal	180	Boş kanal	15
2			Az ($\lambda=0,001$)	15
3			Orta ($\lambda=0,002$)	15
4			Yüksek ($\lambda=0,004$)	15
5	Dar Kanal	180	Boş kanal	6,5
6			Az ($\lambda=0,001$)	6,5
7			Orta ($\lambda=0,002$)	6,5
8			Yüksek ($\lambda=0,004$)	6,5
9	Dar Kanal	300	Boş kanal	6,5
10			Az ($\lambda=0,001$)	6,5
11			Orta ($\lambda=0,002$)	6,5
12			Yüksek ($\lambda=0,004$)	6,5

Çizelge 4.2. Dorcheh (2007) tarafından yürütülen çalışmada geniş dikdörtgen kanal ile yürütülen deney setleri

No	Kanalda Bitki Örtüsü Tipi	Çubuk Yüksekliği (mm)	Çubuk Yoğunluğu	Debi, Q (l/s)
1	Tamamı kaplı	180	Boş kanal	15
2			Az ($\lambda=0,001$)	
3			Orta ($\lambda=0,002$)	
4			Yüksek ($\lambda=0,004$)	
5		300	Boş kanal	
6			Az ($\lambda=0,001$)	
7			Orta ($\lambda=0,002$)	
8			Yüksek ($\lambda=0,004$)	
9	Bir kenarı kısmi kaplı	180	Boş kanal	15
10			Az ($\lambda=0,001$)	
11			Orta ($\lambda=0,002$)	
12			Yüksek ($\lambda=0,004$)	
13		300	Boş kanal	
14			Az ($\lambda=0,001$)	
15			Orta ($\lambda=0,002$)	
16			Yüksek ($\lambda=0,004$)	
17	İki kenarı kısmi kaplı	180	Boş kanal	15
18			Az ($\lambda=0,001$)	
19			Orta ($\lambda=0,002$)	
20			Yüksek ($\lambda=0,004$)	
21		300	Boş kanal	
22			Az ($\lambda=0,001$)	
23			Orta ($\lambda=0,002$)	
24			Yüksek ($\lambda=0,004$)	

4.1. Deney Kanal Özellikleri ve Hız Ölçümü

Deneyler için genişliği 1200 mm, azami derinliği 300 mm, uzunluğu 10 000 mm ve eğimi 1:1000 olan bir laboratuvar kanalı oluşturulmuştur. Deneylerin yürütülmesi esnasında oluşacak su basıncına karşı yapısal dayanımın sağlanması amacıyla kalınlığı 10 mm olan sertleştirilmiş cam kullanılmıştır. Kanal sabit çelik bir çerçevenin üzerine yerleştirilmiştir. Kanal yapısına ilişkin görsel Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Deneyde kullanılan kanal geometrisi

Kanala su beslemesi azami basma debisi 0,8 l/s olan bir pompa vasıtasıyla sağlanmıştır. Kanal kesitindeki belirli noktalarda hızların ölçümü için üç boyutlu akustik doppler hız ölçer (Acoustic doppler velocimeter, ADV) kullanılmıştır. Kanal kenarları, kanal tabanı ve su yüzüne yakın ölçümler alınması için azami sayıda ölçüm yapılmıştır.

4.2. Deneyde Kullanılan Kanal ve Bitki Örtüsü Tipleri

Dorcheh (2007) tarafından yürütülen çalışmada kanalda bulunan bitki örtüsü yoğunluğu az, orta ve yüksek olmak üzere üç grupta incelemiştir. Çubuklar arası mesafeye ve çubukların sayısına bağlı olan yoğunluk λ ile ifade edilmiş ve Eş. 4.1’de verilmiştir.

$$\text{Yoğunluk, } \lambda = \frac{\text{Kontrol hacminde bulunan bitkinin izdüşüm alanı}}{\text{Kontrol hacmindeki toplam akış hacmi}}$$

$$\lambda = \frac{\Phi}{a_x \cdot a_y} \quad (4.1)$$

Burada; Φ metre cinsinden çubukların çapını, a_x ve a_y ise metre cinsinden sırasıyla akım doğrultusunda ve akım en kesiti yönünde çubukların arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. Çubuk Konfigürasyonları (Dorcheh, 2007)

Yoğunluk	$\lambda(\text{m}^{-1})$	$a_x(\text{mm})$	$a_y(\text{mm})$	Dizilim
Az	0,001	200	120	Düzgün, simetrik
Orta	0,002	100	120	Şaşırtmalı
Yüksek	0,004	100	60	Düzgün

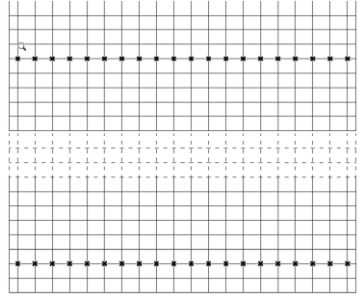
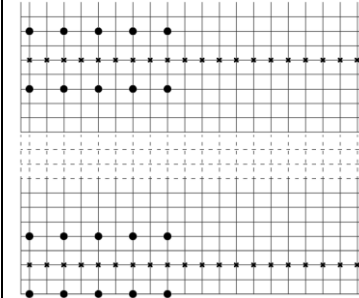
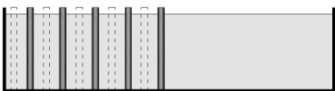
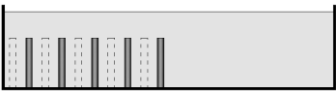
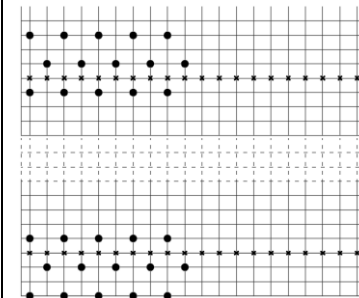
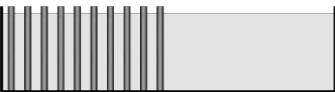
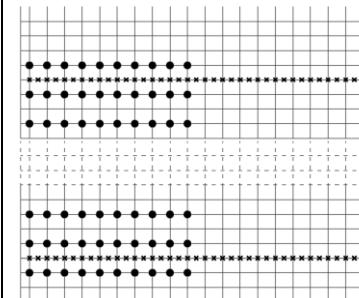
Dorcheh (2007) tarafından yürütülen çalışmada hız ölçümleri kanalın 1,4'üncü ve 4,4'üncü metrelerinde olmak üzere iki kesitte derinlik boyunca 50 mm aralıklarla yapılmıştır. Yüksek yoğunluklu durumlarda ölçümler yanal yönde 30 mm aralıklarla diğer kanal tiplerinde ise 60 mm aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktaları çubukların arkasına ya da aralarına denk gelmiştir.

Dorcheh (2007) çalışmasında, genişliği 1200 mm, yüksekliği 300 mm ve akım derinliği 275 mm olan dikdörtgen kesitli kanal ile kanal kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu, kanal kesitinin sadece bir yarısının bitki örtüsü ile kaplı olduğu ve kanal kenarlarının bitki örtüsü ile kaplı olduğu deneyler yürütmüştür. Düşey hız ölçümleri; 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm ve 275 mm noktalarında alınmıştır. Bu deney setlerine ilişkin ayrıntılar sırasıyla Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

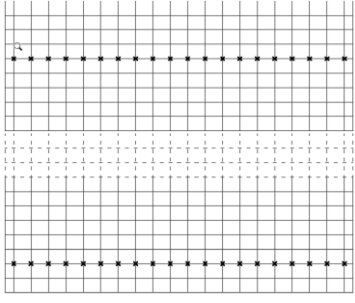
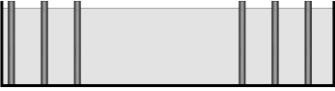
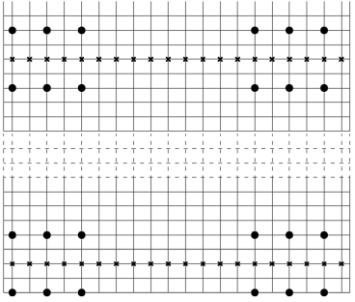
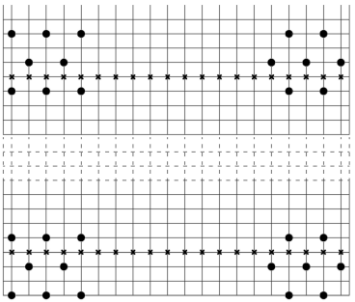
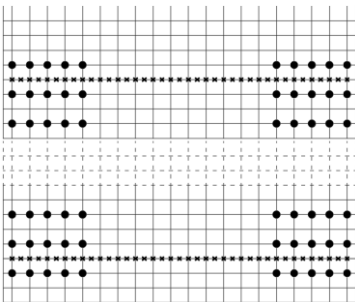
Çizelge 4.4. Dorcheh'in (2007) tamamı bitki örtüsü ile kaplı dikdörtgen kanal deney setleri

	Batmamış Bitki Örtüsü (Rh=300)	Batmış Bitki Örtüsü (Rh=180)	Çubukların planda görünüşü
	Boş Kanal		
Tamamı bitki örtüsü ile kaplı kanal			
	Az Yoğunluklu ($\lambda=0,001$)		
	Orta Yoğunluklu ($\lambda=0,002$)		
	Yüksek Yoğunluklu ($\lambda=0,004$)		

Çizelge 4.5. Dorcheh'in (2007) sadece bir yarısının bitki örtüsü ile kaplı dikdörtgen kanal deney setleri

	Batmamış Bitki Örtüsü (Rh=300)	Batmış Bitki Örtüsü (Rh=180)	Çubukların planda görünüşü
Kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı kanal	Boş Kanal		
			
	Az Yoğunluklu ($\lambda=0,001$)		
			
	Orta Yoğunluklu ($\lambda=0,002$)		
			
	Yüksek Yoğunluklu ($\lambda=0,004$)		
			

Çizelge 4.6. Dorcheh'in (2007) kanal kenarlarının bitki örtüsü ile kaplı dikdörtgen kanal deney setleri

	Batmamış Bitki Örtüsü (Rh=300)	Batmış Bitki Örtüsü (Rh=180)	Çubukların planda görünüşü
	Boş Kanal		
			
	Az Yoğunluklu ($\lambda=0,001$)		
			
	Orta Yoğunluklu ($\lambda=0,002$)		
			
	Yüksek Yoğunluklu ($\lambda=0,004$)		
			

Yan tarafları kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı kanal

4.3. Bilgisayarlı Modellemeler

Koç (2016) yüksek lisans tezinde Dorcheh (2007) tarafından yürütülen çalışmadaki geniş dikdörtgen kesitli kanalda, kanal en kesitinin tamamının batmış ve batmamış durumdaki az, orta ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içerdiği durumları ANSYS CFX yazılımı ile modelleyerek analizler gerçekleştirmiş ve sonuçlarını değerlendirmiştir. 6 farklı bitki örtüsü modellemesine yönelik farklı kanal uzunlukları ile geometriler oluşturularak toplamda 24 farklı senaryo çalışılmıştır. Koç'un (2016) çalışmasında modellediği kanal ve bitki örtüsü tipleri ile genel analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Koç'un (2016) çalışmasında modellenen kanal ve bitki örtüsü tipleri

Bitki Örtüsü Durumu	Bitki Örtüsü Yoğunluğu	Kanal Uzunluğu (m)	Çubuk Sayısı	Analiz Sonucu	İlave Çözüm
Batmamış Bitki Örtüsü (Rh=300)	Az	10	300	Analiz tamamlanamamış	
		14	300		
		16	300	İleri inceleme tavsiye edilmiş	
		20	300	Deney sonuçları ile benzer hızlar elde edilmiş.	
	Orta	10	600	Analiz tamamlanamamış	
		14	600		
		16	600		
		20	600		
	Yüksek	10	1200	Analiz tamamlanamamış	
		14	1200		
		16	1200		
		20	1200	Sonuçlar yetersiz	
Batmış Bitki Örtüsü (Rh=180)	Az	10	300	Analiz tamamlanamamış	
		14	300		
		16	300		
		20	300	Sonuçlar yetersiz	
	Orta	10	600	Analiz tamamlanamamış	20 çubuk ile yeni analiz
		14	600		
		16	600		
		20	600		
	Yüksek	10	1200	Analiz tamamlanamamış	
		14	1200		
		16	1200		
		20	1200		

5. SAYISAL MODELİN AÇIKLANMASI

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan sayısal model ile ilgili açıklamalar verilmiştir. Modelin çalışma prensibi ile ilgili temel bilgilerin yanı sıra modelde yapılan tercihler ve nedenleri de bu bölümde açıklanmıştır.

5.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

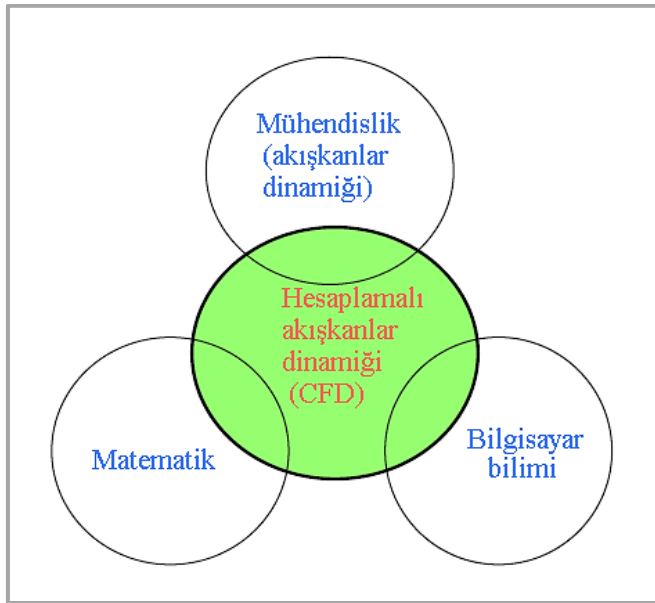
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (H.A.D.), hareketli akışkanlarda kütle, momentum ve enerjinin taşınmasını düzenleyen diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü ile ilgilidir. H.A.D., 1960'ların başında bilgisayarların kullanılabilirliği ile ortaya çıkmış ve önem kazanmıştır. Günümüzde H.A.D., temel ve uygulamalı araştırmalarda, mühendislik ekipmanlarının tasarımında ve çevresel ve jeofizik olayların hesaplanmasında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. 1970'lerin başından bu yana ticari paket yazılımlar (veya bilgisayar kodları) kullanıma sunulmuştur ve bu da H.A.D.'yi endüstriyel, savunma ve çevre örgütlerinde mühendislik uygulamalarının önemli bir parçası haline getirmiştir (Date, 2005).

Ampirik bilgi ile ilgili ana zorluk, bunun yalnızca oluşturulduğu sıvı hızının, sıcaklığın, zamanın veya uzunluğun sınırlı ölçek aralığına uygulanabilir olmasıdır. Örneğin mühendisler daha yüksek kapasiteli bir enerji santrali tasarlamaya çalıştıklarında, kazan fırınları, kondansatörler ve daha yüksek boyutlara sahip türbinlerin tasarlanması için yeni ampirik bilgilerin tekrar baştan üretilmesi gerekiyordu ve bu yeni bilgilerin üretilmesi hiç de kolay bir iş değildi. Bunun sebebi daha büyük ölçeklere uygulanabilir bilgilerin, her şeyden önce, laboratuvar ölçekli modellerle üretilmiş olması gerektiğidir. Kısacası, tasarımcıların ölçekten bağımsız bir tasarım aracına ihtiyaçları bulunuyordu ve bu araç bilimsel ve kullanımı ekonomik olmalıydı (Date, 2005).

Temel yasaların (bazı diğer daha ileri ampirik yasalarla birlikte) geniş çapta uygulanabilir ve ölçekten bağımsız bilgi üretme potansiyeli, neredeyse 200 yıl önce icat edildiklerinden beri bilinmektedir. Bununla birlikte, bu potansiyelin gerçekleştirilmesi (ilgili diferansiyel denklemleri çözme yeteneği anlamına gelir), yalnızca bilgisayarların mevcudiyeti ile mümkün olmuştur. Geçtiğimiz yıllarda, aritmetik işlemlerin bir bilgisayarda gerçekleştirilebileceği hızlarda neredeyse üstel bir büyümeye şahit olunmuştur (Date, 2005).

Akışkanlar mekaniği ve ısı transferinin farklı disiplinlerinden elde edilen H.A.D., özellikle proses, kimya, inşaat ve çevre mühendisliği alanlarında diğer önemli keşfedilmemiş alanlara yönelmektedir. Hesaplamalı simülasyonlarla yeni ve daha iyi geliştirilmiş sistem tasarımlarının yapılması ile mevcut ekipmanlarda optimizasyon yapılması, verimlilik artışı ve işletme maliyetlerinin düşmesini sağlamaktadır. Küresel ısınma ve artan dünya nüfusu endişeleriyle, enerji üretimi endüstrilerindeki mühendisler, geliştirme ve güçlendirme maliyetlerini azaltmak için büyük ölçüde H.A.D.'ye güvenmektedirler (Tu, Yeoh ve Liu, 2018).

H.A.D.'nin ne olduğu sorusu özetlenecek olursa H.A.D. özellikle hareket halindeki akışkanları ve akışkanın akım davranışının, ısı transferini ve yanma akışlarında muhtemel kimyasal reaksiyonları içerebilecek süreçleri nasıl etkilediğini çözümlemektedir (Tu, Yeoh ve Liu, 2018).



Şekil 5.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği içinde toplanan farklı disiplinler (Tu, Yeoh ve Liu, 2018)

5.2. Fluent Yazılımının Tarihsel Gelişimi

New Hampshire, A.B.D. şirketi Creare Inc. tarafından finanse edilen bir proje, mühendisler için kullanımı kolay ve etkileşimli bir H.A.D. yazılım kodu geliştirilmesine yol açtı. Dr. Ferit Boysan, bu teknolojiye İngiltere'deki Sheffield Üniversitesinde o sırada öncülük eden araştırmacılardan birisiydi. Creare Inc.'te departman sorumlusu olan Bart Patel ile ortaklık

kurdu. Aynı zamanlarda Michael Engelman, A.B.D.’nin Chicago, Illinois şehrinde Fluid Dynamics International’ı (FDI) kurdu. FDI sonlu elemanlar hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde önemli bir oyuncuydu. Bu üç kişi sonraki 20 yıl boyunca Fluent’in gelişiminde büyük itici güçler haline geldiler.

Sheffield Üniversitesi ve Creare Inc. arasındaki bu işbirliği, daha geniş mühendislik toplulukları için etkileşimli ve kullanımı kolay bir CFD yazılım ürünü geliştirdi. ‘Fluent’ adı verilen bu yazılımın ilk sürümü Ekim 1983’te piyasaya sürüldü. ‘Fluent’ (akıcı) tabiri, ifadeyi akım üzerine bilimsel bir eserinde kullanan muhteşem 17. yüzyıl fizikçisi Isaac Newton’un çalışmasında teknik bir kökene sahiptir.

Creare Inc. altında gelişimini hızla devam ettiren Fluent Group 1988’de ayrı bir firma haline geldi. 1996 yılında Fluent, hesaplamalı akışkanlar dinamiği alanında piyasadaki en büyük rakibi olan ve FIDAP yazılımının kodlarını geliştiren Fluid Dynamics International’ı satın aldı. Bunu 1997’de Polyflow’un satın alınması takip etti. Mayıs 2006 tarihinde son kez el değiştirerek günümüzde halen sahibi olan ANSYS tarafından satın alındı. ANSYS Inc. 1970’lerde kurulan ve yapısal/sonlu eleman analizleri ile ilgili geçmişi olan bir firmadır (İnternet: ANSYS Inc.. A Brief History of Fluent. <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ccs.uky.edu%2FUserSupport%2FSoftwareResources%2FFluent%2F&date=2019-05-20>, Son Erişim Tarihi:20.05.2019).



Resim 5.1. Fluent yazılımının tarihsel gelişimi (İnternet: ANSYS Inc.. A Brief History of Fluent. <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ccs.uky.edu%2FUserSupport%2FSoftwareResources%2FFluent%2F&date=2019-05-20>, Son Erişim Tarihi:20.05.2019)

5.3. ANSYS Fluent Yazılımı

ANSYS Fluent, karmaşık geometrilerdeki akışkan akımlarını, ısı transferlerini ve kimyasal reaksiyonları modellemeye yönelik bir bilgisayar programıdır. ANSYS Fluent, C programlama dilinde yazılmış olup bu dilin sunduğu esneklik ve gücü tam anlamıyla kullanmaktadır. Ayrıca istemci masaüstü iş istasyonlarında ve güçlü bilgi işlem sunucularında aynı anda ayrı işlemleri çalıştırmasını sağlayan bir istemci / sunucu mimarisi kullanır (ANSYS Fluent Getting Started Guide, 2013).

ANSYS Fluent, çok çeşitli türdeki sıkıştırılmaz ve sıkıştırılabilir, laminar ve türbülanslı akım problemlerine yönelik kapsamlı modelleme imkânı sunar. Kararlı ya da kararsız akımların analizleri gerçekleştirilebilir. ANSYS Fluent'te taşınım olayları (ısı transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi) için çok çeşitli sayıdaki matematiksel model, karmaşık yapıdaki geometrileri modelleme yeteneği ile birleştirilmiştir. ANSYS Fluent uygulamalarının örnekleri; proses ekipmanlarındaki Newton tipi olmayan akışları; turbo makineleri ve otomotiv motor parçalarında eşlenik ısı transferlerini; kazanlarda toz haline getirilmiş kömürün yakılmasını; dış aerodinamiği; kompresörlerden, fanlardan ve pompalardan geçen akışları ve hava kabarcığı kolonları ile akışkan yataklarındaki çok fazlı akımları içerir (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

ANSYS Fluent'teki bir diğer çok faydalı model grubu serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleridir. Bunlar gaz-sıvı, sıvı-katı ve gaz-sıvı-katı akışlarının analizlerinde kullanılabilir. Bu tip problemler için ANSYS Fluent, akışkan hacmi yönteminin (volume of fluid, VOF), karışım yönteminin, Euler modellerinin ve ayrık faz modelinin (discrete phase model, DPM) kullanımını sağlar. Çok fazlı akışın örnekleri; açık kanal akımlarını, spreyleri, sedimentasyonu, ayrılma ve kavitasyonu içerir (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.4. Programın Kullandığı Denklemler

ANSYS Fluent bütün akışların hesaplamalarında kütle ve momentum için korunum denklemlerini çözer. Isı transferi veya sıkıştırılabilirlik içeren akışlarda enerji korunumu için ek bir denklem mevcuttur. Türlerin karışımını ve reaksiyonlarını içeren akım durumlarında türlerin korunumu denklemi çözülür veya önceden karıştırılmamış yanma modeli kullanılırsa karışım oranı ve değişkeni için korunum denklemleri çözülür. Akımın

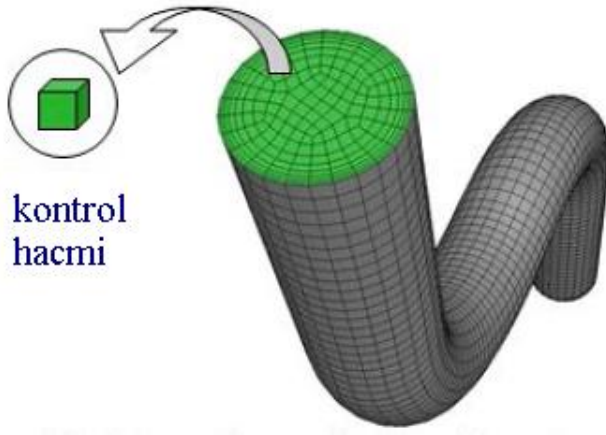
türbülanslı olduğu durumlarda ilave taşınım denklemleri de çözülmektedir. Viskoz olmayan akımlar için de Euler denklemleri çözülmektedir (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

ANSYS CFD çözümleyicileri sonlu hacimler metoduna (finite volume method, FVM) dayanır (Introduction to ANSYS Fluent, Training Manual, 2011). Sonlu hacimler metodu, diferansiyel hacimler için korunum yasalarını temsil eden kısmi diferansiyel denklemleri, sonlu hacimler (veya elementler veya hücreler) için ayırık cebirsel denklemlere dönüştüren sayısal bir yöntemdir. Sonlu farklar metodu (finite difference method, FDM) veya sonlu elemanlar yöntemine (finite element method, FEM) benzer bir şekilde, çözüm sürecindeki ilk adım, FVM'de üst üste binmeyen öğelere veya sonlu hacimlere ayrılan geometrik alanın ayrıklaştırılması işlemidir. Kısmi diferansiyel denklemler daha sonra bunları her bir ayırık eleman üzerine entegre ederek cebirsel denklemlere dönüştürülür. Sonrasında elemanların her biri için bağımlı değişken değerlerini hesaplamak amacıyla cebirsel denklem sistemleri çözülür (Moukalled, Mangani ve Darwish, 2016).

Öncelikle hesaplama yapılacak sistem kontrol hacimlerine bölünür (Resim 5.2). Sonra bu kontrol hacimleri kümesinde kütle, momentum, enerji vb. genel korunum (taşınım) denklemleri çözülür.

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV}_{\text{Kararsız}} + \underbrace{\oint_A \rho \phi V \cdot dA}_{\text{Taşınım}} = \underbrace{\oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot dA}_{\text{Difüzyon}} + \underbrace{\int_V S_\phi dV}_{\text{Oluşum (generation)}} \quad (5.1)$$

Kısmi diferansiyel denklemler, bir cebirsel denklemler sistemine dönüşür. Çözüm alanını oluşturmak için bütün cebirsel denklemler sayısal olarak çözülür (Introduction to ANSYS Fluent, Training Manual, 2011).



Resim 5.2. Sonlu hacim metodunda kontrol hacmi (Introduction to ANSYS Fluent, Training Manual, 2011)

Sonlu hacimler yönteminde, korunum denklemindeki bazı terimler yüz akışına (face flux) dönüştürülür ve sonlu hacmin yüzünde değerlendirilir. Belirli bir hacme giren akış (flux), bitişik hacmi terk eden ile aynı olduğundan, sonlu hacimler metodu tam olarak korunumludur (conservative). Sonlu hacimler metodunun bu doğal korunum özelliği onu H.A.D.'de tercih edilen yöntem haline getirmiştir. Sonlu hacimler metodunun bir başka önemli özelliği ise yapılandırılmamış poligon ağları üzerinde fiziksel alanda formüle edilebilmesidir. Son olarak, bilinmeyen değişkenler sınır yüzeylerinde değil, hacim elemanlarının merkezlerinde değerlendirildiği için sonlu hacimler metodunda çeşitli sınır koşullarının müdahalesiz bir şekilde uygulanması oldukça kolaydır (Moukalled, Mangani ve Darwish, 2016).

5.4.1. Kütlenin korunumu

Kütlenin korunumu ya da süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (5.2)$$

Eş. 5.2 kütlenin korunumu eşitliğinin genel şeklidir ve sıkıştırılabilir akımlarda olduğu gibi sıkıştırılamayan akımlar için de geçerlidir. S_m sürekli olan faza, dağılan ikincil fazdan eklenen kütledir (örn. Sıvı damlacıklarının buharlaşmasına bağlı olarak) (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.4.2. Momentumun korunumu

Modelde çözülen ikinci denklem momentum denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (5.3)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada p statik basıncı, $\bar{\bar{\tau}}$ gerilme tensörünü ve $\rho \vec{g}$ ile $\vec{F}$ yerçekimine bağlı kuvvet ve dış gövde kuvvetini (örn. dağılan faz ile etkileşimden doğar) göstermektedir. $\vec{F}$ aynı zamanda modelden bağımsız gözenekli ortam (porous media) gibi diğer kaynak koşulları ve kullanıcı tarafından belirlenen kaynakları içerir.

Eş. (5.3)'te belirtilen gerilme tensörü $\bar{\bar{\tau}}$ aşağıdaki şekilde ifade edilir(ANSYS Fluent Theory Guide, 2013)

$$\bar{\bar{\tau}} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (5.4)$$

Burada; μ moleküler viskoziteyi, I birim tensörü ve eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terim hacim genişlemesinin etkisini belirtmektedir.

5.5. Akışkan Hacmi (Volume of Fluid, VOF) Modeli

Akışkan hacmi modeli, tek bir momentum denklemi setini çözerek ve akım alanındaki her bir akışkanın hacimsel oranını takip ederek iki veya daha fazla sayıdaki karışmaz akışkanı modelleyebilir. Jet ayrılmasının tahmini, büyük kabarcıkların bir akışkan içindeki hareketleri, bir barajın çökmesi sonrasında akışkanın hareketi ve herhangi bir akışkan-gaz ara yüzünün sürekli ya da geçici olarak izlenmesi tipik uygulamalardandır (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

Akışkan hacmi formülasyonu iki veya daha fazla akışkanın (veya fazın) iç içe geçmemesine dayanmaktadır. Modele eklenen her yeni faz için hesaplamalı hücreye fazın hacimsel oranı için bir değişken atanır. Her kontrol hacminde fazların hacimsel oranları toplanarak bire eşitlenir. Bütün değişkenler ve özellikler için alanlar, fazlar tarafından paylaşılır ve her fazın

hacimsel oranı bilindiği sürece hacim ortalamalı değerlerini temsil eder. Böylece herhangi bir hücredeki değişkenler ve özellikler, hacimsel oran değerlerine bağlı olarak ya tamamen fazlardan birisini ya da fazların karışımını temsil eder. Başka bir ifadeyle eğer hücredeki q'ncu akışkanın hacimsel oranı α_q ile gösterilirse aşağıdaki üç durum mümkün olabilir:

- $\alpha_q=0$: Hücre boştur. (q'ncu akışkan için)
- $\alpha_q=1$: Hücre doludur. (q'ncu akışkan için)
- $0 < \alpha_q < 1$: Hücre q'ncu akışkan ile diğer akışkanlardan bir ya da birden fazlasıyla ara yüzey içermektedir.

α_q 'nın bölgesel değerine bağlı olarak akım alanı içindeki her kontrol hacmine uygun özellikler ve değişkenler atanır (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.5.1. Akışkan hacmi eşitliği

Fazlar arasındaki ara yüzün ya da ara yüzlerin takibi fazlardan birinin ya da birden fazlasının hacim oranı için süreklilik denkleminin çözülmesiyle sağlanır. $\dot{m}_{qp}$ q fazından p fazına ve $\dot{m}_{pq}$ p fazından q fazına kütle taşınımını ifade etmek üzere q'ncu faz için bu eşitlik aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (5.5)$$

Hacimsel oran eşitliği birincil faz için çözülmez. Birincil faza ilişkin hacimsel oran aşağıdaki kısıtlama ile hesaplanır (ANSYS Theory Guide, 2013):

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (5.6)$$

5.5.2. Açık kanal akımı

ANSYS Fluent akışkan hacmi formülasyonunu ve açık kanal sınır koşullarını kullanarak açık kanal akımının (örn. nehirler, barajlar ve sınırsız akımlardaki sahil koruma yapıları vb.) etkilerini modelleyebilmektedir. Bu akımlarda, akmakta olan akışkan ile onun üzerinde

bulunan akışkanın (genellikle atmosferdir) arasında bir serbest yüzey bulunur. Bu gibi durumlarda dalga yayılımı ve serbest yüzey davranışı önem kazanır.

Akım genellikle yerçekimi ve atalet kuvvetleri tarafından kontrol edilir. Açık kanal akımları, atalet kuvveti ve hidrostatik kuvvetin oranı olarak tanımlanan boyutsuz Froude sayısı ile karakterize edilir.

5.5.3. Memba sınır koşulu

Açık kanal akımlarında memba sınır koşulu olarak basınç (pressure inlet) ve debi (mass flow rate) olmak üzere ki seçenek söz konusudur.

Basınç girişi

$\vec{b}$ ve $\vec{a}$ sırasıyla yüzey kütle merkezinin ve serbest yüzeydeki-serbest yüzey burada yatay ve yerçekimi yönünün normali olarak kabul edilmiştir- herhangi bir noktanın konum vektörleri, $\vec{g}$ yerçekimi vektörü, $|\vec{g}|$ yerçekiminin büyüklüğü, $\hat{g}$ yerçekiminin birim vektörü, V hızın büyüklüğü, ρ hücredeki karışımın yoğunluğu ve ρ_0 yoğunluk referansı olmak üzere girişteki p_0 toplam basıncı aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$p_0 = \frac{1}{2} \rho V^2 + (\rho - \rho_0) |\vec{g}| \left(\hat{g} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) \right) \quad (5.7)$$

Buradan, dinamik basınç q :

$$q = \frac{\rho}{2} V^2 \quad (5.8)$$

statik basınç p_s :

$$p_s = (\rho - \rho_0) |\vec{g}| \left(\hat{g} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) \right) \quad (5.9)$$

ve, y_{local} referans konum ile serbest yüzey arasındaki mesafe olmak üzere p_s aşağıdaki şekilde genişletilebilir (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013):

$$y_{local} = -(\vec{a} \cdot \hat{g}) \quad (5.10)$$

$$p_s = (\rho - \rho_0) |\vec{g}| \left((\hat{g} \cdot \vec{b}) + y_{local} \right) \quad (5.11)$$

5.5.4. Mansap sınır koşulları

Basınç çıkışı

Statik basıncın belirlenmesi ‘Basınç Belirleme Metodu’ na bağlıdır. ‘Serbest Yüzey Seviyesi’ nin kullanımında statik basınç Eş. 5.8 ve Eş.5.9 ile belirlenir. Nehir rejimli akım ($Fr < 1$) çıkış basınçları için eğer sadece iki faz bulunuyorsa basınç sınır üzerine tanımlanan basınç profilinden belirlenir. Aksi durumda ise komşu hücreden alınır. Sel rejimli akımlar ($Fr > 1$) için basınç her halükarda komşu hücreden alınarak belirlenir (Ansys Fluent Theory Guide, 2013).

Çıkış akımı sınırı (outflow boundary)

Çıkış akımı sınır koşulları akımın hızı ve basıncının akım problemi çözülmeden bilinemediği durumlarda açık kanal akımının çıkışında akım çıkışını modellemek üzere kullanılır. Çıkış sınır koşulları bilinmiyorsa ANSYS Fluent gereken bilgiyi mevcut veriye dayanarak tahmin eder.

Çıkış akımı sınır koşullarının belirlenmesinde önemli kısıtlamalar bulunmaktadır. Bir çıkış akımı sınır koşulu ancak giriş sınır koşulunda debi tanımlandıysa kullanılabilir. Çıkış akımı sınır koşulu basınç girişi ve basınç çıkışı sınır koşulları ile uyumlu değildir. Başka bir ifadeyle, eğer giriş sınır koşulu olarak basınç girişi tanımlanmışsa çıkış sınırı olarak da basınç çıkışı sınır koşulu olarak tanımlanabilir (Ansys Fluent Theory Guide, 2013).

Ters akım hacim oranının belirlenmesi

ANSYS Fluent çıkış sınırındaki hacimsel oran değerlerini komşu hücre değerlerini kullanarak kendisi hesapladığı için bu seçenek çıkış sınırı için kullanılmamaktadır (Ansys Fluent Theory Guide, 2013).

Yüzey Gerilmesi ve Adezyon

Akışkan hacmi modeli her faz çifti arasındaki ara yüz boyunca yüzey geriliminin etkilerini de içerebilir. Yüzey gerilimi katsayısı, bir sabit olarak, polinom yoluyla sıcaklığın bir fonksiyonu olarak veya kullanıcı tanımlı fonksiyon ile herhangi bir değişkenin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Yazılım, yüzey gerilimi katsayısındaki değişkenlik nedeniyle ortaya çıkan ek kayma gerilmelerini içerir. Değişken yüzey gerilimi katsayısı etkileri genellikle sadece sıfır ya da sıfıra yakın yerçekimi koşullarında önemlidir (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.6. Türbülans Modelleri

Laminer akışın aksine türbülanslı bir akışın dikkat çeken özelliği, moleküllerin karmaşık düzensiz yollar boyunca kaotik bir şekilde hareket etmesidir. Güçlü kaotik hareket, sıvının çeşitli katmanlarının şiddetli bir şekilde karışmasına neden olur. Moleküller ile katı cidar arasındaki artmış momentum ve enerji değişimi nedeniyle türbülanslı akışlar, aynı koşullardaki laminer akışlara kıyasla daha yüksek yüzey sürtünmesine ve ısı transferine yol açar (Blazek, 2001).

Modern süper bilgisayarların aksine, doğrudan sayısal simülasyon (Direct Numerical Simulation, DNS) olarak da bilinen zamana bağlı Navier-Stokes denklemleriyle türbülansın doğrudan bir simülasyonu, yalnızca düşük Reynolds sayılarındaki (Re) nispeten basit akış problemlerine uygulanabilir. DNS'nin daha geniş çaplı kullanımı, yeterli uzamsal çözünürlük için gerekli ızgara noktalarının sayısının $Re^{9/4}$ ile ve CPU zamanının Re^3 ile ölçekli olmasından dolayı mümkün olmamaktadır. Bu nedenle türbülansın etkileri hesaplamalara yaklaşık olarak katılmak durumunda kalınmaktadır. Bu amaçla, çok çeşitli türbülans modelleri geliştirilmiş ve araştırmalara devam edilmektedir. Türbülanslı akışların yaklaşık davranışları için ilk yaklaşım, 1895'te Reynolds tarafından sunulmuştur. Bu metodoloji, akış değişkenlerinin ortalama ve dalgalanan olarak iki parçaya ayrışmasına dayanmaktadır (Blazek, 2001).

Beş temel türbülans modeli bulunmaktadır:

- Cebirsel
- Tek-denklemlilik (one equation)

- Çok denklemlili (multiple equation)
- Second order closures
- Large-Eddy Simulation (LES)

Bunlardan ilk üç model, ‘first order closures’ grubundadır. Bunlar çoğunlukla Boussinesq’in girdap viskozite hipotezine dayanırlar ancak bazı belirli uygulamalar için ayrıca doğrusal olmayan eddy viskozite formülasyonları da kullanılabilir. Unutulmamalıdır ki her tip türbülanslı akışı güvenilir bir şekilde tahmin edebilen tek bir türbülans modeli bulunmamaktadır. Modellerin her birinin güçlü ve zayıf yönleri vardır (Blazek, 2001).

ANSYS Fluent yazılımı altında pek çok türbülans model seçeneği mevcuttur:

- Spalart Almaras Modeli,
- Standart, RNG ve Realizable k- ϵ modelleri,
- Standart ve SST k- ω modeli,
- k-kl- ω transition modeli,
- Transition SST modeli,
- Intermittency transition modeli,
- V2F modeli,
- Reynolds stress modeli (RSM),
- Scale adaptives simulation (SAS) modeli,
- Detached eddy simulation (DES) modeli,
- Large eddy simulation (LES) modeli,
- Embedded large eddy simulation (ELES) modeli,

Karmaşık türbülanslı endüstriyel akışları hesaplamak için. Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) modelleri en ekonomik yaklaşımı sunmaktadır. Bu modelin tipik örnekleri k- ϵ ve k- ω ’nın farklı şekilleridir (Ansys Fluent User's Guide, 2013).

Bu çalışma kapsamında ANSYS Fluent ile yürütülen analizlerde sadece Standart k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve Standart k- ω türbülans modelleri kullanıldığından sadece bu modellere ilişkin taşıyım eşitlikleri burada verilmiştir. Eşitliklerdeki önemli bazı parametreler eşitliklerin altında verilmiş olup konu çok kapsamlı olduğundan diğer parametreler ve bazı sabitlere ilişkin eşitlikler literatürde mevcuttur.

5.6.1. k-ε türbülans modeli

İki denklemlili türbülans modelleri, iki ayrı taşınım denklemini çözerek türbülanslı bir uzunluk ve zaman ölçeğinin belirlenmesine olanak sağlar. Standart k-ε modeli, türbülans kinetik enerjisi (k) ve bunun dağılım oranı (ε) için model taşınım denklemlerine dayanan bir modeldir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve dağılım oranı (ε) aşağıdaki taşınım denklemlerinden elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (5.13)$$

Burada; G_k , ortalama hızın gradyanına bağlı olarak türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, G_b , kaldırma kuvvetine bağlı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, Y_M , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgalı genişlemenin toplam dağılım oranına katkısını gösterir. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$, sabitlerdir. σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε 'un türbülanslı Prandtl sayılarıdır (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.6.2 RNG k-ε türbülans modeli

RNG tabanlı k-ε modeli, renormalizasyon grubu (RNG) teorisi denilen istatistiksel bir teknik kullanan Instantaneous Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiştir. Standart k-ε'a benzemektedir ancak bazı düzeltmeleri barındırır. Bu düzeltmeler, RNG k-ε modelini standart k-ε modelinden daha geniş bir akış sınıfı için daha doğru ve güvenilir kılmaktadır (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

RNG k-ε modelinin eşitliği standart k-ε modelinin benzeri bir yapıya sahiptir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + R_\varepsilon + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (5.15)$$

Burada; G_k , ortalama hızın gradyanına bağlı olarak türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, G_b , kaldırma kuvvetine bağlı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, Y_M , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgali genişlemenin toplam dağılım oranına katkısını gösterir. σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε için ters etkili Prandtl sayıları ve S_k ile S_ε kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir. (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.6.3. Realizable k-ε modeli

“Realizable” terimi, modelin türbülanslı akışların fiziği ile tutarlı olarak Reynolds gerilmelerindeki belirli matematiksel kısıtlamaları sağladığı anlamına gelir. Realizable k-ε modeli iki önemli özelliğiyle standart k-ε modelinden ayrılır:

- Realizable k-ε modeli alternatif bir türbülanslı viskozite formülü barındırır.
- Dağılım oranı ε için değiştirilmiş bir taşınım eşitliği ortalama karesel girdap dalgalanmasının (mean-square vorticity fluctuation) taşınımı için kesin bir eşitlikten elde edilmiştir.

Realizable k-ε modelinde k ve ε değerleri için taşınım denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_k \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon u_j) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\varepsilon} S_\varepsilon - \rho C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (5.17)$$

Burada; G_k , ortalama hızın gradyanına bağlı olarak türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, G_b , kaldırma kuvvetine bağlı türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu, Y_M , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgali genişlemenin toplam dağılım oranına katkısını gösterir. C_2 ve $C_{1\varepsilon}$

sabitlerdir. σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε için türbülanslı Prandtl sayıları ve S_k ile S_ε kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir. Modeldeki sabitler haricinde buradaki k eşitliği k - ε modeli ve RNG k - ε modeli ile aynıdır. Ancak ε eşitliği standart ve RNG tabanlı eşitliklerden oldukça farklıdır.

Bu modelin geçerliliği, dönen homojen kayma akışları, jetleri ve karışım katmanlarını içeren serbest akışlar, kanal ve sınır katmanlı akışları dahil olmak üzere çok çeşitli akışlar için kapsamlı bir şekilde kabul görmüştür. (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

5.6.4. Standart k - ω modeli

ANSYS Fluent'teki standart k - ω modeli; düşük Reynolds sayısı etkileri, sıkıştırılabilirlik ve kayma akışının yayılması için değişiklikleri barındıran Wilcox k - ω modeline dayanmaktadır. Standart k - ω modeli, türbülans kinetik enerjisine (k) ve ε 'nın k 'e oranı olarak da düşünülebilecek olan spesifik dağılma oranına (ω) dayalı ampirik bir modeldir (Ansys Fluent Theory Guide, 2013).

Türbülans kinetik enerjisi k ve spesifik dağılma oranı ω aşağıdaki eşitliklerden elde edilir:

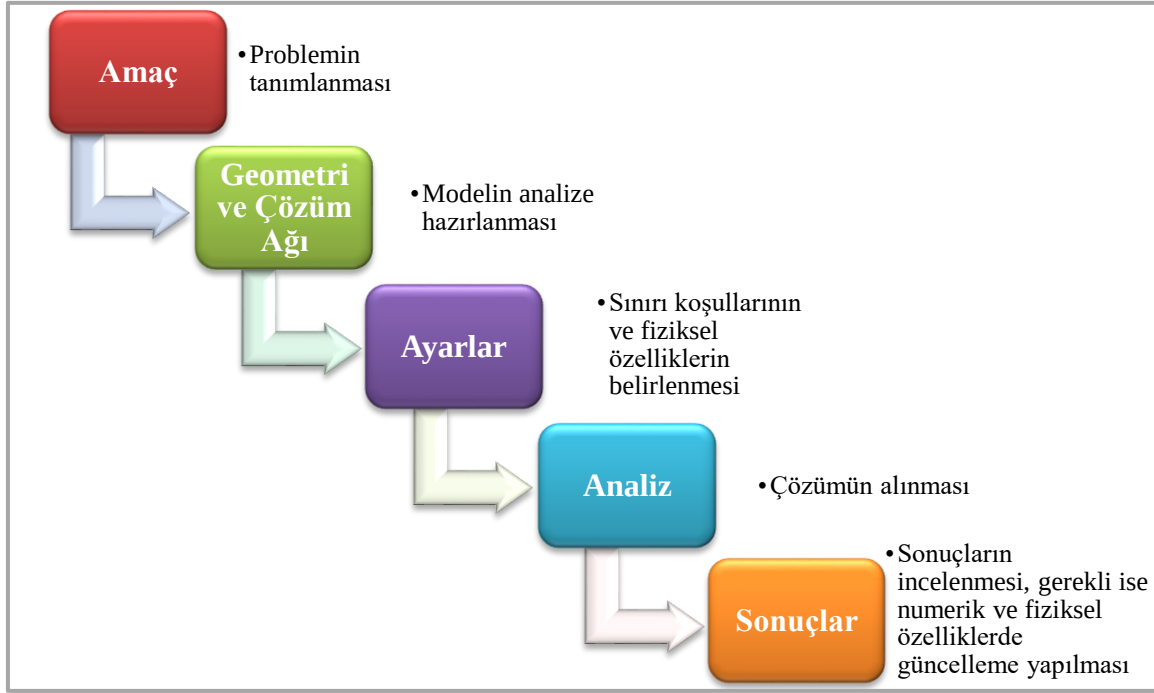
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (5.18)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (5.19)$$

Bu eşitlikte; G_k , ortalama hızın gradyanına bağlı olarak türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu ve G_ω , ω 'nın oluşumunu temsil eder. Γ_k ve Γ_ω sırasıyla k ve ω 'nın etkili dağılma gücünü, Y_k ve Y_ω türbülansa bağlı olarak k ve ω 'nın dağılımını ifade eder. S_k ve S_ω kullanıcı tanımlı terimlerdir.

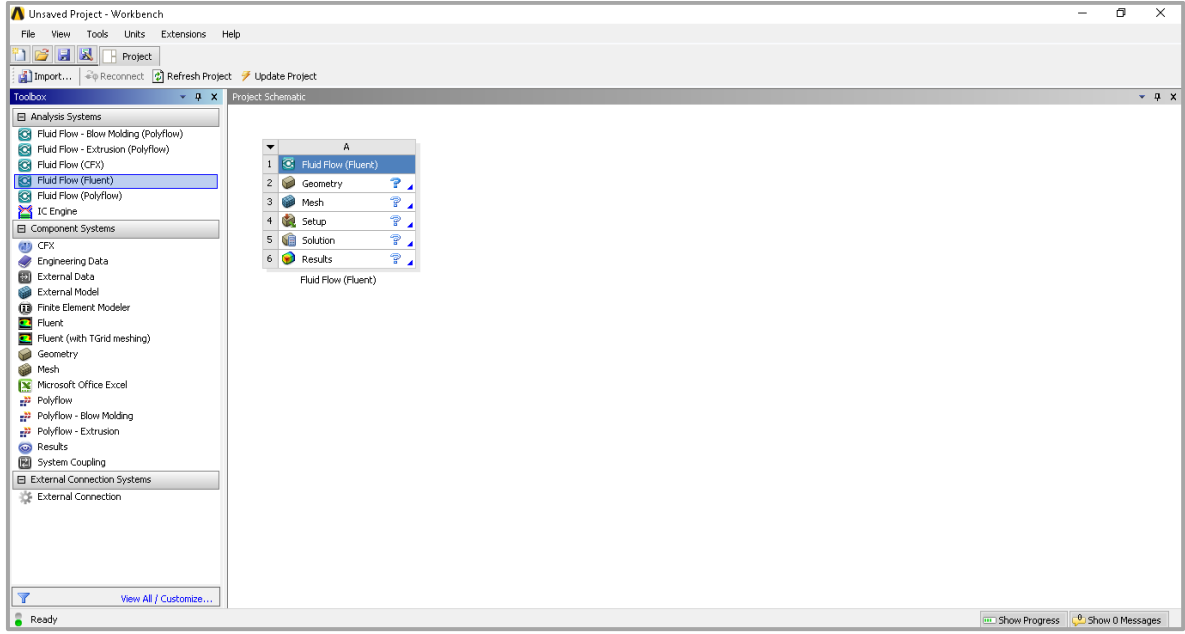
5.7. ANSYS Fluent Programı ile Sayısal Modelin Hazırlanması ve Analiz

Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği probleminin sayısal model hazırlanarak analizinde izlenecek süreç Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. ANSYS Fluent analizinde işlem adımları

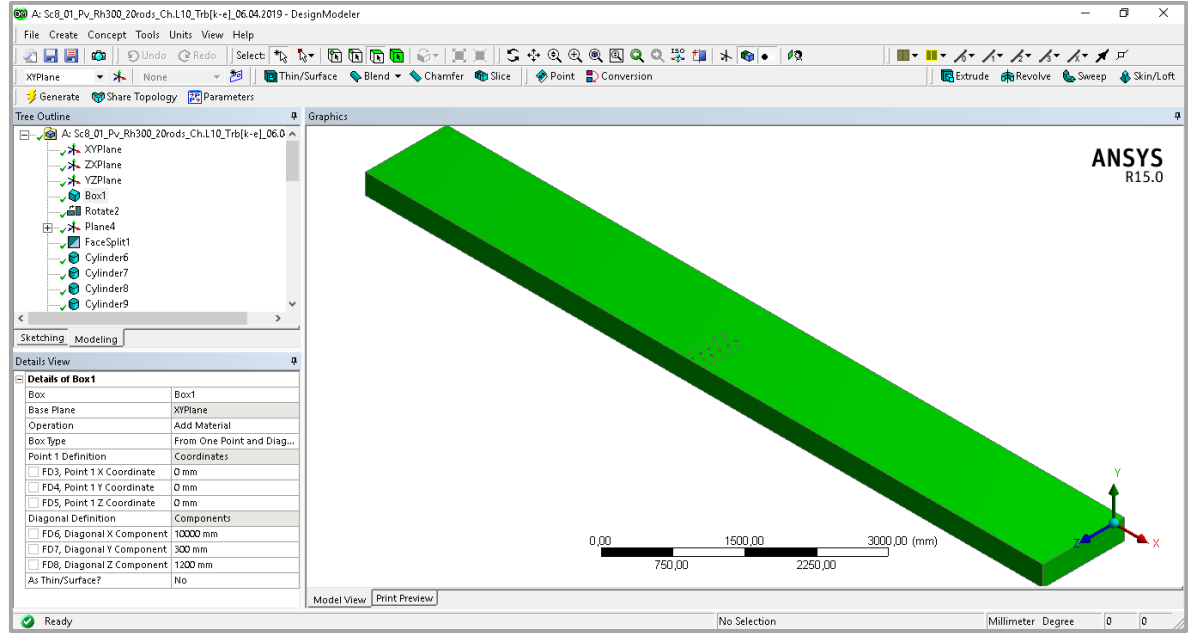
ANSYS Fluent programı çalıştırıldığında ‘workbench’ penceresi açılacaktır (Resim 5.3). Burası yeni çalışma dosyalarının oluşturulabileceği, mevcut çalışmaların ekrana getirilebileceği ana çalışma alanıdır. Buradan itibaren kullanıcı ara yüzü ile etkileşim söz konusudur. Kullanıcı grafik ara yüzünde genel olarak yedi bileşen mevcuttur. Bunlar; menü çubuğu, araç çubukları, gezinti bölmesi, görev sayfaları, konsol, iletişim kutuları ve grafik pencereleridir. Grafik ara yüzü haricinde bir de metin esaslı kullanıcı ara yüzü bulunmaktadır. Bu da yazılımı metin tabanlı komutlarla kontrol etmeyi sağlayan bir komut satırı ara yüzüdür.



Resim 5.3. Workbench'in genel görünümü

5.7.1. Geometri oluşturulması

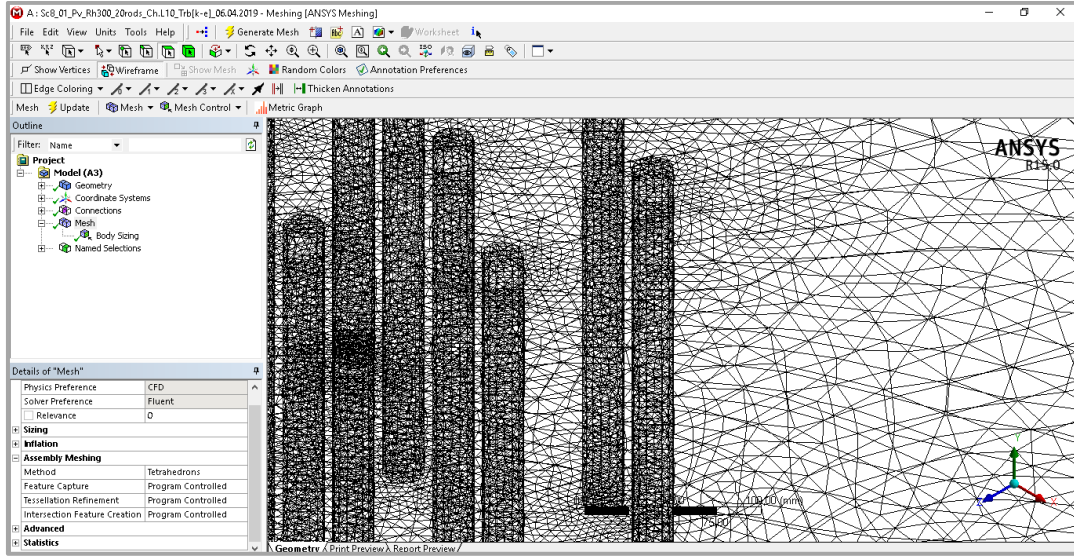
Workbench'te Project Schematic penceresinde yer alan listedeki “Geometry”e tıklandığında yazılımın Design Modeler ara yüzü yeni bir pencerede açılarak geometri oluşturulmasını sağlamaktadır (Resim 5.4). Design Modeler içindeki çizim ve üç boyutlu işlemler gibi çok çeşitli unsurlar kullanılarak geometri oluşturulabileceği gibi ayrı bir CAD sisteminin kullanılmasına da imkân tanımaktadır. Ayrı bir CAD sisteminde hazırlanan geometri dosyası içe aktarma seçeneği ile modele dahil edilebilmektedir.



Resim 5.4. Design Modeler'ın genel görünümü

5.7.2. Çözüm ağı oluşturulması

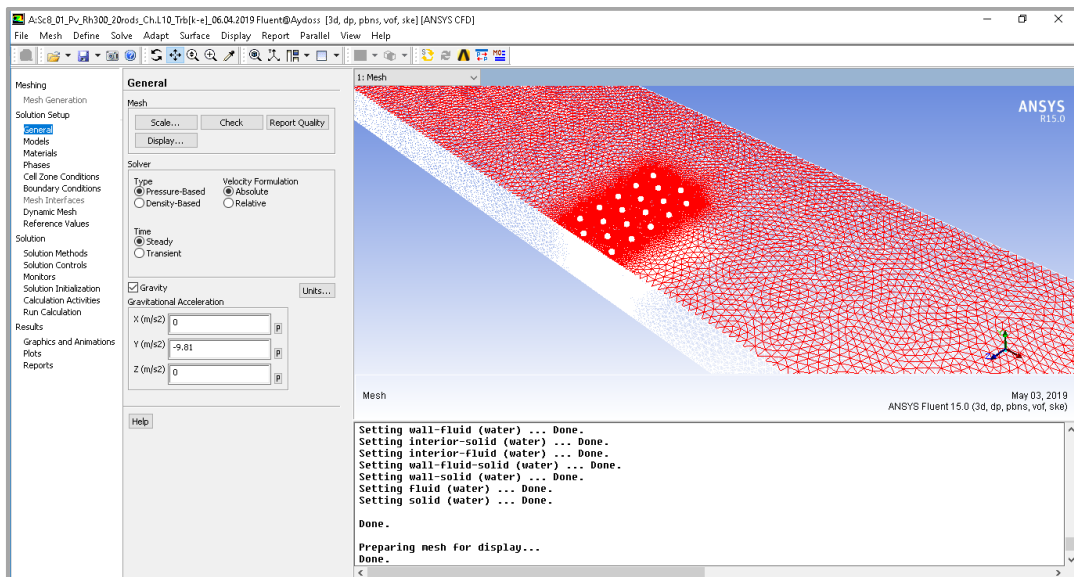
Design Modeler ara yüzü ile geometri hazırlandıktan sonra oluşturulan modele çözüm ağının atanabilmesi için Project Schematic penceresindeki listeden “Meshing” çalıştırılır. ANSYS Meshing ara yüzü yeni bir pencerede açılarak daha önce oluşturulan geometriyi ekrana getirir (Resim 5.5). Burada geometriye atanacak çözüm ağının ayrıntıları belirlendikten sonra çözüm ağı oluşturulur. Çözüm ağının eleman sayısı, düğüm noktası sayısı, çözüm ağı kalitesine yönelik parametreleri incelenerek çözüm ağı hakkında fikir edinilebilir ve gerekli hallerde daha ileri ayarlar yapılarak çözüm ağı daha karmaşık ya da daha basit hale getirilebilir. Gerektiğinde çözüm ağında bölgesel düzenlemeler de yapılabilmektedir. Çözüm ağı farklı bir mesh yazılımında da hazırlanıp içe aktarma ile yazılıma dahil edilebilmektedir.



Resim 5.5. ANSYS Meshing'in genel görünümü

5.7.3. Sınır koşullarının ve fiziksel özelliklerin tanımlanması

Geometrisi ve çözüm ağı oluşturulan modelin analizinin başlatılmasından önce modele ilişkin sınır koşullarının ve fiziksel özelliklerin tanımlandığı kısım Project Schematic penceresinde bulunan listedeki “Setup” seçeneği altındadır. Bu çalıştırıldığında modelle ilgili bütün parametrelerin belirleneceği ANSYS CFD ekranı yeni bir pencerede açılır (Resim 5.6).



Resim 5.6. ANSYS CFD penceresinin genel görünümü

Burada probleme ilişkin fiziksel model (çok fazlı, türbülans, yanma gibi) belirlenir. ANSYS Fluent veri tabanı kullanılarak ya da malzeme özellikleri el ile girilerek problemdeki malzeme bilgisi tanımlanır. Sonrasında sayısal modeldeki birincil ve ikincil fazlar atanarak varsa bu fazlar arasındaki gerilme değeri ve tipi belirlenir.

Karakteristik olarak basınç tabanlı çözücü sıkıştırılamaz ve az sıkıştırılabilir akımlar için kullanılır. Yoğunluk tabanlı yaklaşım ise sıkıştırılabilir yüksek hızlı akımlar için tasarlanmıştır. Her iki yaklaşımın da çok çeşitli akımlarda kullanılabilmesine rağmen yüksek hızlı ve sıkıştırılabilir akımlarda yoğunluk esaslı formülasyonun kaynağı basınç esaslı çözücüye göre kesinlik avantajı sağlar.

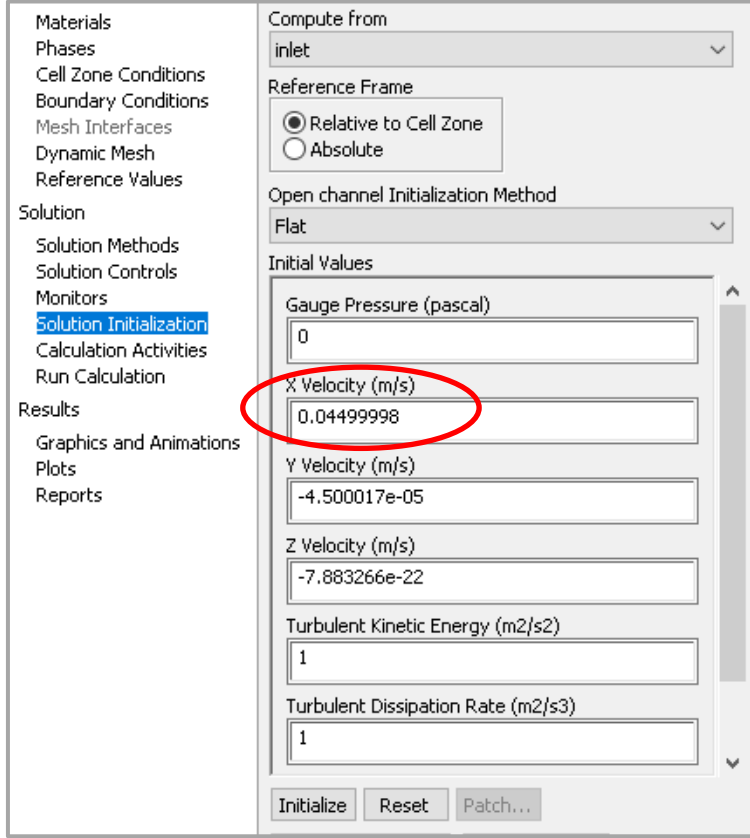
‘Cell zone condition’ kısmında akım alanının yoğunluk ve basınç gibi genel fiziksel özellikleri ile akımın doğrultusu belirlenir. ‘Boundary conditions’ kısmında model için önceden atanan sınır bölgelerine ilişkin sınır koşulları tanımlanır. Açık kanal akımı için sınır şartları ANSYS Fluent User’s Guide içinde de belirtildiği şekilde girişte basınç girişi, serbest yüzeyde ve çıkışta basınç çıkışı olarak tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış basınçlarının hesaplanması için yazılım ara yüzünde hız ve su yüzü yüksekliği gibi değerler girilmiştir. Ayrıca simetri özelliği kullanılarak yapılan analizler için simetri ekseninin sınır koşulu ‘symmetry’ olarak tanımlanır.

5.7.4. Analizin başlatılması ve sonuçların alınması

Setup ekranında gerekli sınır koşulları ve fiziksel özellikler belirlendikten sonra analiz başlatılmadan önce “Solution Initialization” kısmında ANSYS Fluent’e başlangıç için bir tahmini değer verilmelidir. Birçok durumda, beklenen nihai sonucun elde edilmesi için bir başlangıç değerinin verilmesine azami özen gösterilmelidir (ANSYS Fluent User's Guide, 2013).

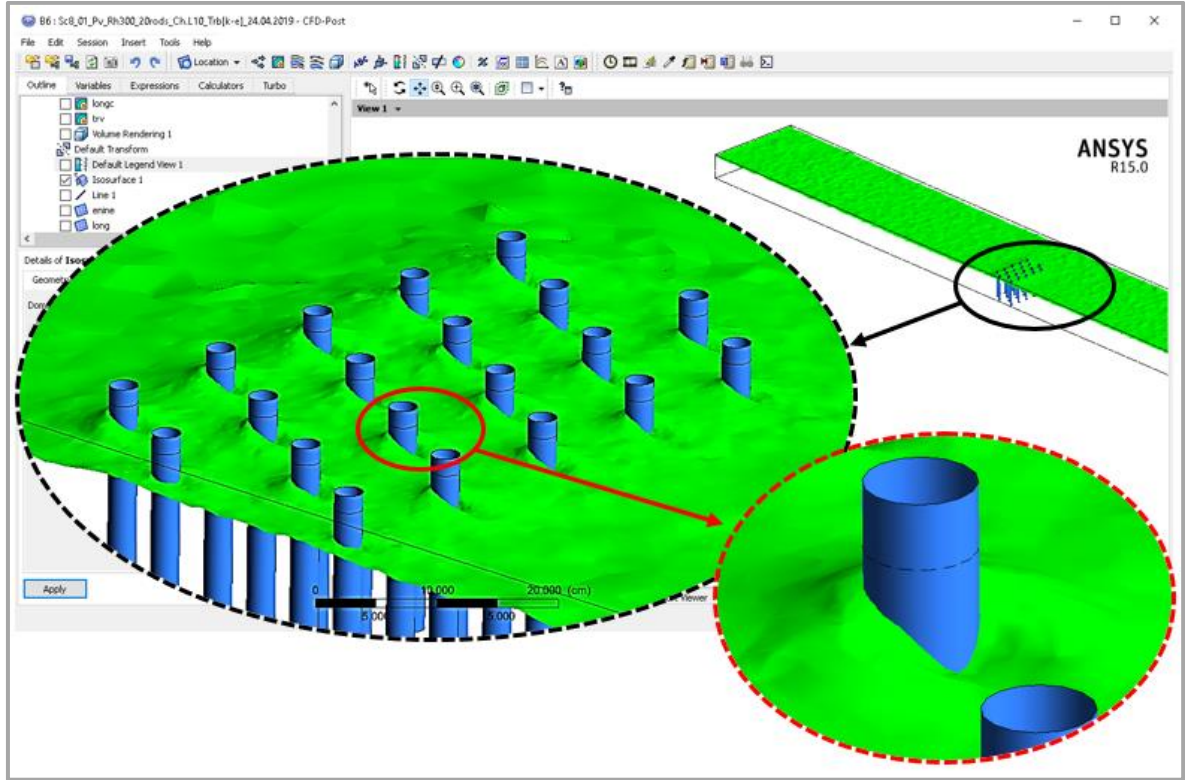
Bu aşamada bir başlatma metodu (initialization method) seçilir ve hesaplamaların başlatılacağı bölge seçilir. Bu giriş olarak tanımlanan kesit olabileceği gibi akımın tamamını kapsayan bütün alanlar (all-zones) da olabilir. Açık kanal akımlarının çözümü yapılıyorsa ara yüzde bunun için ayrı bir açılır pencere daha mevcuttur. Açık kanal başlangıç metodu açılır penceresinden düz (flat) seçilerek başlata (intialize) tıklanır. Ekrandaki başlangıç

değerleri (initial values) tatmin edici düzeydeyse analizin çalıştırılması için hesaplamayı çalıştır (run calculation) sekmesine geçilir (Resim 5.7).

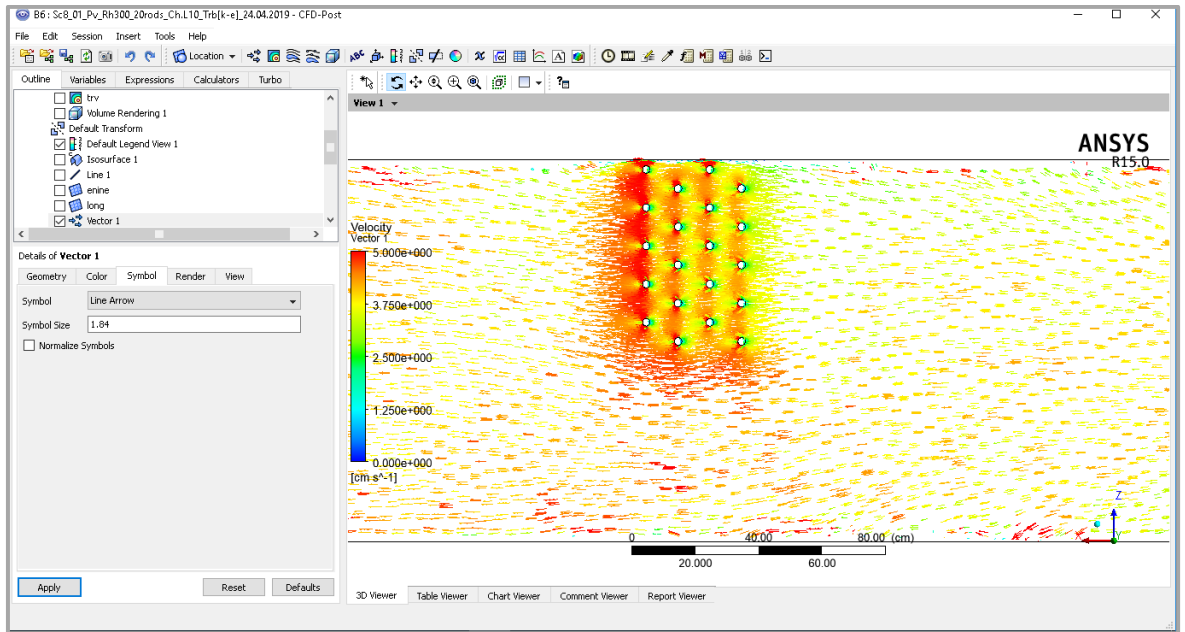


Resim 5.7. Initialization penceresi

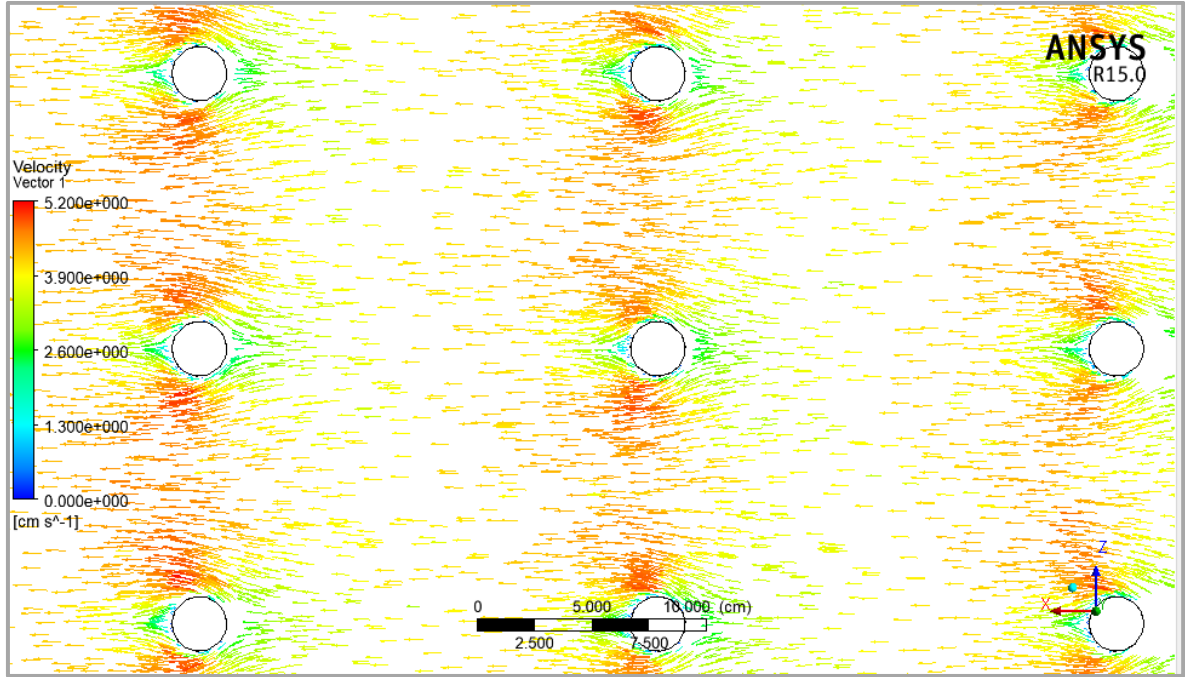
Analiz tamamlandıktan sonra ANSYS CFD ekranı kapatılır ve Project Schematic ekranında yer alan listeden sonuçlar (results) açılır. Böylece oluşturulan geometri ve çözüm ağının analizi neticesindeki bütün sonuçların değerlendirilebileceği, hızların okunabileceği, grafiklerin çizdirilebileceği ANSYS CFD-POST ekranı açılır. Burada analizin sonucuna ilişkin noktasal değerler, belli bir çizgi üzerindeki değerler ya da düzlem üzerindeki değerler okunabilir. Resim 5.8 ile Resim 5.15 arasında CFD-POST'ta alınabilecek bazı sonuçlar gösterilmiştir. Su yüzü profilinden, belirlenen bir konumdaki akım iplikçilerinin oluşumuna kadar pek çok sonuç elde edilebilir.



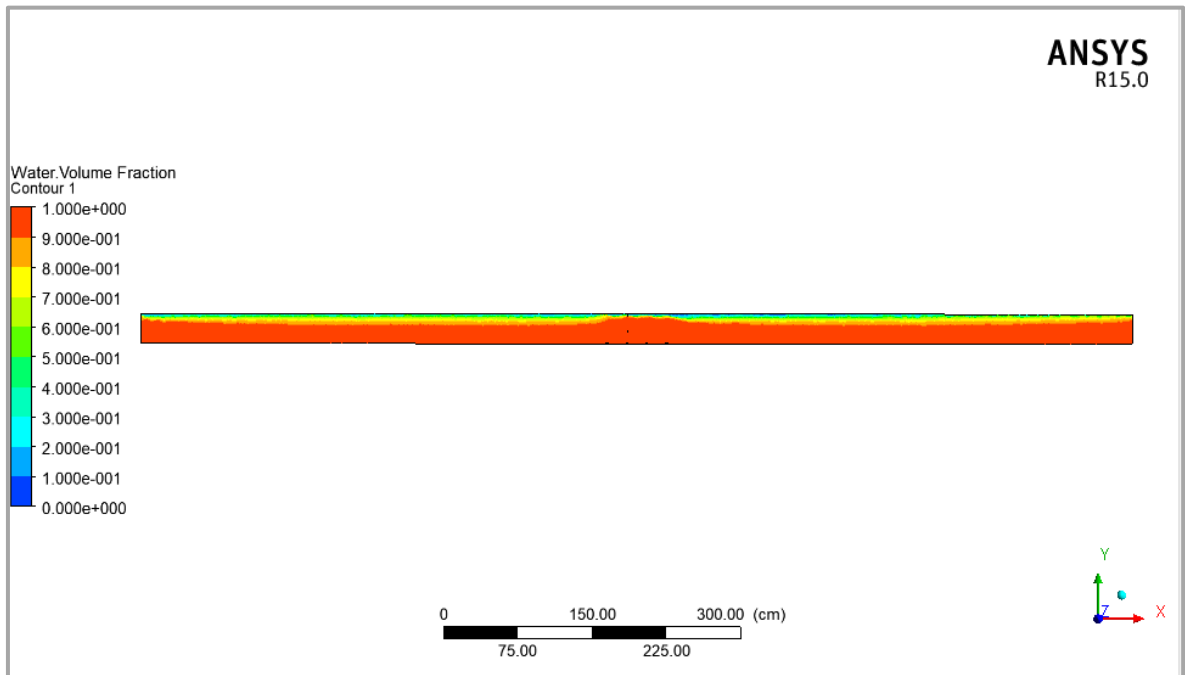
Resim 5.8. CFD-POST ekranında Isosurface ile oluşturulan su yüzü görüntüsü



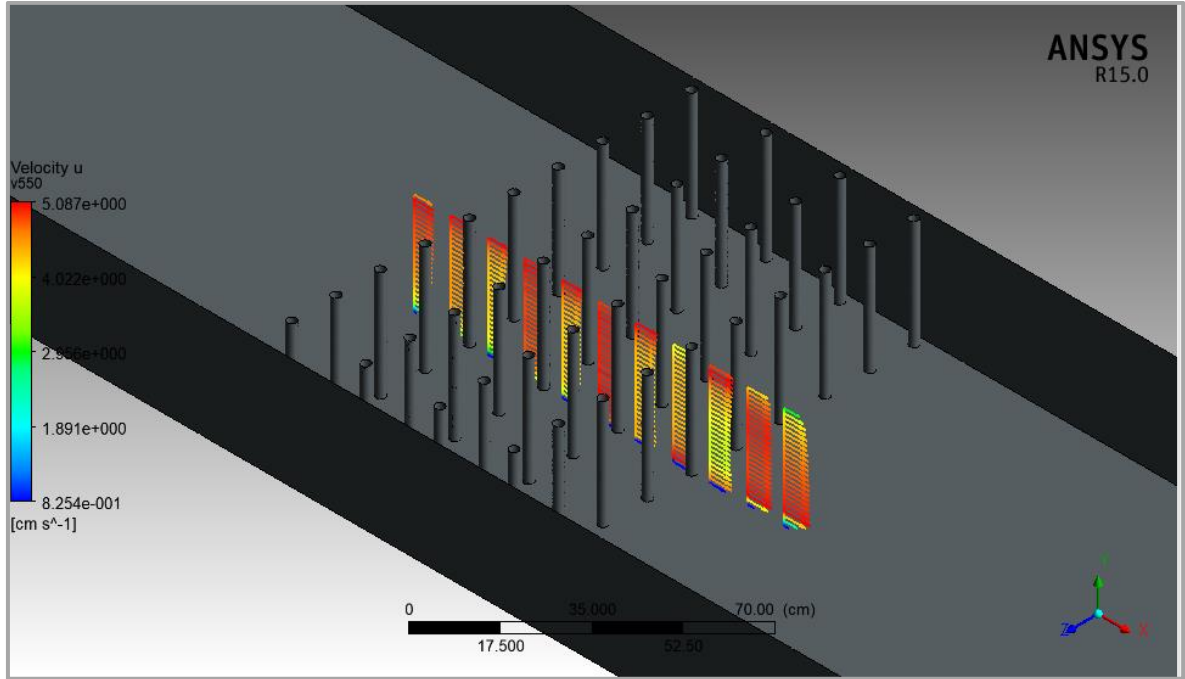
Resim 5.9. CFD-POST ekranında çubuklar çevresinde akım ipelikçiklerinin görünümü



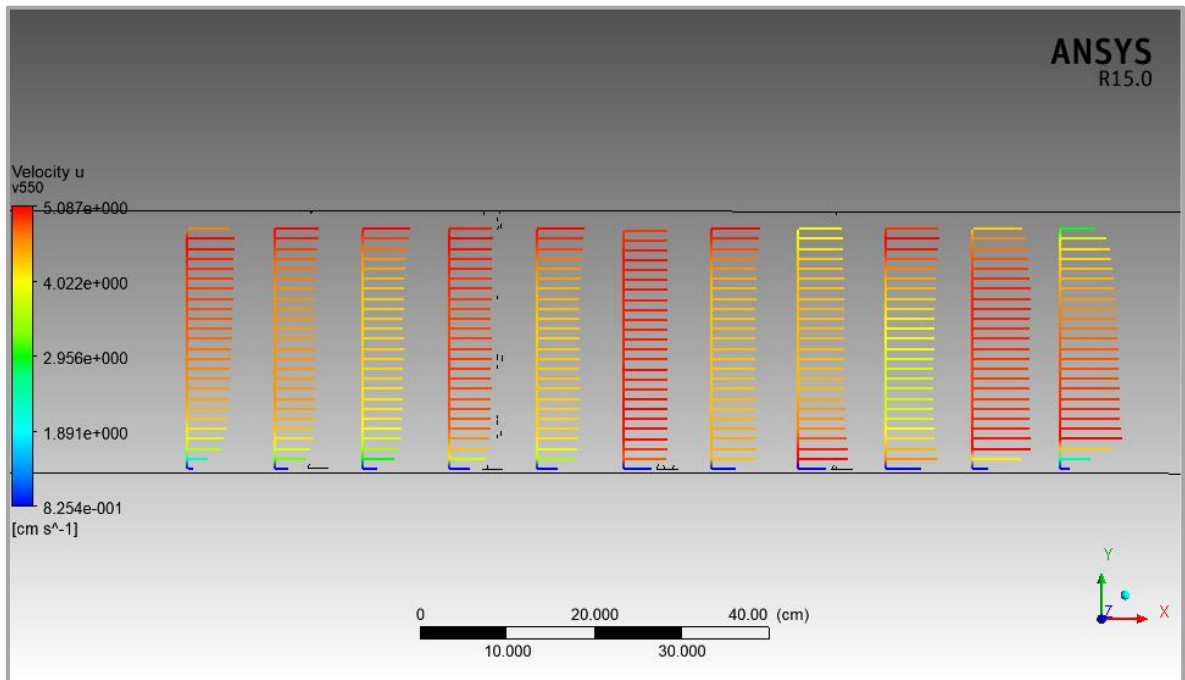
Resim 5.10. CFD-POST ekranında çubuklar çevresinde akım ipplikçiklerinin ayrıntılı görünümü



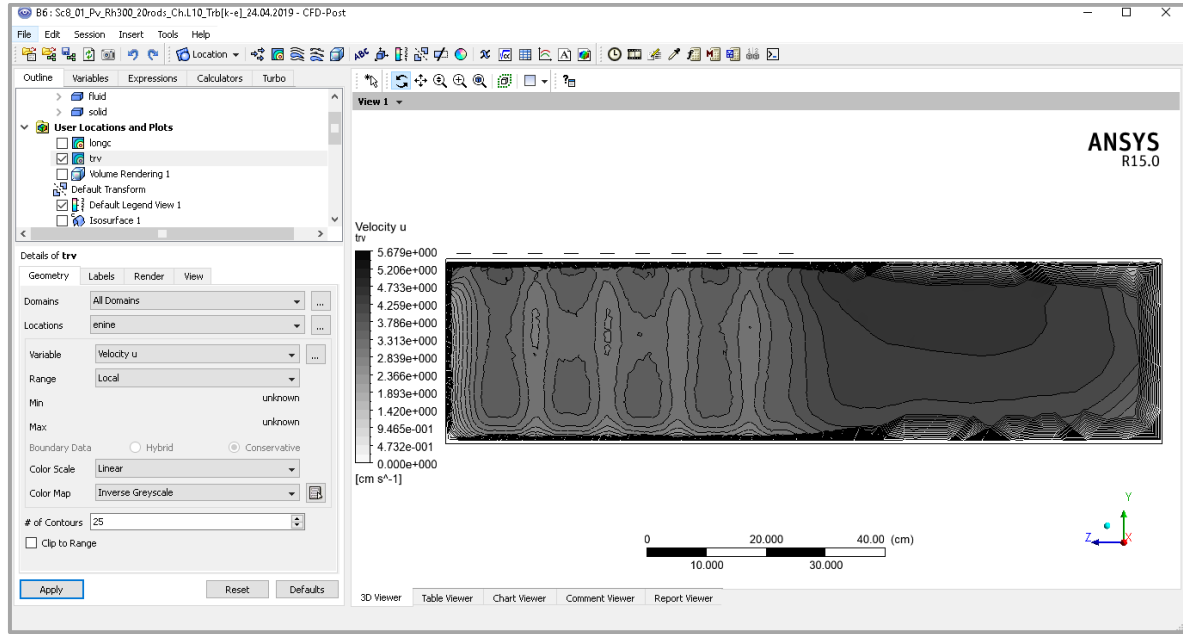
Resim 5.11. CFD-POST ekranında akım doğrultusunda fazların hacimsel oran (volume fraction) görünümü



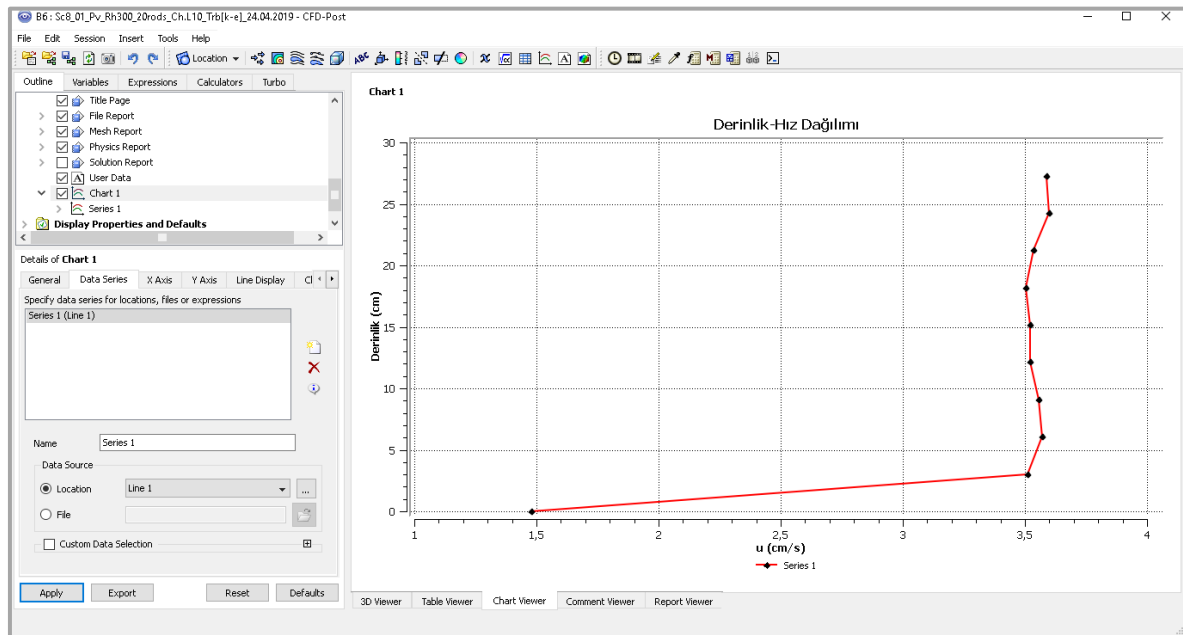
Resim 5.12. CFD-POST ekranında çubuklar bölgesinde akımın hız dağılımının perspektiften görünümü



Resim 5.13. CFD-POST ekranında çubuklar bölgesinde akımın hız dağılımı



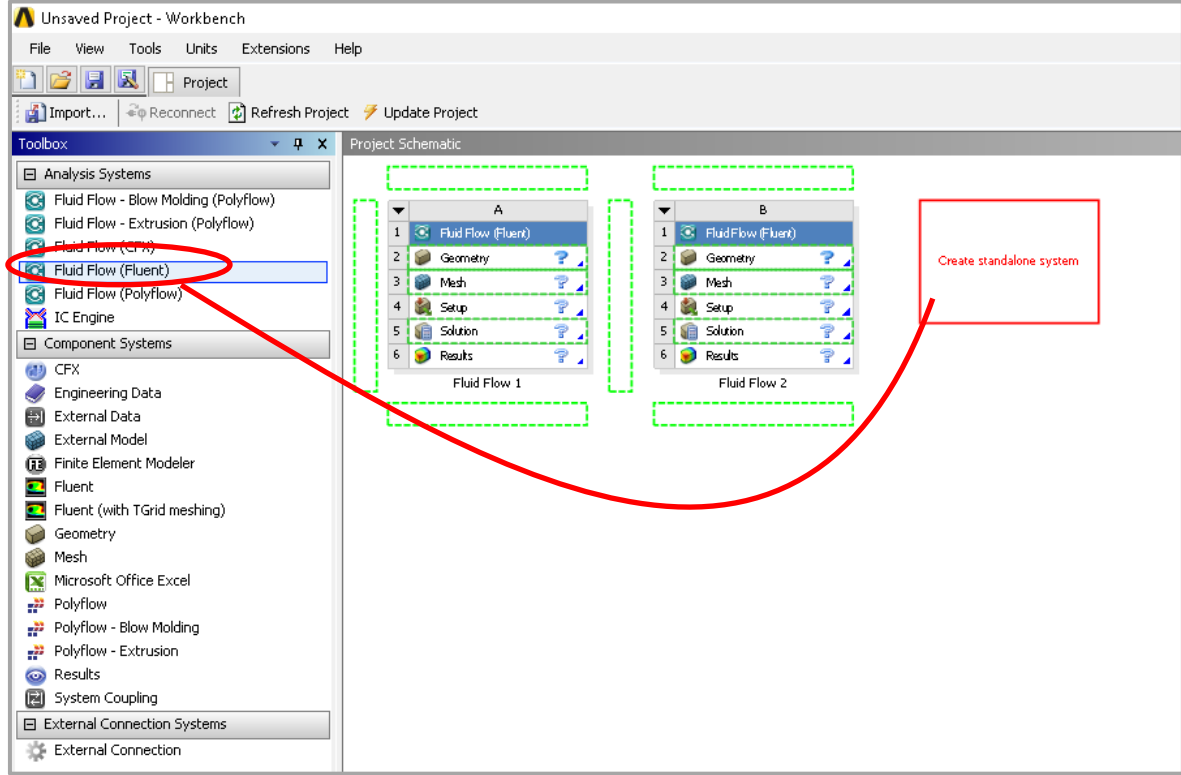
Resim 5.14. CFD-POST ekranında boyuna doğrultudaki hızın belli bir en kesitteki dağılımının görünümü



Resim 5.15. CFD-POST ekranında belli bir konumda hızın derinlik boyunca değişim grafiği

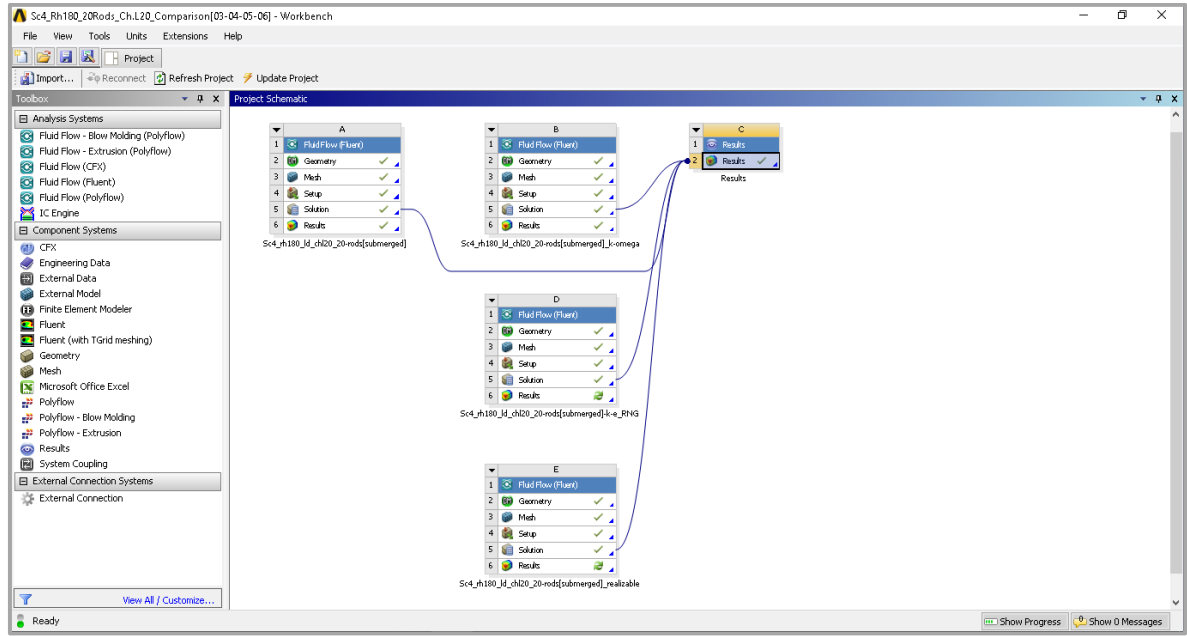
ANSYS Fluent'te Workbench'te farklı yeni dosyalar oluşturulmadan aynı proje içinde birden fazla analiz gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için Workbench'in sol tarafında yer alan araç kutusundan Fluid Flow (Fluent) seçilerek Project Schematic ekranına bırakılır (Resim 5.16) ve yeni analiz için bütün adımlar tekrarlanır. Eğer sadece belirli parametreleri değiştirmek koşuluyla aynı geometrinin analiz edilmesi gerekiyorsa 'duplicate' özelliği ile

mevcut modelin bir kopyası oluşturularak bu kopya içinde gerekli değişiklik yapıp analiz alınabilmektedir.

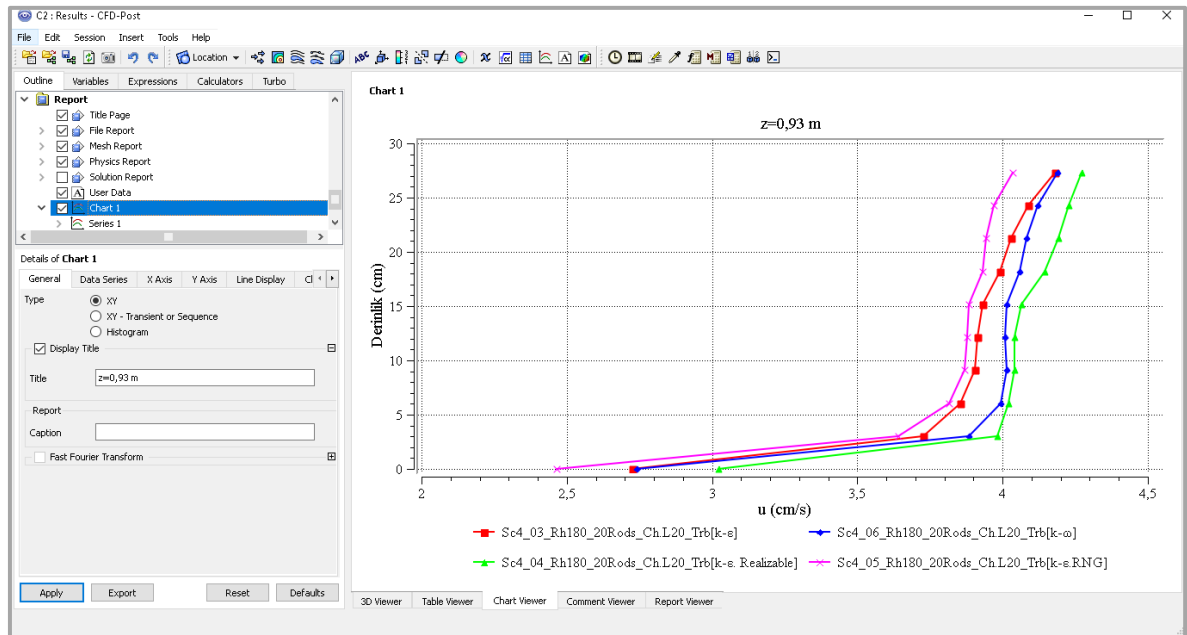


Resim 5.16. Workbench'te aynı proje içinde birden fazla model hazırlanması

Aynı proje içinde hazırlanan modellerin karşılaştırmasının aynı CFD-POST üzerinde yapılabilmesi için Workbench araç kutusundaki 'Results' sürüklenerek Project Schematic'te uygun bir yere bırakılır. Hazırlanan bütün modellerin Solution kısımları tıkla sürüklenip results üzerine bırakılır (Resim 5.17). Sonuçların alınması için results açılır ve değerlendirme yapılacak parametre ve konumlar belirlenerek karşılaştırma elde edilir (Resim 5.18).



Resim 5.17. CFD-POST ekranında farklı analizlerin sonuçlarının karşılaştırılması işlemi



Resim 5.18. CFD POST ekranında aynı konum için hızın derinlik boyunca değişiminin farklı analiz sonuçları arasında karşılaştırılması

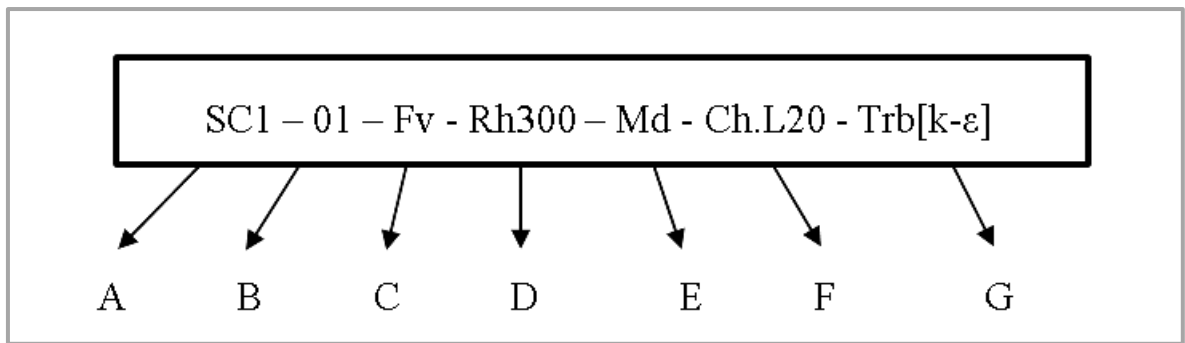
6. FLUENT PROGRAMI İLE SAYISAL MODELLEME

Bu çalışmada ANSYS Fluent yazılımı ile geniş dikdörtgen kanalda en kesitin tamamının batmış ve batmamış durumdaki bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar ile en kesitin kısmi olarak batmış ve batmamış durumdaki bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar incelenmiştir.

Tamamı kaplı olan kanal geometrisi ile yürütülen analizlerin sonuçları, Koç (2016) tarafından ANSYS CFX yazılımı ile incelenen kanal ve bitki örtüsü analizlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bunlara ek olarak Dorcheh (2007) tarafından yürütülen deneysel çalışmadaki kanal en kesitin kısmi olarak yarısının batmış ve batmamış durumdaki az, orta ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içerdiği kanal ve bitki örtüsü tipleri ANSYS Fluent yazılımı ile modellenerek sonuçları Dorcheh'in (2007) deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

6.1. Senaryoların Numaralandırılması

Sayısal modeller oluşturulurken birbirinden farklı senaryolar oluşturulduğu gibi aynı ana senaryo üzerinde kimi parametreler değiştirilerek akım üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu sebeple çalışmanın devamında senaryolardan bahsederken karışıklığa sebep olunmaması amacıyla açık bir senaryo numaralandırılması yapılmıştır. Şekil 6.1'de senaryo numaralandırması örnek olarak gösterilmiş ve aşağıda açıklamaları verilmiştir.



Şekil 6.1. Senaryo numaralandırılmasının gösterimi

A: Ana senaryo numarası,

B: Alt senaryo numarasını ifade etmektedir. Ana senaryoda ele alınan kanaldaki her farklı parametre değerlendirmesi için farklı alt senaryo numaralandırması yapılmıştır.

C: Kanal en kesitinin ne kadarının bitki örtüsü ile kaplı olduğu; tamamı bitki örtüsü ile kaplı senaryolar için “Fv” (Fully vegetated) ile ve kısmi olarak bir tarafı bitki örtüsü ile kaplı senaryolar için “Pv” (Partially vegetated) ile ifade edilmiştir.

D: Milimetre cinsinden çubuk yüksekliğini ifade etmektedir. Rh300 (Rod height) ya da Rh180 olarak verilmiştir.

E: Kanal geometrisinde bulunan çubukların yoğunluğunu ifade etmektedir. Yüksek yoğunluk için: “Hd” (High density), orta yoğunluk için “Md” (Medium density), düşük yoğunluk için “Ld” (Low density) kullanılmıştır. Ayrıca “20Rods/40Rods” gibi doğrudan çubuk sayıları şeklinde de ifade edilmiştir.

F: Metre cinsinden kanal geometrisinde kullanılan kanalın uzunluğu Ch.L20/Ch.L10 (Channel Length) olarak ifade edilmiştir.

G: Analizde kullanılan türbülans modeli “Trb[k-ε]”, “Trb[k-ε/RNG]”, “Trb[k-ω]”, vb. şekillerde ifade edilmiştir.

Örneğin, ‘Sc4_03_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε]’ senaryo numarasından; 4. senaryonun, 3. alt senaryosu, kanal kesitinin tamamının kaplı olduğu, çubuk yüksekliklerinin 180 mm, çubuk sayısının 20, kanal uzunluğu 20 m ve türbülans modelinin k- ε olduğu anlaşılmaktadır.

6.2. Analizlerde Kullanılan Yazılımın ve Bilgisayarın Özellikleri

Sayısal modellerin oluşturulmasında ANSYS Fluent yazılımının 15.0 versiyonu kullanılmıştır. 2013 yılında piyasaya sürülmüş Fluent 15.0’ın Windows XP, Windows 7 (32-bit) işletim sistemlerini ve Windows 32-bit platformunu destekleyen son sürüm olduğu bildirilmiştir. Yazılım Windows haricinde Linux işletim sistemlerinde de kullanılabilmektedir (Ansys Fluent 15.0 Release Notes, 2013).

Yazılımın en güncel versiyonu olan ANSYS Fluent 19.R1 2019 yılında piyasaya sürülmüştür.

ANSYS Fluent 15.0 yazılımının çalıştırılabilmesi için gerekli asgari sistem gereksinimleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. ANSYS Fluent 15.0 yazılımı için gerekli asgari sistem özellikleri

No.	Donanım Tipi	Asgari Gereksinim	Önerilen
1	İşlemci (CPU)	Son çıkan işlemciler (Intel Core 2 Duo)	
2	Sabit disk sürücü (HDD)	80 GB	80 GB ve üzeri
3	Ekran kartı	1 GB Harici ekran kartı	NVidia Grafik Kartı 1 GB
4	Bellek (RAM)	3 GB	4 GB ve üzeri
5	Ethernet kartı	Asgari 100 Mbps hıza sahip ethernet kartı	

Genel bir bilgi olarak çözüm ağında oluşturulan her 1 milyon düğüm noktası için analiz esnasında yaklaşık 1 GB bellek kullanıldığı bilinmektedir. Windows işletim sistemi kurulu bir bilgisayarın sistem boştayken harcadığı bellek miktarının da yaklaşık 2 GB mertebesinde olduğu göz önüne alınarak yürütülecek çalışmalarda düğüm noktası sayıları iyi değerlendirilmeli ve analizlerde kullanılacak bilgisayarın seçiminde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada sayısal modellerin oluşturulmasında ve analizlerin gerçekleştirilmesinde iki ayrı dizüstü bilgisayardan faydalanılmıştır. Geometri ve çözüm ağlarının oluşturulmasında Intel Core i5 3.20 Ghz hızında işlemciye ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Analizlerin yürütülmesinde ise Intel Core i5 3.10 Ghz hızında işlemcisi, 12 GB belleği, 128 GB SSD Disk+1 TB sabit disk ile 2 GB harici ekran kartı olan bir bilgisayar kullanılmıştır. Bu çalışmada oluşturulan bazı geometrilerde 9 milyona yakın düğüm noktaları oluşturulduğundan analizler belleği yüksek olan bilgisayarla gerçekleştirilmiştir.

6.3. Sayısal Modelde Kullanılan Kanal Geometrisi ve Bitki Örtüsü Modelleri

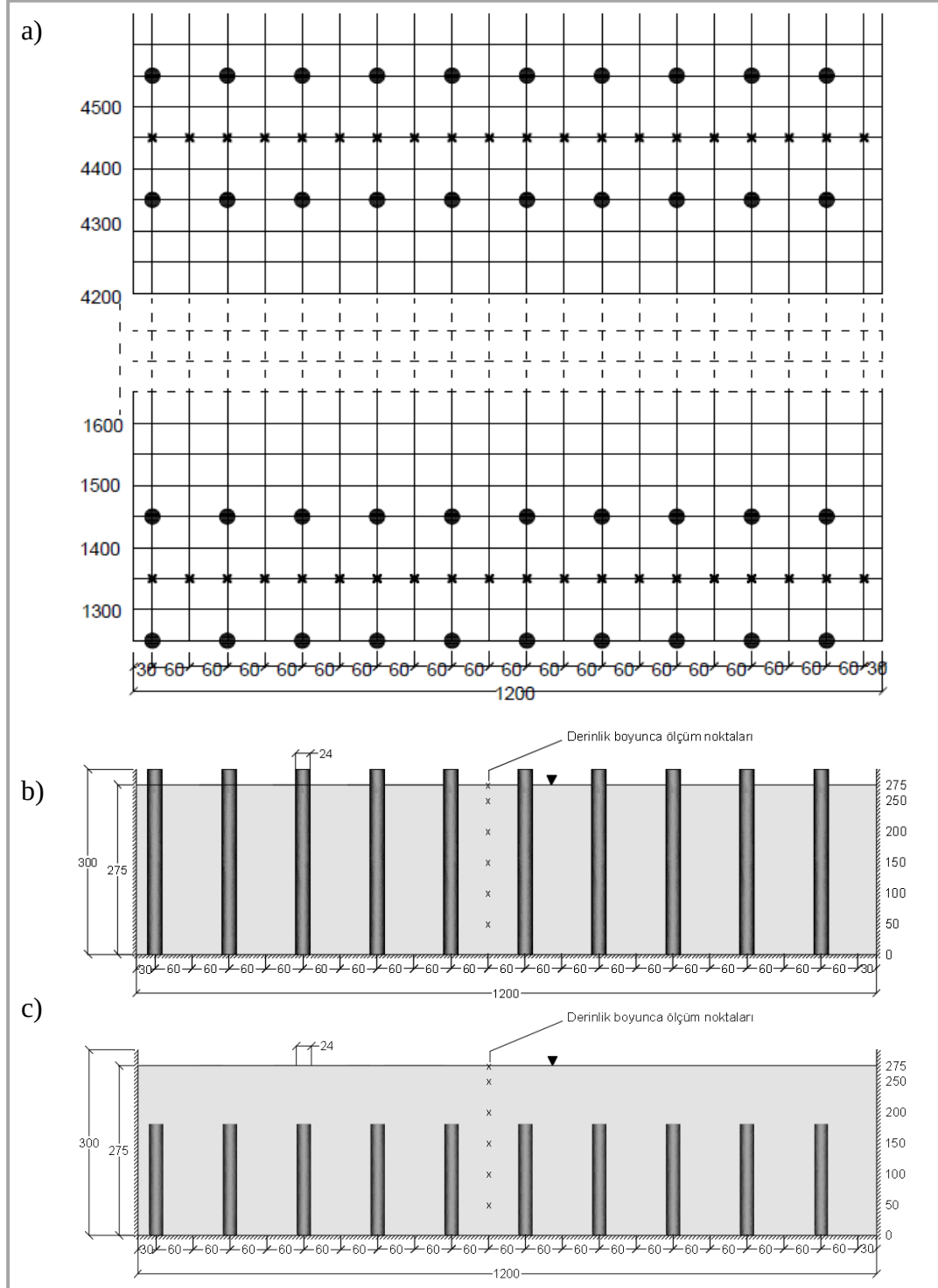
Sayısal modelde kullanılan kanalın genişliği ve akım derinliği sırasıyla 1,2 m ve 0,275 m'dir. Buna göre en kesit alanı 0,33 m²'dir.

$$Q = V \cdot A \quad (6.1)$$

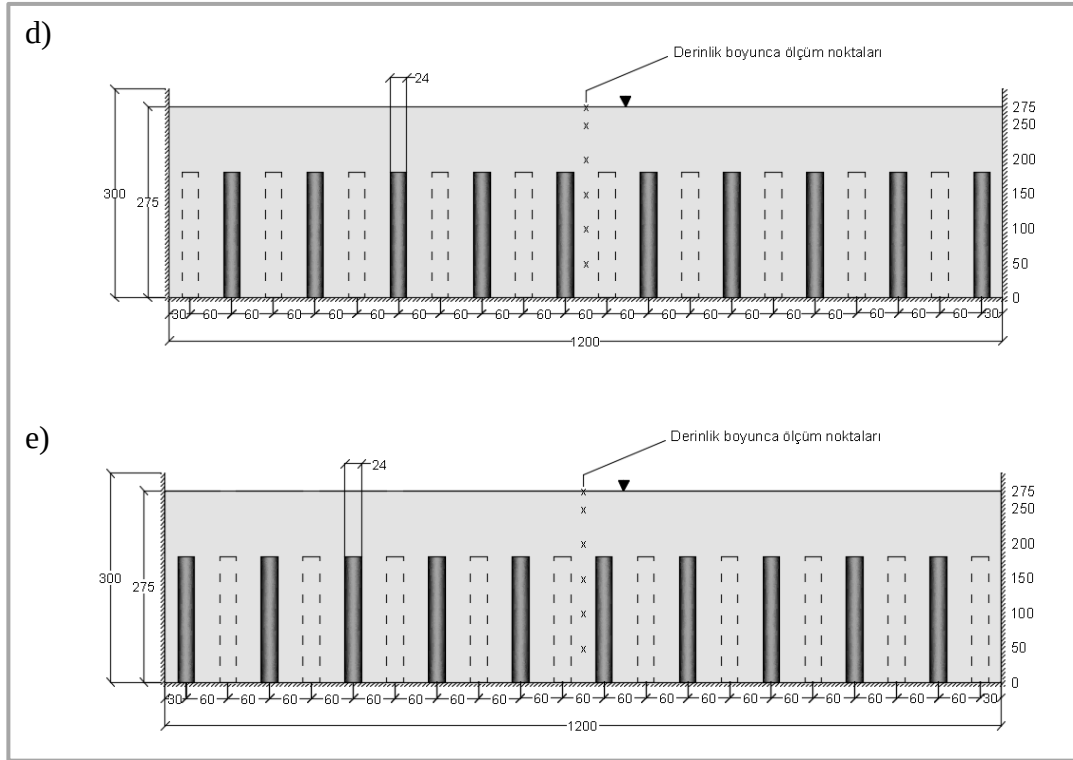
eşitliğinde 15 l/s olan debi ve 0,33 m² değerleri yerlerine yazıldığında kanal girişindeki hız 0,045 m/s olarak bulunur. Bu değer kanal giriş sınır koşulu belirlenirken giriş hızı olarak tanımlanmıştır.

6.3.1. Kanal en kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar

Az yoğunluklu bitki örtüsü durumu

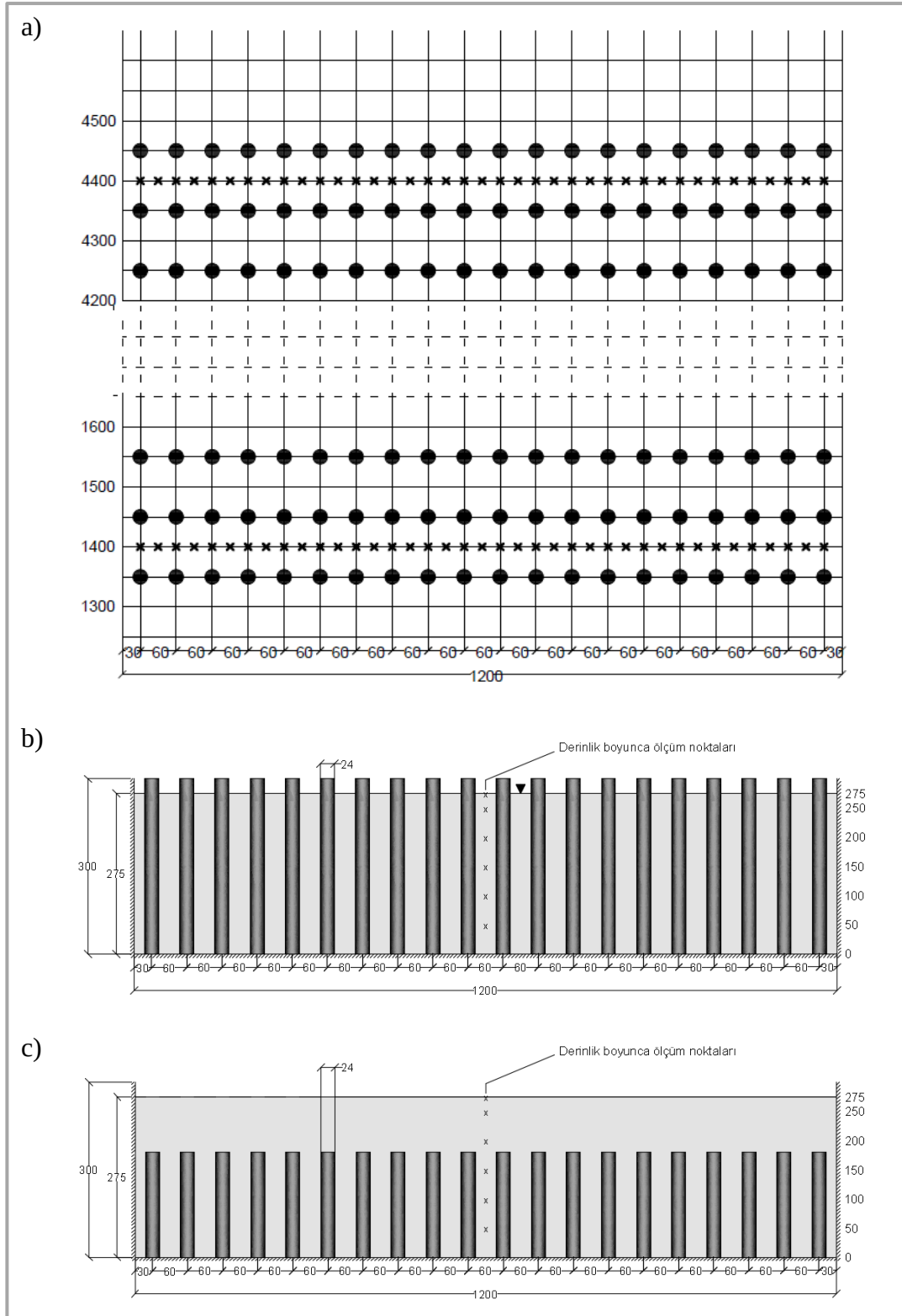


Şekil 6.2. Tamamı kaplı kanalda az yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti, c) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (Bütün ölçüler mm olarak verilmiştir)



Şekil 6.3.(devam) Tamamı kaplı kanalda orta yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: d) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), e) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2), (Bütün ölçüler mm olarak verilmiştir)

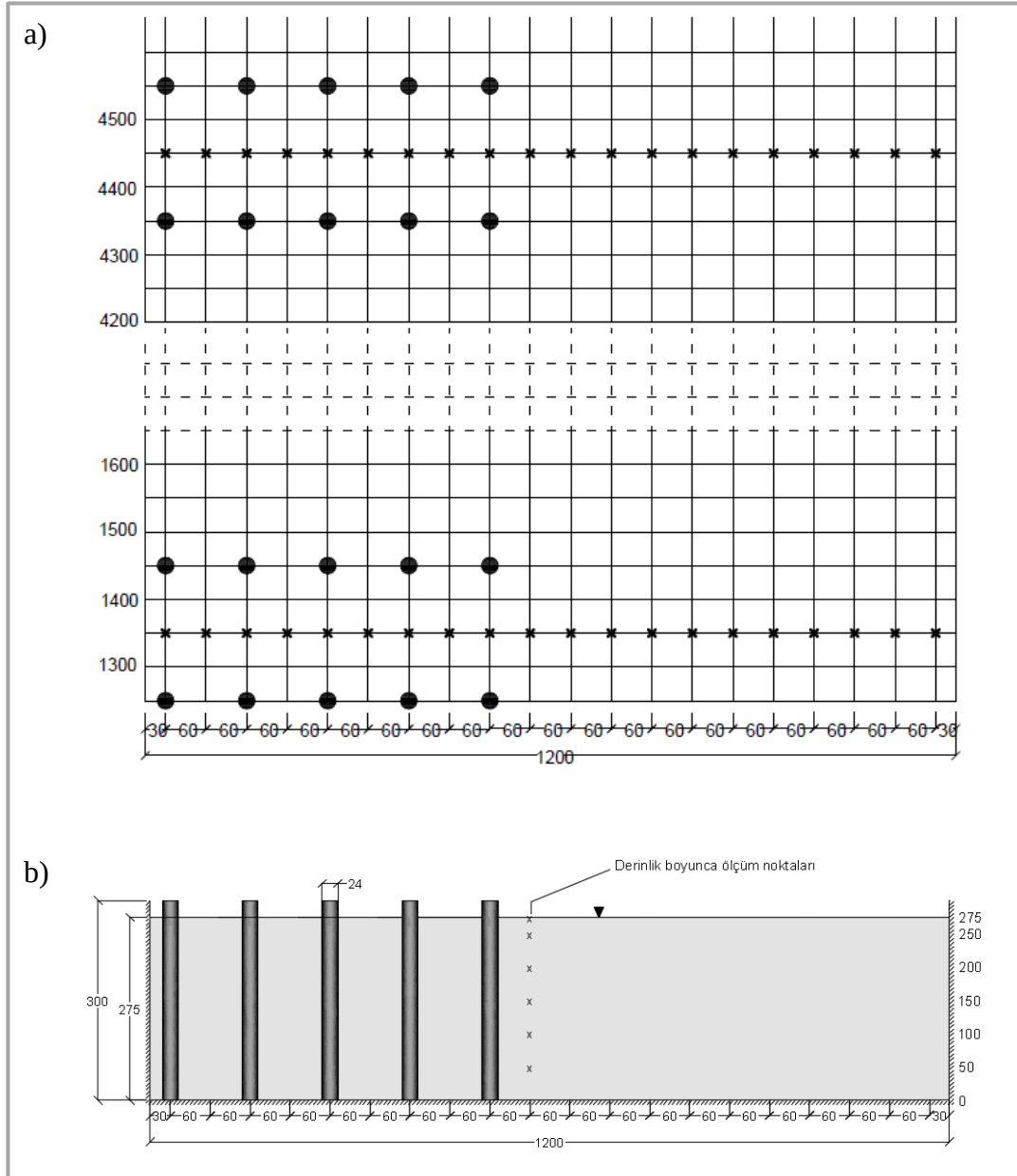
Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü durumu

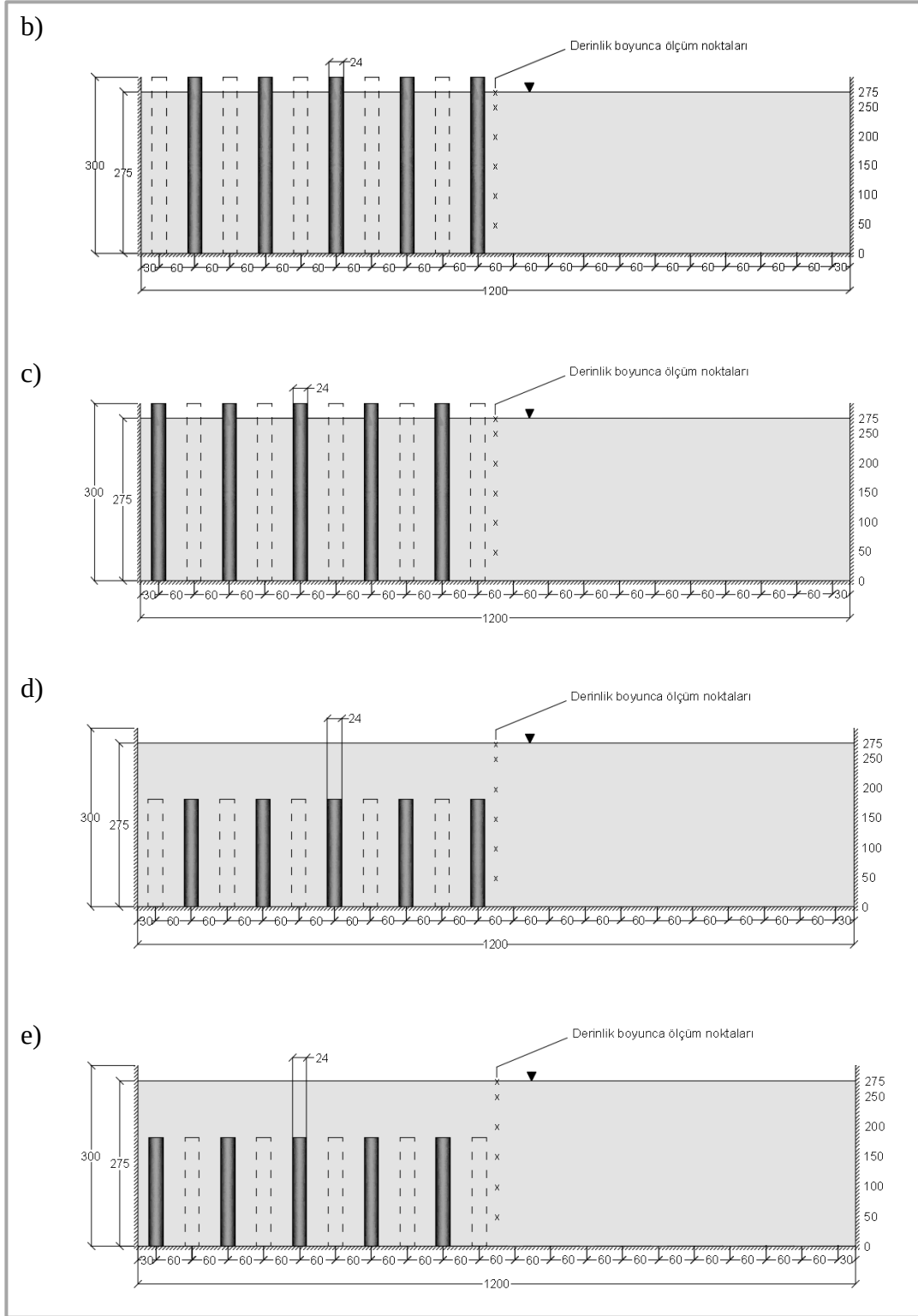


Şekil 6.4. Tamamı kaplı kanalda yüksek yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu: a) Bitki örtüsünün plan görünüşü, b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti, c) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (Bütün ölçüler mm olarak verilmiştir)

6.3.2. Kanal en kesitinin kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı olduğu durumlar

Az yoğunluklu bitki örtüsü durumu





Şekil 6.6.(devam) Kısmi kaplı kanalda orta yoğunluklu bitki örtüsü konfigürasyonu; b) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), c) Batmamış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2), d) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (1), e) Batmış durumdaki bitki örtüsü en kesiti (2), (Bütün ölçüler mm olarak verilmiştir)

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilen analizler, Çizelge 7.1’de görüldüğü üzere kanal kesitinin durumuna, bitki örtüsünün akım içinde batmış ya da batmamış durumda olmasına ve bitki örtüsünün yoğunluğuna göre 12 ana senaryo tipini kapsamaktadır. Ana senaryo koşulları sabit kalmak şartıyla kanal geometrisinde değişiklik yapılarak, çubuk sayısı değiştirilerek, çözüm ağı yoğunluğu değiştirilerek ya da farklı türbülans modelleri ile çalışılarak alt senaryolar da oluşturulmuştur. Senaryolar numaralandırılırken alt senaryonun numarası ‘Sc1_02_...’ örneğindeki gibi ana senaryo numarasından sonra verilmiştir. Alt senaryolara ilişkin ayrıntılar Çizelge 7.2, Çizelge 7.3, Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5’te verilmiştir. Böylece alt senaryolarla birlikte toplam 28 analiz gerçekleştirilmiştir.

Analizler neticesinde elde edilen sonuçlar değerlendirilirken boyuna doğrultudaki hız verileri Dorcheh (2007) tarafından yürütülen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dorcheh’in (2007) çalışmasında ADV cihazı ile elde edilen noktasal hız ölçüm verileri yer almadığından bu tez kapsamında Dorcheh’in hız kontur grafikleri tekrar oluşturulamamış, çalışmanın elektronik kopyası üzerinden ekran görüntüsü alınarak paylaşılmıştır. Bu grafiklerin orijinal elektronik kopyası üzerinde bile taranarak aktarılmış olmaları sebebiyle çözünürlüklerinde ciddi bir iyileşme sağlanamamıştır. Karşılaştırma yapılırken görsel kolaylık sağlaması açısından bu grafikler Dorcheh’in (2007) tezinde yer aldığı şekilde verilmiştir. Ayrıca analizler neticesinde belirli noktalardaki hız değerlerinin karşılaştırması için verilen derinlik-hız grafiklerinde Dorcheh’in (2007) hız verileri araştırmacının hız kontur grafiklerinin bilgisayarda büyütülerek ekrandan okunması ile elde edilmiştir.

ANSYS Fluent altında geometrinin oluşturulduğu ‘design modeler’ açıldığında sistemin varsayılan koordinat sistemine göre x eksenini boyuna doğrultuyu, y eksenini düşey doğrultuyu ve z eksenini de yanal doğrultuyu ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında da bu koordinat sistemi kullanılmış olup sonuç grafikleri üzerinde y düşey doğrultuyu ve z de yanal doğrultuyu ifade edecek şekilde gösterilmiştir. Dorcheh’in (2007) hız kontur grafikleri paylaşılrken karışıklık olmaması açısından ANSYS Fluent ile aynı koordinat sistemine çevrilmiştir.

Çizelge 7.1. Ana senaryoların bitki örtüsü durumuna göre dağılımı

Ana Senaryo No.	Kanal kesitinin durumu	Bitki örtüsü durumu	Bitki örtüsü yoğunluğu
Sc1	Tamamı bitki örtüsü ile kaplı kanal	Batmamış (Rh300)	Az
Sc2			Orta
Sc3			Yüksek
Sc4		Batmış (Rh180)	Az
Sc5			Orta
Sc6			Yüksek
Sc7	Kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı kanal	Batmamış (Rh300)	Az
Sc8			Orta
Sc9			Yüksek
Sc10		Batmış (Rh180)	Az
Sc11			Orta
Sc12			Yüksek

7.1. Tamamı Bitki Örtüsü ile Kaplı Kanala Ait Analiz Sonuçları

Tamamı bitki örtüsü ile kaplı kanal kesitine yönelik analizler; 11'i batmamış bitki örtüsü ile diğer 11'i batmış bitki örtüsü durumlarını farklı parametrelerin akım üzerindeki etkileri göz önüne alınarak toplam 22 senaryoda yürütülmüştür.

7.1.1. Batmamış bitki örtüsü (Rh=300mm) içeren analiz sonuçları

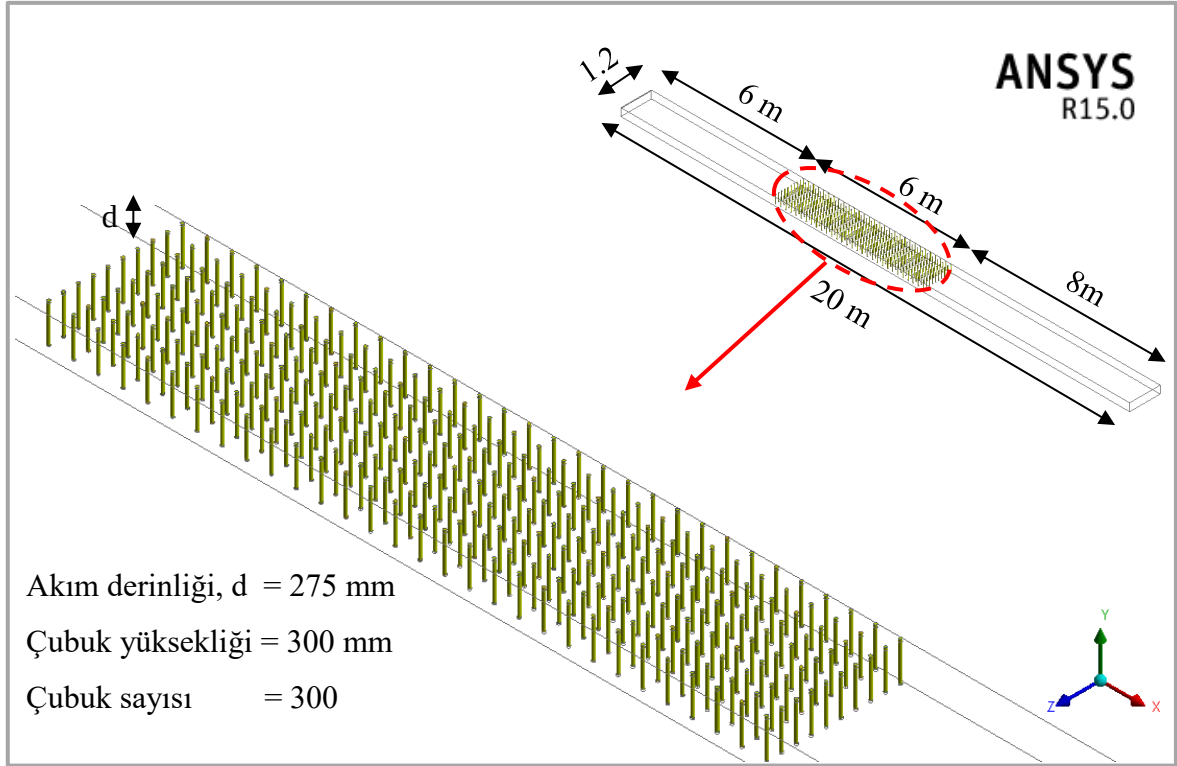
Kanal kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı, çubuk yüksekliklerinin 300 mm, çubuk üst noktalarının suyun dışında, az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren senaryolar bu bölümde incelenmiştir. Batmamış bitki örtüsü içeren senaryolar için 11 analiz gerçekleştirilmiş olup bu senaryolara ilişkin ayrıntılar Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Kanal kesitinin tamamı batmamış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar

No:	Senaryo No:	Çözüm Ağında Bulunan Eleman Sayısı	Analizin Genel Sonucu
1	Sc1_01_Fv_Rh300_Ld_Ch.L20_Tr[k-ε]	578 160	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
2	Sc1_02_Fv_Rh300_20rods_Ch.L20_Tr[k-ε]	1 296 897	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
3	Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[k-ε]	3 440 282	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
4	Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Tr[k-ε]	1 004 240	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
5	Sc2_02_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Tr[k-ε]	1 742 664	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
6	Sc2_03_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Tr[k-ω]	1 004 240	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
7	Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Tr[k-ε]	988 318	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
8	Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[k-ε]	3 313 010	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
9	Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Tr[k-ε]	9 578 105	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
10	Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[k-ε]	5 514 609	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
11	Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[k-ε]_Symmetry	2 756 494	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.

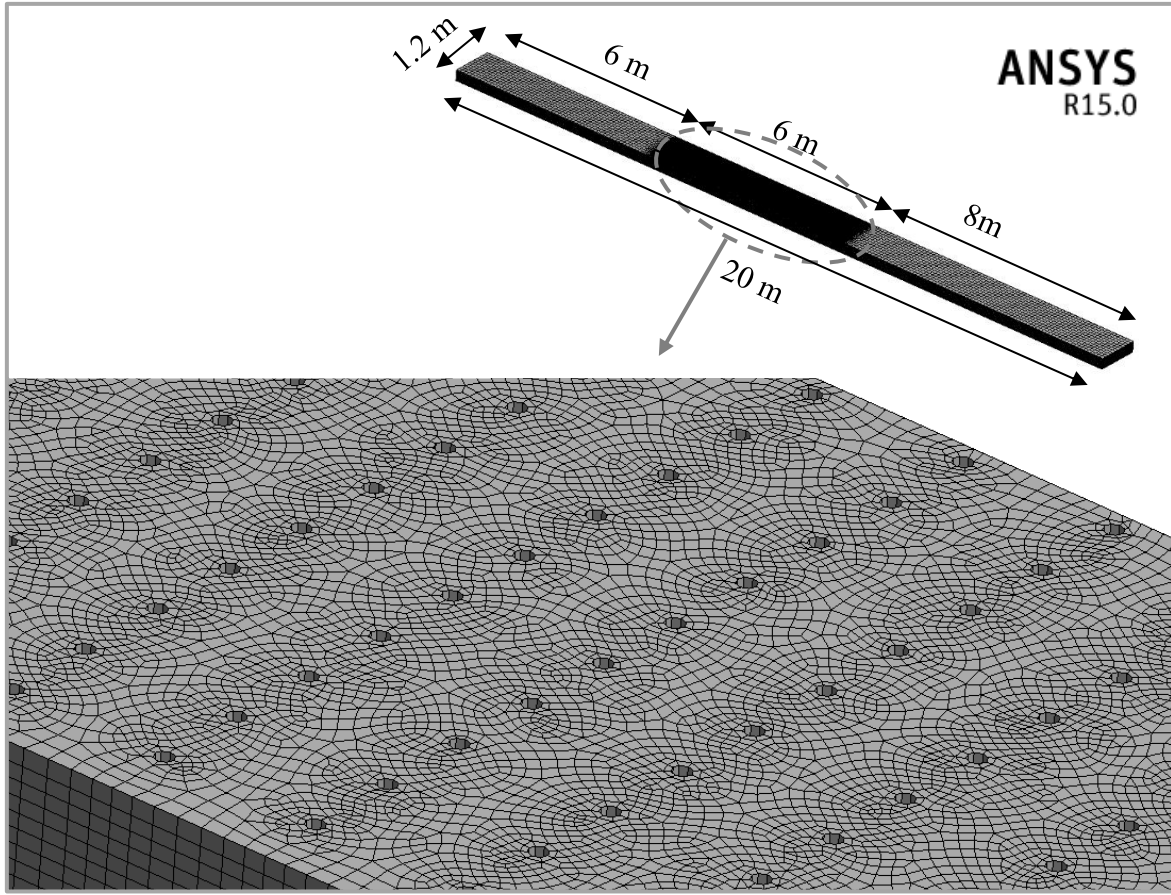
Sc1 Senaryolarının değerlendirilmesi

Sc1_01_Fv_Rh300_Ld_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda 20 metre uzunluğundaki kanalın 6'ncı metresinden başlamak üzere 300 adet çubuk içeren bir kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.1). Kanal uzunluğu; Koç'un (2016) tez çalışmasında elde ettiği analiz sonuçlarına dayanılarak akım girişindeki düzensizliklerin çubuklar bölgesi üzerindeki etkilerini asgari düzeye indirmek için 20 metre olarak seçilmiştir.



Resim 7.1. Sc1_01_Fv_Rh300_Ld_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi

Çözüm ağı ANSYS Fluent tarafından oluşturulmuş ve 578 160 eleman elde edilmiştir. Oluşturulan çözüm ağının hexahedron tipi hücrelerden oluştuğu belirlenmiştir. Yazılım tarafından otomatik yapılandırılan çözüm ağında çubukların bulunduğu alanın daha yoğun eleman sayısına sahip olduğu görülmüştür (Resim 7.2).

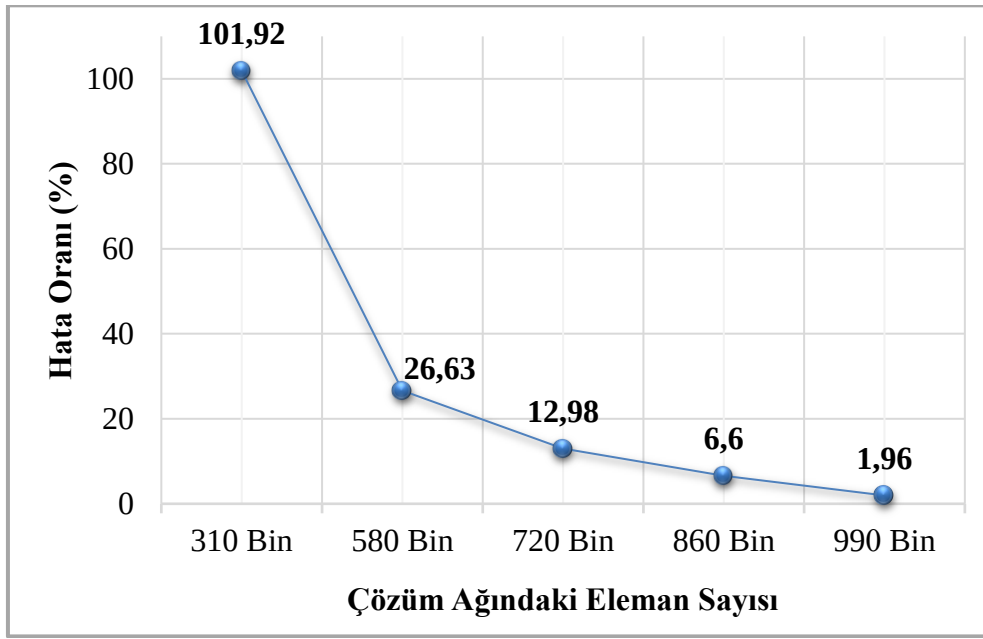


Resim 7.2. Sc1_01_Fv_Rh300_Ld_Ch.L20_Trb[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Analiz sonucunda elde edilen hız verileri değerlendirildiğinde Dorcheh (2007) tarafından elde edilen deney sonuçları ile benzerlik göstermediği gibi elde edilen akım kendi içinde de anlamlı bir sonuç vermemiştir. Dorcheh'in (2007) çalışmasında hız sonuçlarının değerlendirildiği çubuklar orta bölgesinde yer alan kesite karşılık gelen $x=8,75$ m en kesitinde hızların $-0,004$ cm/s ile $20,842$ cm/s değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Bununla birlikte en kesit genelinde ise hızların 3 cm/s ile $3,5$ cm/s değerleri arasında oluştuğu belirlenmiştir.

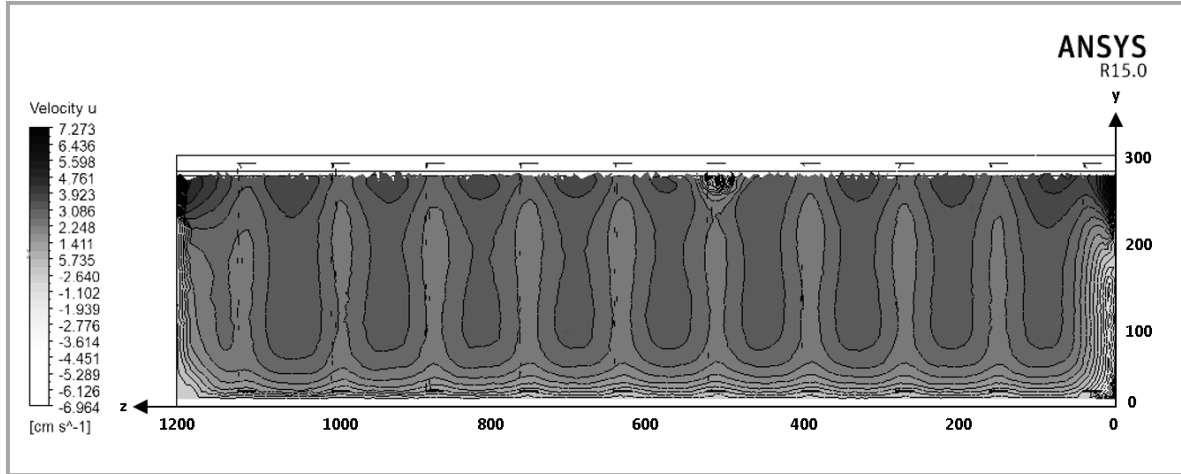
Modele sunulan geometriden elde edilen çözüm ağı ile yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde, kanal tabanında sınır tabakasının oluşmadığı görülmüştür. Bununla birlikte elde edilen hızların da deney sonuçları ile benzer olmadığı kaydedilmiştir. ANSYS Fluent tarafından otomatik oluşturulan bu çözüm ağının kaba bir yapıda olduğu da göz önüne alındığında çözüm için yetersiz kaldığı düşünülmekte ve çözüm ağının sıklaştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Analiz sonuçlarının çözüm ağının sıklığından bağımsız olduğunun belirlenebilmesi ve çözüm ağında kullanılması gereken eleman sayısına karar verilmesi amacıyla çözüm ağı yaklaşık 310 bin, 580 bin, 720 bin, 860 bin ve 990 bin eleman sayısına sahip olan analizler gerçekleştirilerek sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve hata oranları belirlenmiştir (Şekil 7.1). Buna göre sonraki analizlerde yaklaşık 990 bin ve üzerinde eleman sayısına sahip çözüm ağları kullanılmıştır.



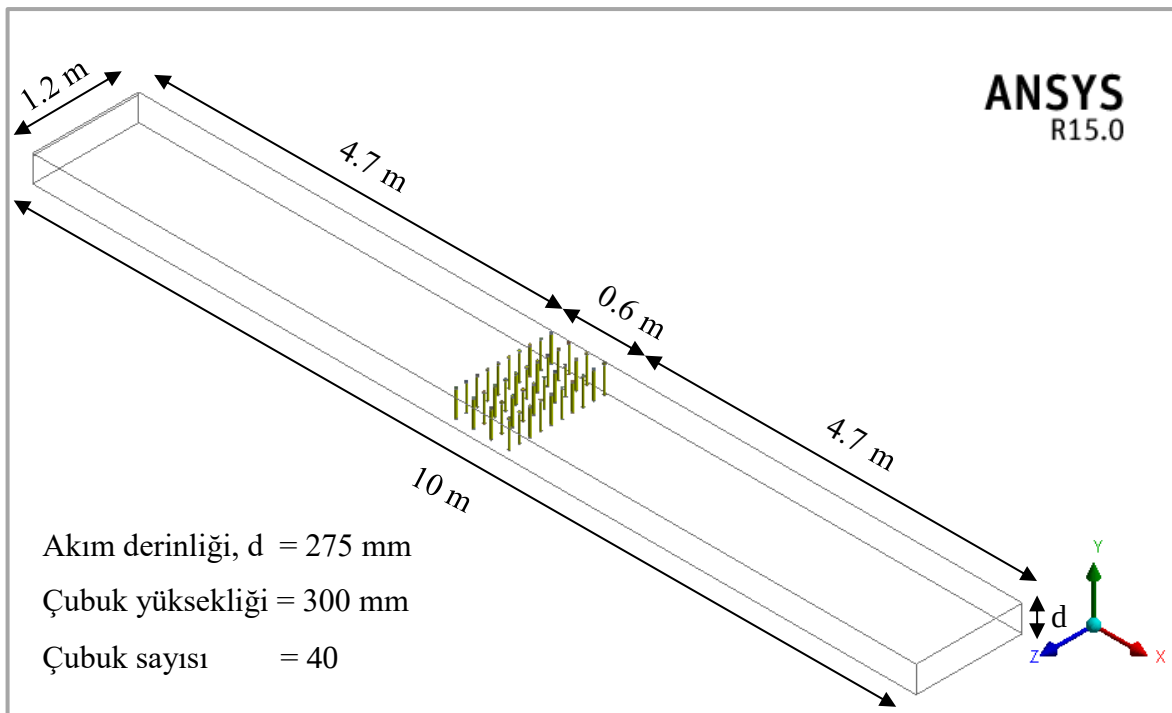
Şekil 7.1. Çözüm ağındaki eleman sayısı-Hata oranı grafiği

Bununla birlikte kanal geometrisinde mevcut çok fazla sayıda çubuk bulunması Koç'un (2016) çalışmasında da fazla sayıda çözüm ağı kullanımı nedeniyle yaşanan sorunların bu çalışma kapsamında karşılaşılmaması amacıyla kanal geometrisinde düzenleme yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz açısından kolaylık sağlayacak şekilde 20 metrelik kanalın tam ortasında 2 sıra çubuk dizilimi yapılarak toplam 20 çubuk ile yeni bir geometri oluşturulmuştur. Sc1_02_Fv_Rh300_20rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosu için ANSYS Fluent tarafından oluşturulan çözüm ağında “body sizing” özelliği ile eleman boyutu tanımlanarak çözüm ağında iyileştirmeye gidilmiş ve toplam 1 296 897 eleman oluşturulmuştur. Çözüm ağı olarak bir önceki senaryodan çok daha yoğun nitelikte oluşturulan bu senaryoda analiz sonucunda elde edilen hızlar deney sonuçları ile benzerlik göstermiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre çubuklar arasında yer alan en kesitte hızlar -6,964 cm/s ile 7,273 cm/s arasında değişmektedir (Resim 7.3).



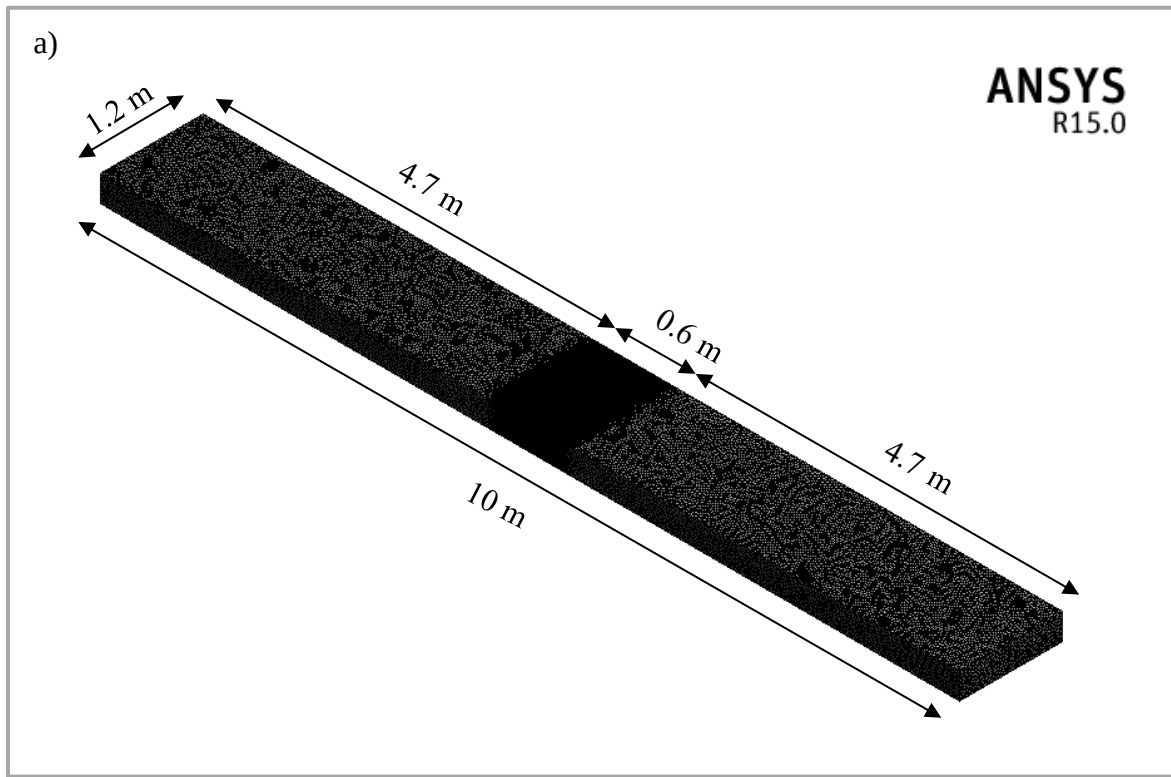
Resim 7.3. Sc1_02_Fv_Rh300_20rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, $u(\text{cm/s})$

Bu senaryonun analizi her ne kadar akım davranışı açısından deneysel sonuçlarla yakınlık göstermiş olsa da daha fazla iyileştirmenin sonuç üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla üçüncü bir senaryo daha hazırlanmıştır. Bu son senaryoda çözüm ağı yoğunluğunu çubuklar bölgesine daha fazla toplayabilmek ve akım şartlarını deneydeki durum ile daha benzer kılabilmek adına 10 metrelik bir kanalın ortasına denk gelecek şekilde 40 çubuk ile yeni bir geometri oluşturulmuştur (Resim 7.4).

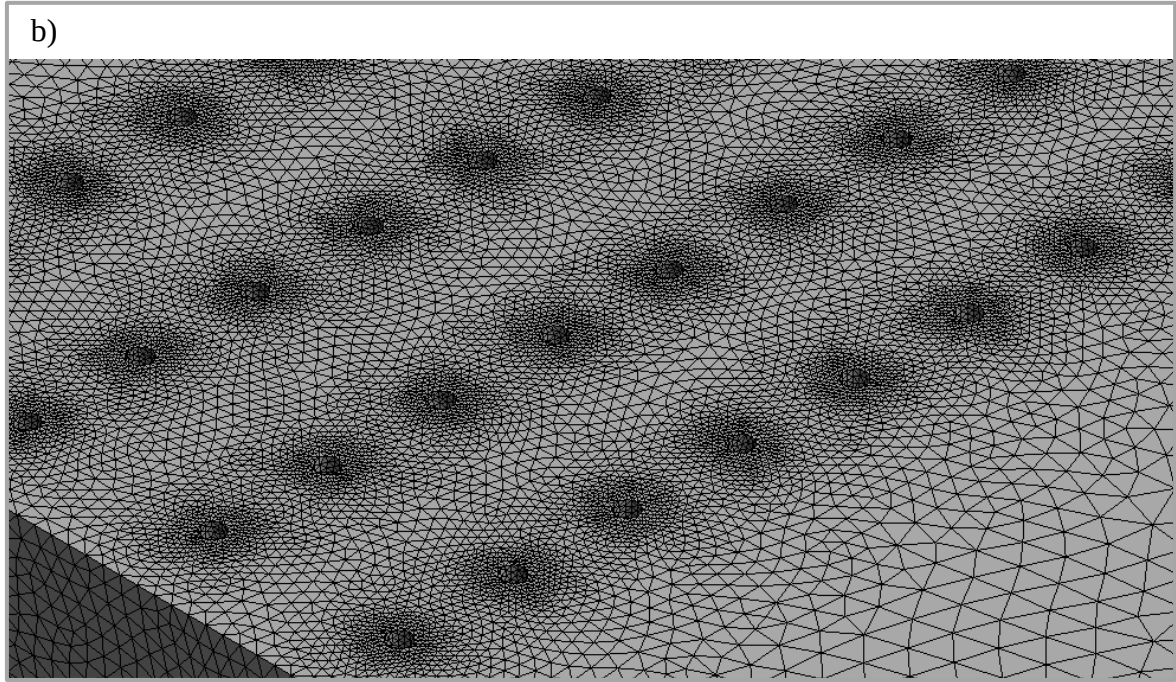


Resim 7.4. Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi

Çözüm ağının oluşturulması aşamasında “body sizing” özelliğinde daha hassas ayarlama yapılarak eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış olup çözüm ağı eleman sayısı artırılarak toplamda 3 440 282 eleman oluşturulmuştur. Bu senaryo için oluşturulan çözüm ağının çubuklar bölgesinde çok yoğun olmakla birlikte kanalın diğer kısımlarında da Sc1_01 ve Sc1_02 senaryolarına göre çözüm ağında daha fazla sayıda eleman oluşmuştur (Resim 7.5). Ayrıca bu çözüm ağında eleman boyutu tanımlaması yapıldıktan sonra oluşturulan çözüm ağında tetrahedron tipi hücrelerin oluşturulduğu belirlenmiştir. Çözüm ağının daha karmaşık bir yapıda oluşturulmasından dolayı tetrahedron tipi hücreler oluştuğu düşünülmektedir.



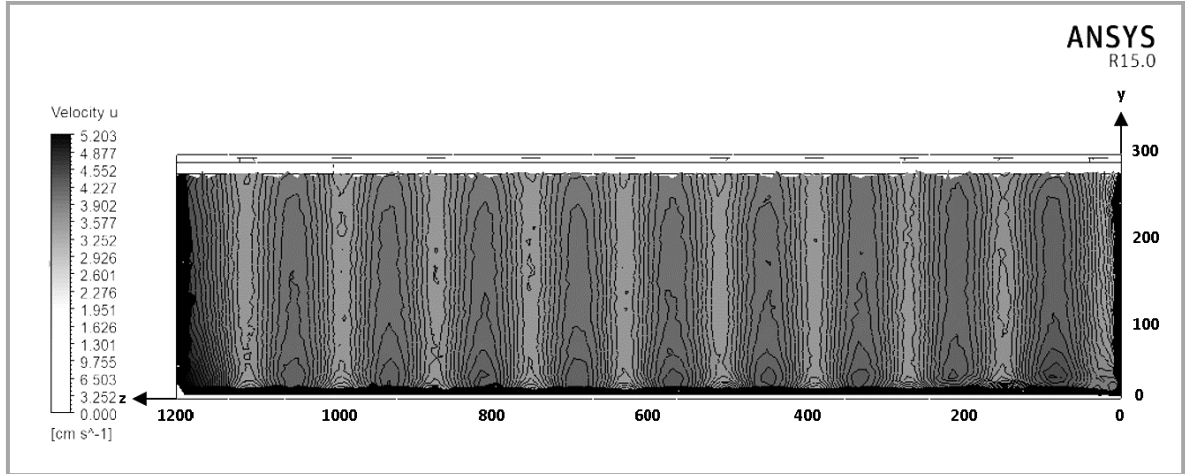
Resim 7.5. Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çözüm ağı: a) Çözüm ağının genel görünüşü



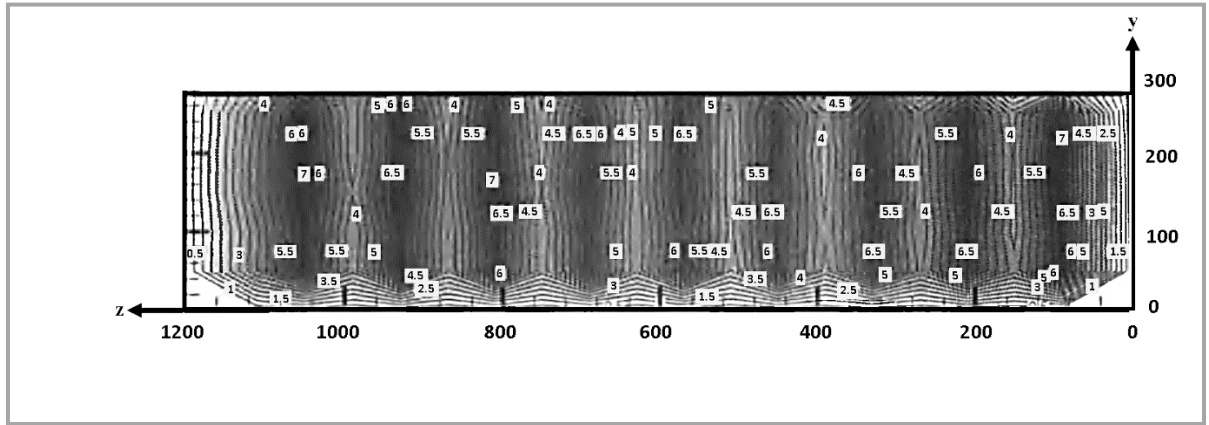
Resim 7.5.(devam) Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı: b) Çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü

10 metrelik kanal geometrisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak 20 metrelik kanalda 20 çubuk ile elde edilen Sc1_02 senaryosunun analiz sonuçlarına çok yakın hız değerleri elde edilmiştir. Sc1_03 senaryoda çubukların arasında yer alan en kesitteki hızların 0 cm/s ile 5,203 cm/s arasındaki değerlerde değiştiği görülmüştür. Bir önceki analiz sonucunda aynı kesitte çok küçük alanlarda dahi olsa -6,964 cm/s gibi negatif hızlar gözlemlenmiştir. Buna göre çözüm ağıнын yoğunlaştırılması ile elde edilen Sc1_03 senaryosunun sonuçlarının daha güvenilir olduğu görülmüştür.

Resim 7.6 ve Resim 7.7’de sırasıyla; kanalın çubuklar bölgesinin orta kısmında ANSYS Fluent yazılımı ile çözüm ağı yoğunlaştırılmış Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunun hız dağılımı ile Dorcheh’in (2007) deney sonuçlarına göre elde edilmiş hız dağılımı verilmiştir.

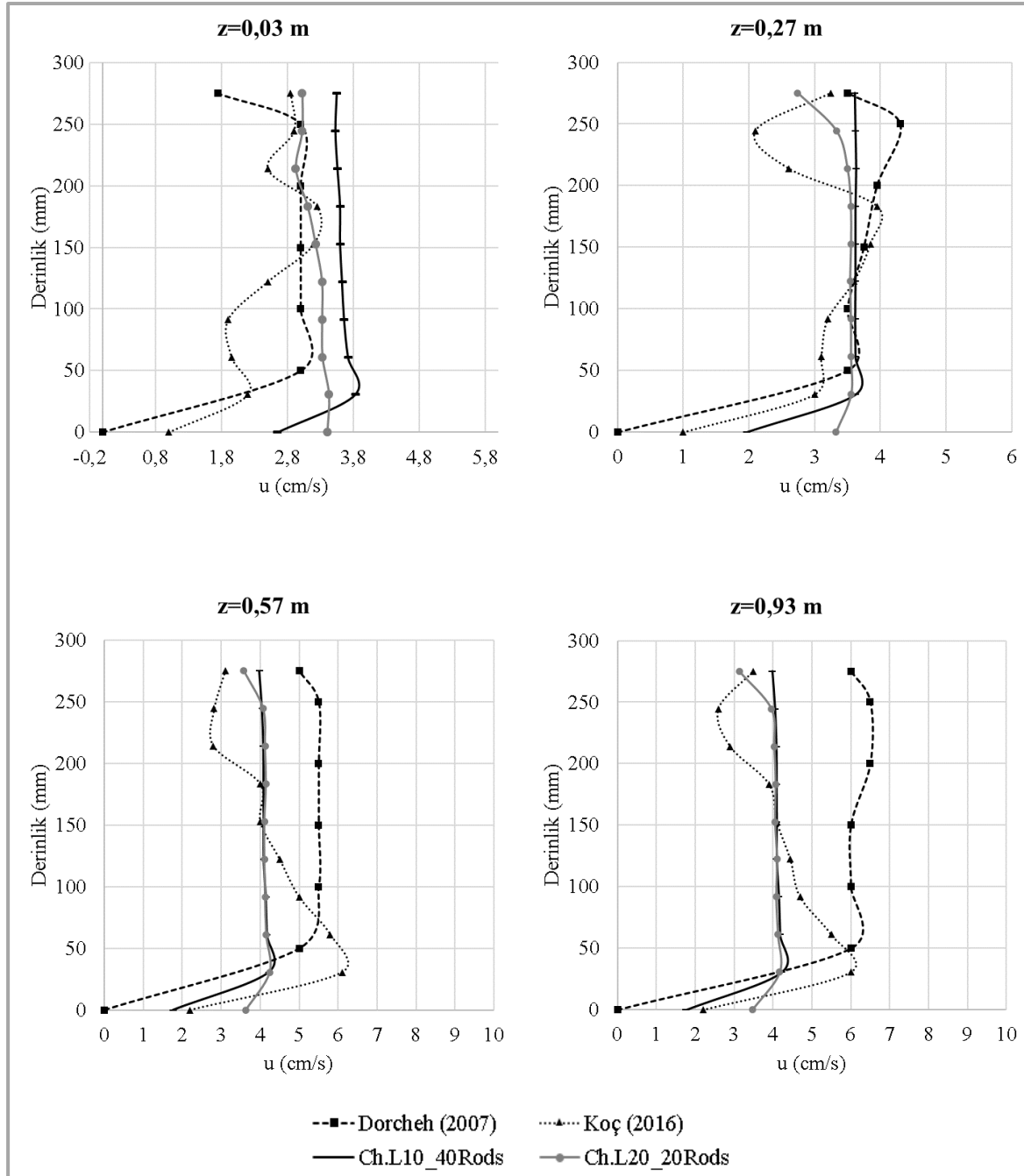


Resim 7.6. Sc1_03_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trb[k-ε] senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, $\bar{u}$ (cm/s)



Resim 7.7. Dorcheh'in (2007) çalışmasında az yoğun bitki örtüsü içeren batmamış durum senaryosunda çubuklar bölgesi orta kısmında boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

20 metre uzunluğundaki kanalda 20 çubuk kullanılarak ve 10 metre uzunluğundaki kanalda 40 çubuk kullanılarak ANSYS Fluent yazılımı ile yapılan analizlerden elde edilen hız dağılımı sonuçları Dorcheh (2007) ve Koç'un (2016) elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak Şekil 7.2'de verilmiştir. ANSYS Fluent programı kullanılarak her iki senaryo için elde edilen hız profillerinin Dorcheh'in (2007) deney sonuçları ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Kesitin $z=0,03$ m, $z=0,27$ m ve $z=0,57$ m kesimlerinde elde edilen hız profillerinin deney sonuçları ile daha uyumlu iken yan duvar ve çubuklar arasında oluşan hızların oransal olarak arttığı, $z=0,93$ m kesiminde ise deney sonuçlarının model sonuçlarına göre daha yüksek hız değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir.

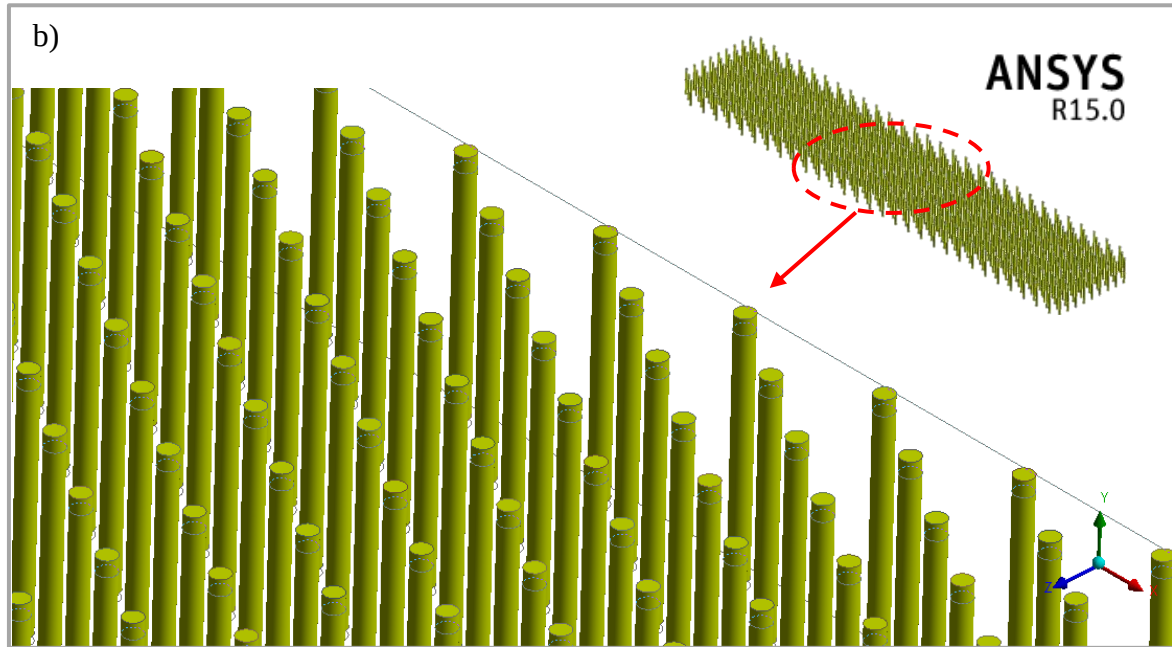
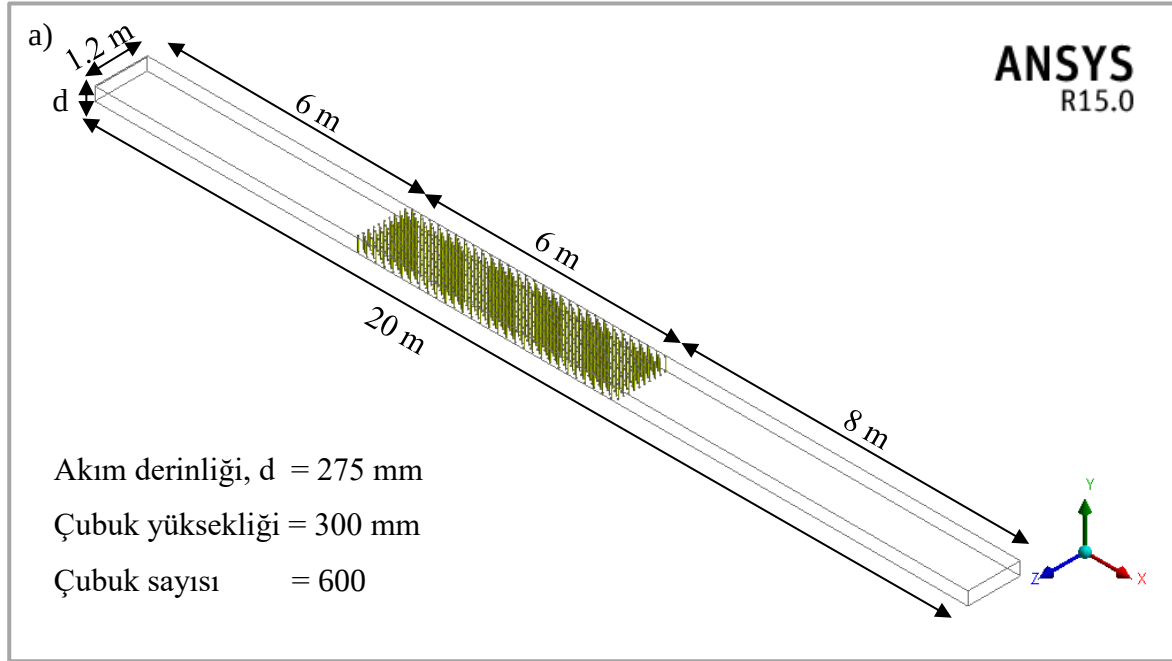


Şekil 7.2. Çubuklar bölgesi orta kesiminde bulunan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımının karşılaştırılması

Sc2_Senaryolarının değerlendirilmesi

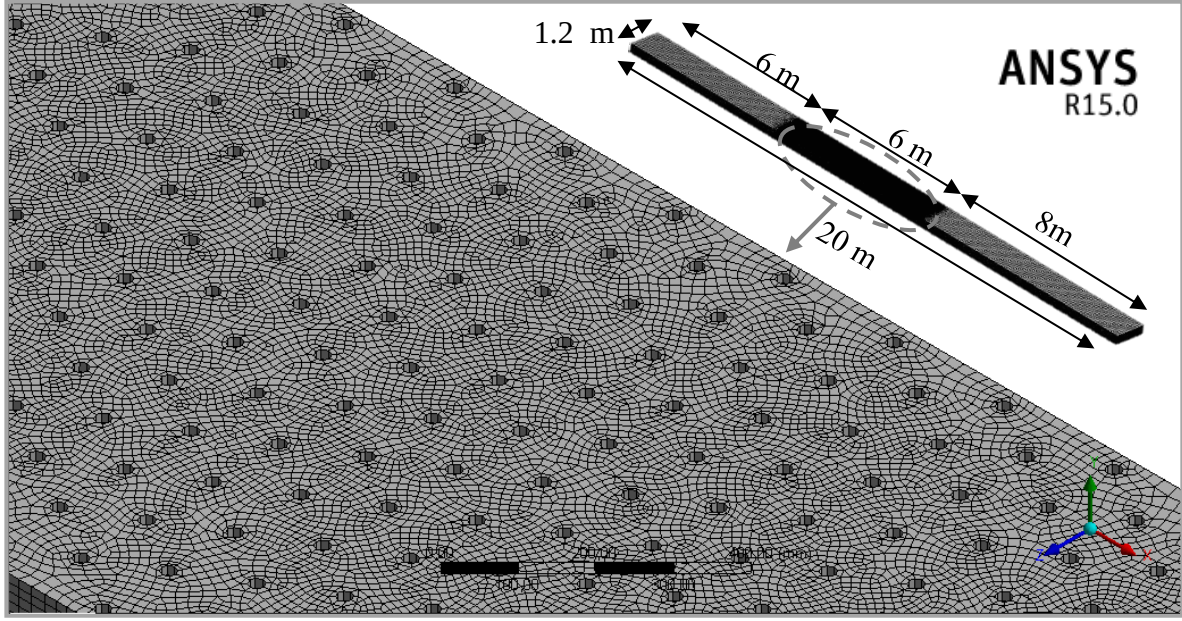
Sc2 senaryolarının ilki 20 metrelik kanalda 600 adet çubuğun şaşırtmalı olarak yerleştirilmesiyle oluşturulmuş geometriden oluşmaktadır (Resim 7.8). Analiz sonuçlarının hem Dorcheh (2007) hem de Koç (2016) ile karşılaştırılması açısından kanal geometrisinde

bu çalışmalardaki geometrilere sadık kalınarak çubuklar kanalın 6'ncı metresinden başlayacak şekilde yerleştirilmiştir.



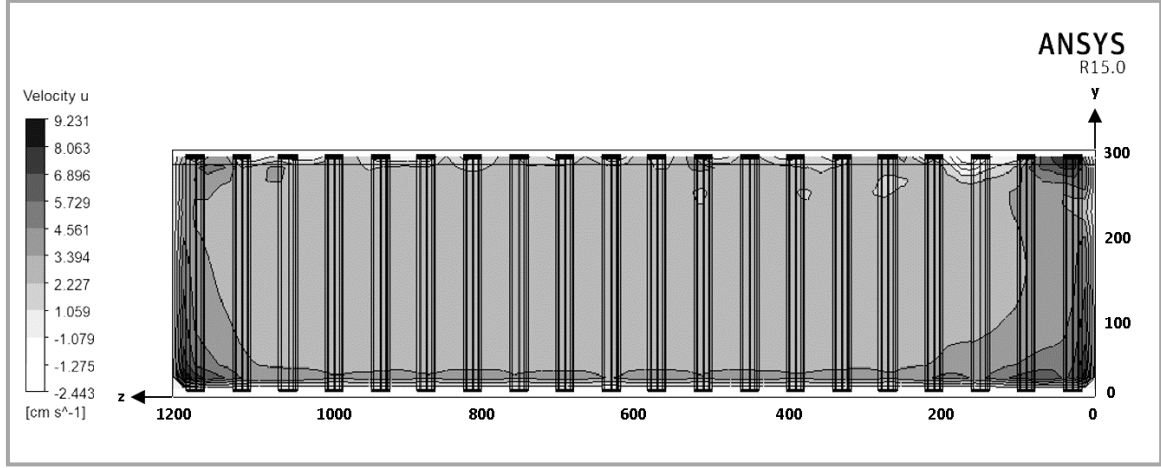
Resim 7.8. Sc2_01_ Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunun kanal geometrisi: a) Kanal geometrisinin genel görünüşü, b) Çubuklar bölgesinin yakından görünüşü

ANSYS Fluent tarafından kanal geometrisine yazılım tarafından atanan çözüm ağı sayısı 1 004 240 elemandan meydana gelmiştir. Yazılım tarafından otomatik atanan bu çözüm ağı incelendiğinde özellikle çubuklar bölgesinde düğüm noktalarının yoğunlaştığı görülmektedir (Resim 7.9).



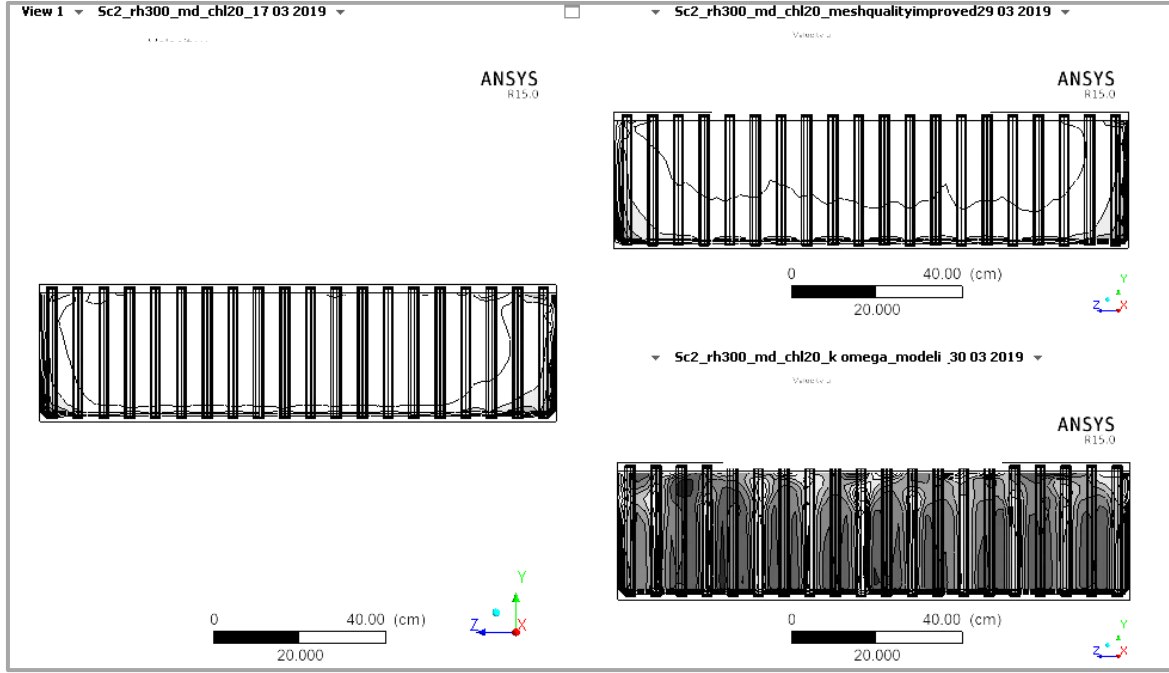
Resim 7.9. Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Analiz sonucunda elde edilen, çubuklar orta bölgesinde kanal en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı Resim 7.10'da verilmiştir. Bu en kesitte elde edilen hızlar -2.443 cm/s ile 9.231 cm/s arasında değişmektedir. Fakat çubukların arasında yer alan bu kesitte elde edilen hız dağılımı deney sonuçlarına benzer bir akım davranışı sergilememektedir. Akımın çubuklara yaklaştığı alanlarda hızın azalması ve çubuk aralarına denk gelen alanlarda hızın artması beklenirken genel olarak kanal tabanına yakın bölgelerde hızlı su yüzeyine yaklaştıkça hızın azaldığı bir profil sergilemiştir.



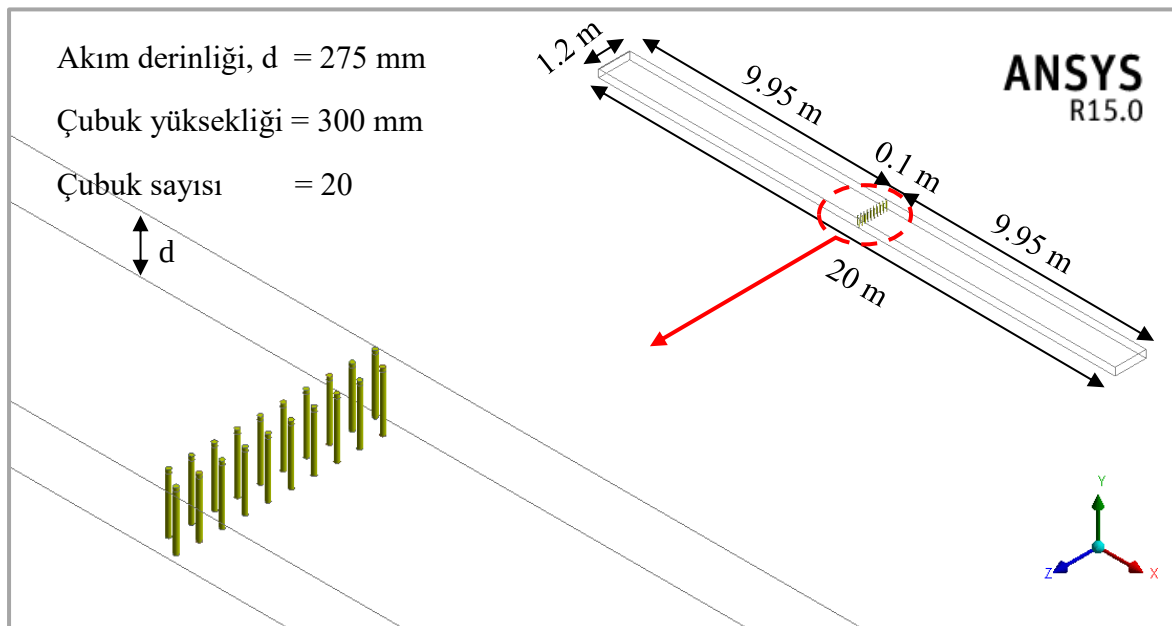
Resim 7.10. Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k- ϵ] senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, u (cm/s)

Sc2_01_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k- ϵ] senaryosundaki diğer bütün parametreler aynı kalmak şartıyla sadece türbülans modelinin değiştirilmesinin ve sadece çözüm ağı yoğunluğunun artırılmasının akım davranışındaki etkilerinin araştırılması amacıyla sırasıyla Sc2_02_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k- ϵ] senaryosunda çözüm ağı yoğunluğu artırılarak ve Sc2_03_Fv_Rh300_Md_Ch.L20_Trk[k- ω] senaryosunda k- ω türbülans modeli kullanılarak iki analiz daha gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar sadece çözüm ağı yoğunluğunu artırmanın akım davranışını çok fazla değiştirmedğini ancak hız değerlerini artırdığı göstermiştir (Resim 7.11). k- ω türbülans modeli ile çalıştırılan analizde ise akım davranışının deney sonuçları ile benzer şekilde neticelendiği ancak hız değerlerinin çok değişken değerlere sahip olmasına neden olmuştur.



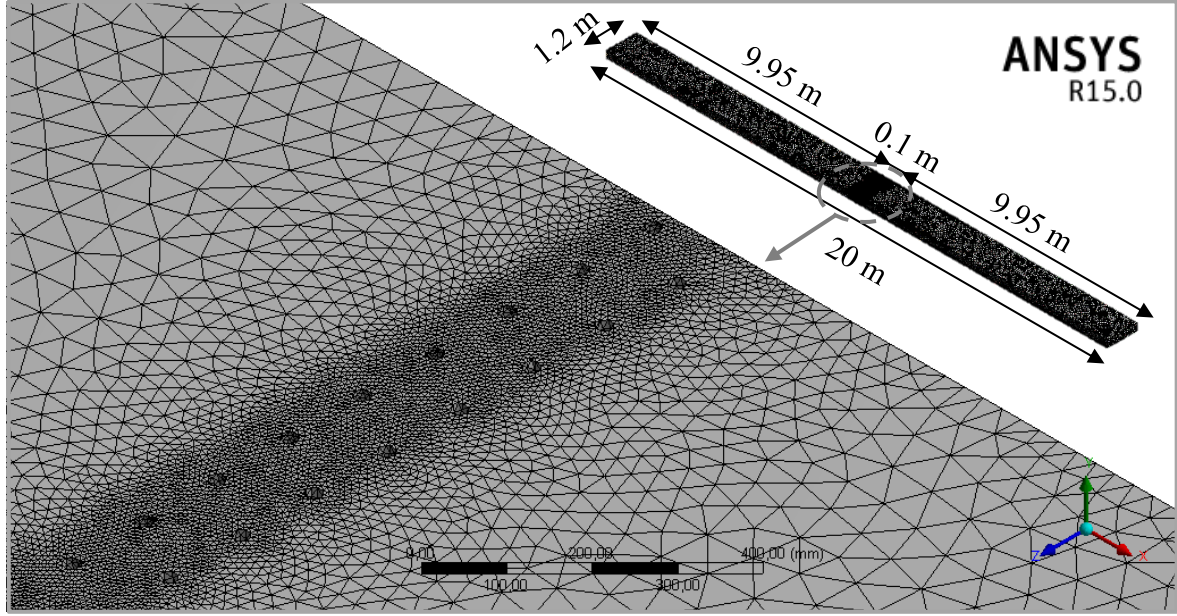
Resim 7.11. Sc2_Fv_Rh300_Md_Ch.L20 Senaryolarında $k-\epsilon$, $k-\omega$ ve çözüm ağı yoğunlaştırılmış senaryoların, çubukların arasında kalan en kesitte hız dağılımlarının karşılaştırılması

Sc_2 Senaryolarında çubuk sayısının çok fazla olması ve buna bağlı olarak çözüm ağıнын karmaşıklığı sebebiyle analizde kolaylaştırma sağlamak amacıyla 20 metre boyundaki kanalın tam ortasında 20 adet çubuğun 2 sıra ve şaşırmalı olacak şekilde yeni bir geometri oluşturulmuştur (Resim 7.12).



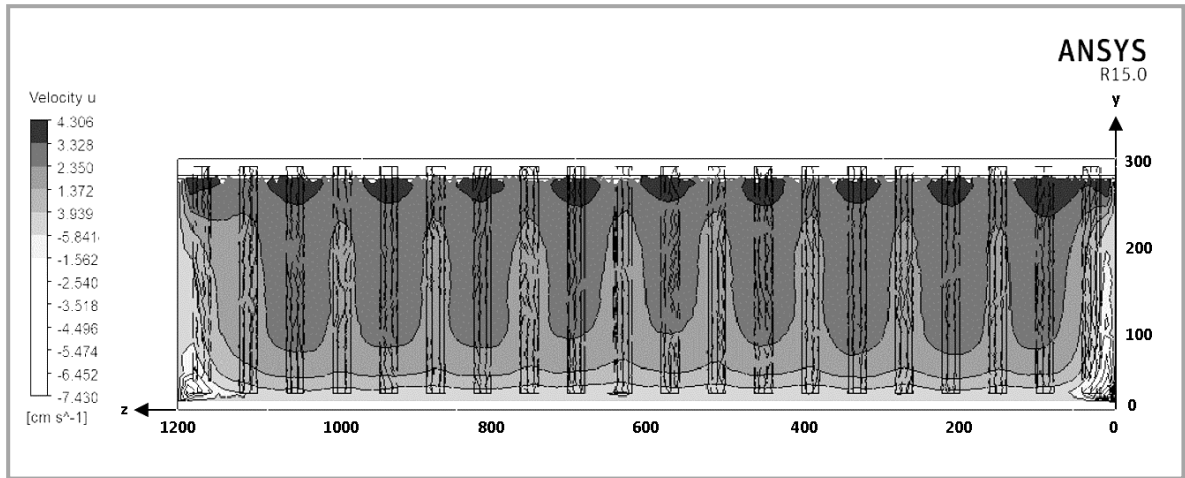
Resim 7.12. Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Trb[$k-\epsilon$] Senaryosunda kanal geometrisi

Çözüm ağı oluşturulurken “Body Sizing” özelliği kullanılarak çözüm ağında iyileştirme yapılmıştır. 20 çubuklu kanal için 988 318 eleman oluşturulmuştur (Resim 7.13).

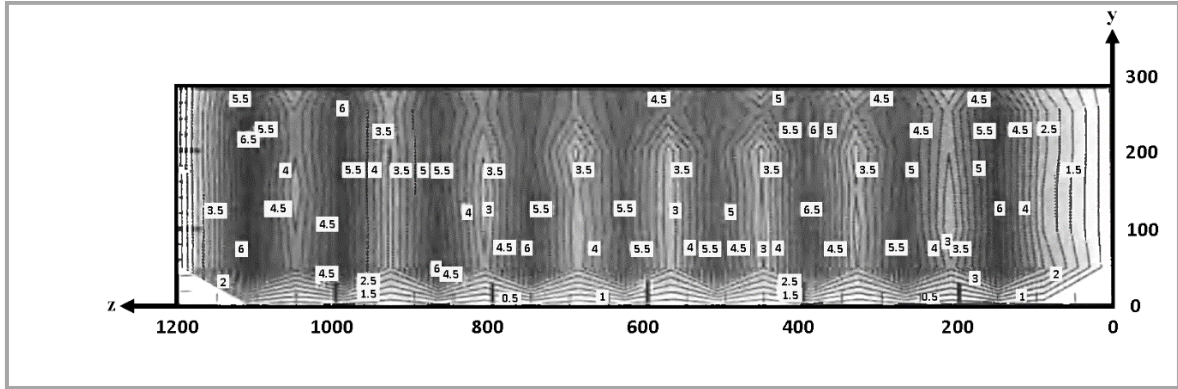


Resim 7.13. Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunun analizi sonucunda çubukların hemen öncesindeki en kesitte alınan hız dağılımında hızların -7,430 cm/s ile 4,306 cm/s arasında değiştiği görülmüştür (Resim 7.14). Negatif hız değerlerinin kanal köşelerinde çok küçük bölgesel noktalarda oluştuğu belirlenmiştir. Bu alanlar dışındaki akım davranışı deney sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir (Resim 7.15).

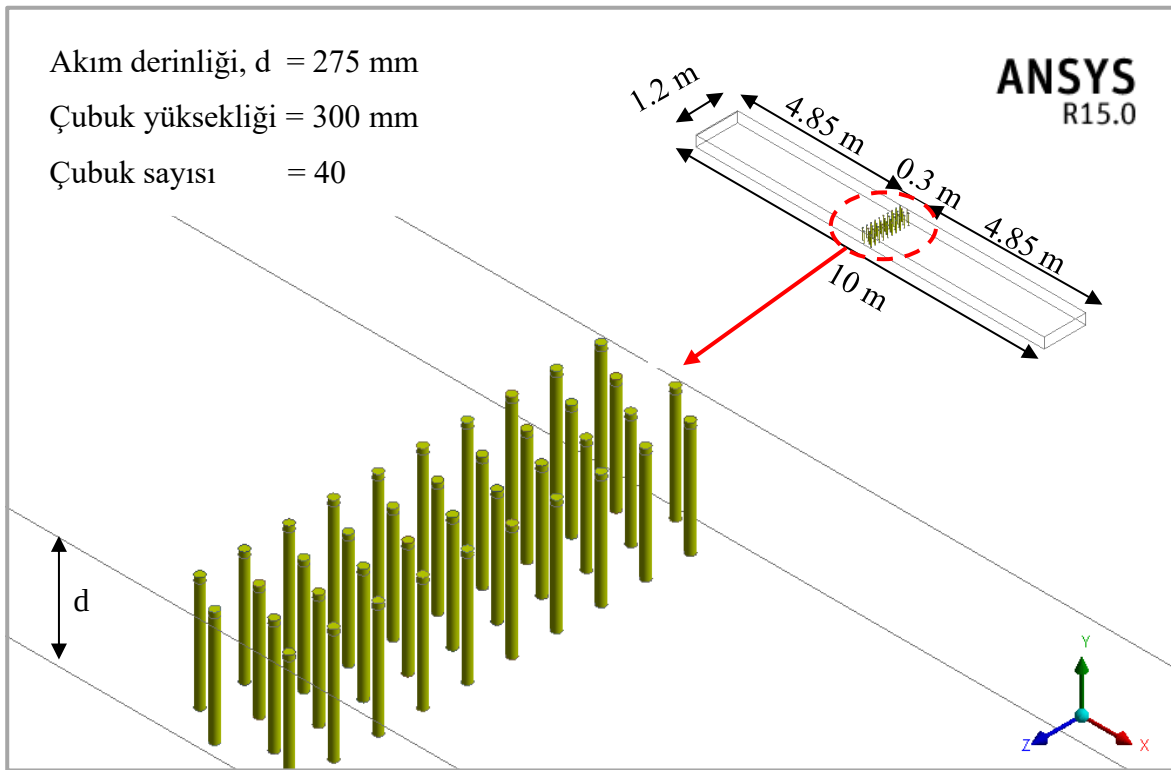


Resim 7.14. Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] Senaryosunda çubukların hemen öncesinde alınan en kesitte hız dağılımı, $u(\text{cm/s})$



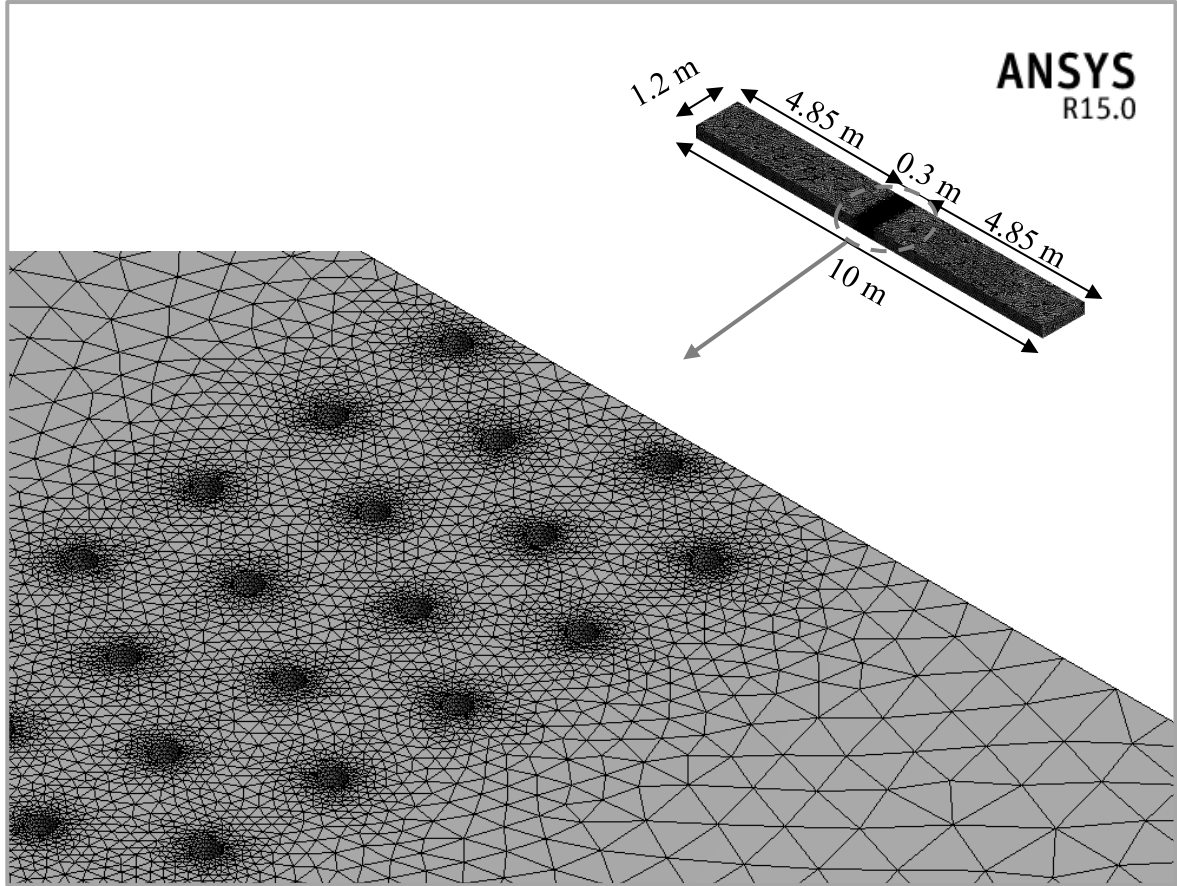
Resim 7.15. Dorcheh'in (2007) çalışmasında orta yoğunlukta bitki örtüsü içeren batmamış durum senaryosunda çubuklar bölgesi orta kısmında boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Orta yoğunlukta senaryolarda son olarak çözüm ağı yoğunluğunu çubuklar bölgesine daha fazla toplayabilmek ve akım şartlarını deneydeki durum ile daha benzer kılabilmek adına kanal uzunluğunun 10 metre olduğu ve toplam 40 adet çubuğun şaşırtmalı 4 sıra olacak şekilde tam kanal ortasına yerleştirildiği yeni bir geometri oluşturulmuştur (Resim 7.16).



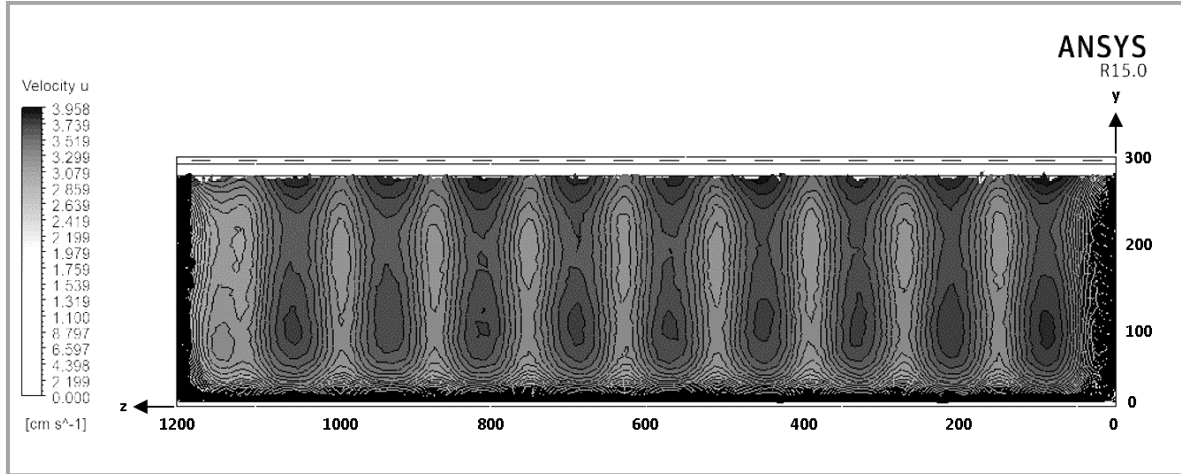
Resim 7.16. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Tr[k-ε] Senaryosunda kanal geometrisi

Çözüm ağı oluşturulurken “body sizing” özelliği kullanılarak eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve yoğun eleman oluşturulmuştur (Resim 7.17). Çözüm ağı 3 313 010 elemandan meydana gelmiştir. Hem kanal geometrisinde kanal uzunluğu küçültüldüğü hem de çözüm ağı ayarlarında eleman boyutu hassasiyeti artırıldığı için özellikle çubuklar bölgesinin eleman miktarı artırılmıştır.



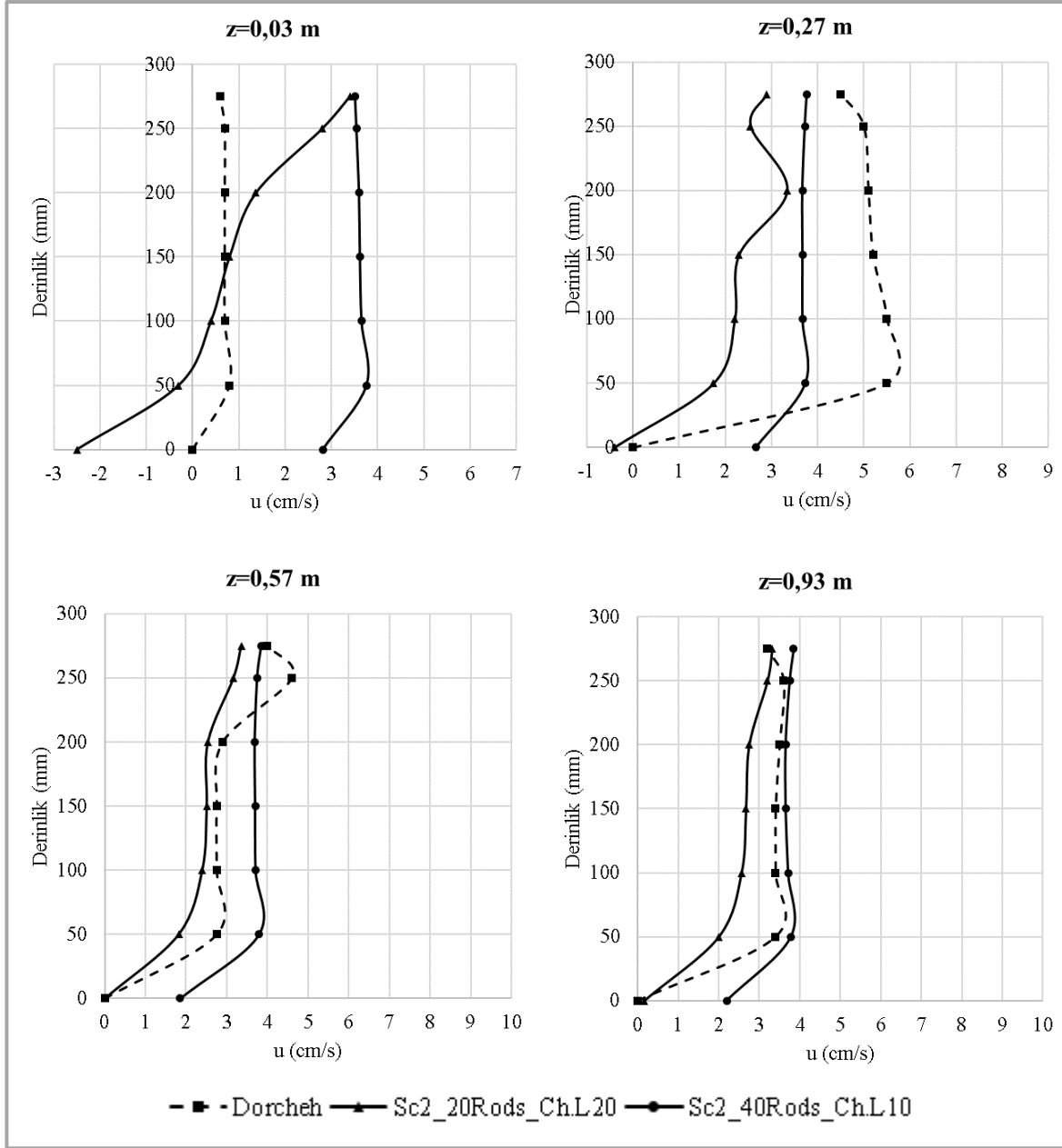
Resim 7.17. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] Senaryosunda çözüm ağı

Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunun analizi sonucunda çubuklar öncesinde bulunan en kesitte hız dağılımının 0 cm/s ile 3,958 cm/s arasında değiştiği kaydedilmiştir (Resim 7.18). Elde edilen hız dağılımında Sc2_04_Fv_Rh300_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunun analizinde oluşan negatif hızlar da oluşmamıştır. Analizin sonuçlarından, Resim 7.15’te verilen deney sonuçlarından elde edilen hız dağılımları ile büyük oranda uyumlu bir akım yapısı olduğu görülmüştür.



Resim 7.18. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] Senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

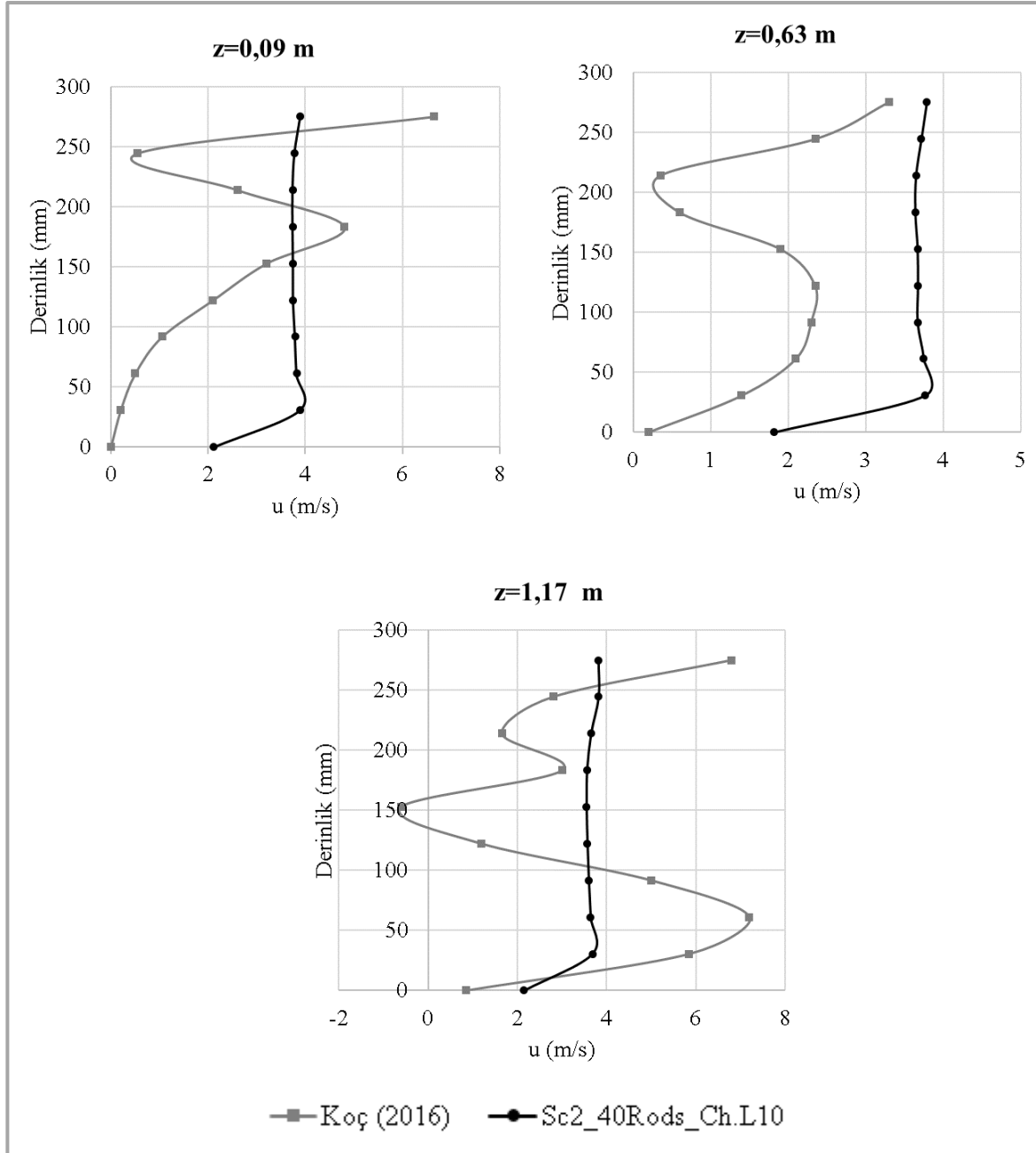
Çubuklar öncesi en kesitte belirli noktalardan alınan hızların Dorcheh'in (2007) deney sonuçları ile karşılaştırması yapıldığında 10 metre kanal uzunluğu ve 4 sıra teşkil edecek şekilde yerleştirilen 40 çubuk ile yapılan Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] analiz sonuçlarının deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 7.3). Kanal kenarında olan $z=0,03$ m kesitinde deneyde elde edilen hızlar nispeten yüksek olmasına karşın kanal orta kısmındaki $z=0,57$ m ile kanal kenarlarına yakın konumlardaki $z=0,27$ m ile $z=0,93$ m kesitlerinde analiz sonucunda elde edilen hızlar deney sonucunda elde edilen hızlar ile büyük benzerlik göstermektedir.



Şekil 7.3. Sc_2 Senaryolarında çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in (2007) sonuçları ile karşılaştırılması

Koç (2016) çalışmasında orta yoğunluklu batmamış durum için dört farklı kanal geometrisi oluşturmuş ancak yazılım hata verdiği için analizler tamamlanamamıştır. Sonrasında çözüm ağının karmaşık olmasından dolayı 10 metre uzunluğunda kanalın ortasına 2 sıra şaşırtmalı olacak biçimde 20 çubuk ile yeni bir geometri oluşturmuş ve yaklaşık 20 000 elemana sahip çözüm ağı elde edilerek analiz yapılmıştır. Koç (2016) bu son analiz sonucunda kanal boyunca $x=5,05$ m mesafedeki kanal en kesitinde $z=0,09$ m, $z=0,63$ m ve $z=1,17$ m konumlarındaki hız değerlerinin derinlik boyunca değişimlerini elde etmiştir. Şekil 7.4'te

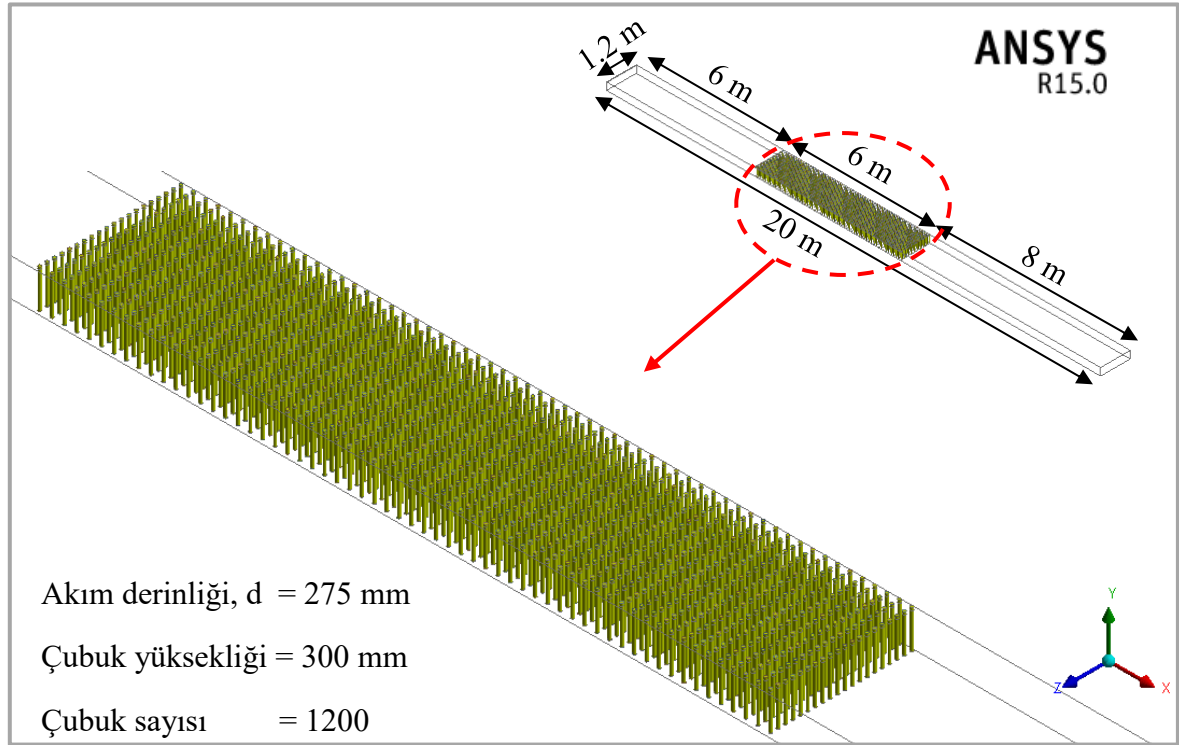
ANSYS Fluent yazılımı ile 10 metre boyundaki kanalda 40 adet çubuğun şaşırtmalı dizilimi ile elde edilen hız değerlerinin derinlik boyunca değişimi ile Koç'un (2016) çalışmasında elde ettiği sonuçlar karşılaştırılmıştır. ANSYS Fluent ile elde edilen bu son analiz sonuçlarının Koç'un (2016) çalışmasında kullandığı ANSYS CFX yazılımı ile yürütülen analiz sonuçlarına göre daha kararlı oldukları görülmüştür.



Şekil 7.4. Sc2_05_Fv_Rh300_40Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımının Koç'un (2016) sonuçları ile karşılaştırılması

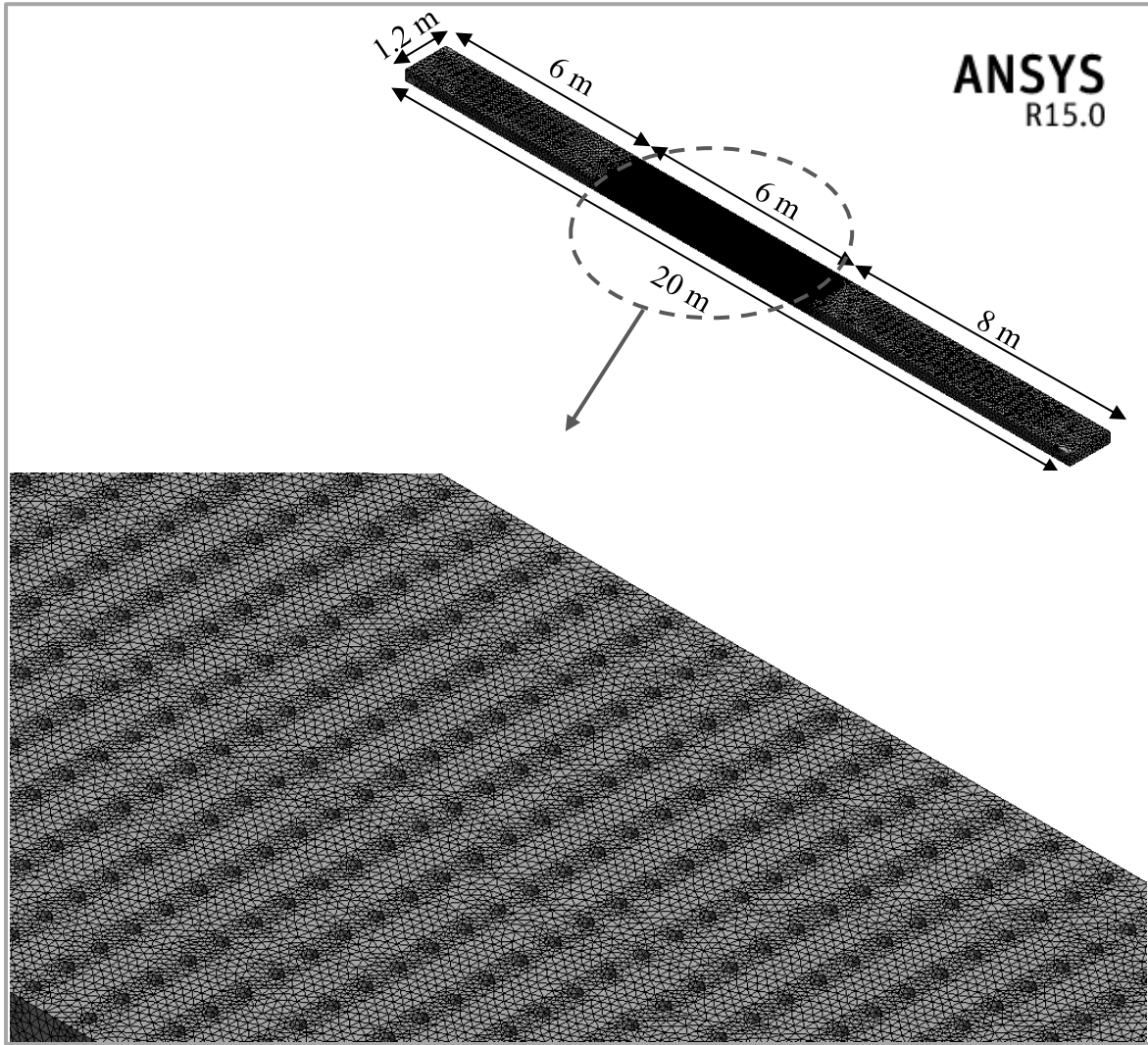
Sc3_Senaryolarının değerlendirilmesi

Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda 20 metre uzunluğundaki kanalın 6'ncı metresinden başlamak üzere toplam 1200 adet çubuk yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.19). Sc_3 senaryoları Dorcheh'in (2007)tezindeki yoğun bitki örtüsü olan batmamış durumlarla karşılaştırılmıştır.



Resim 7.19. Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi

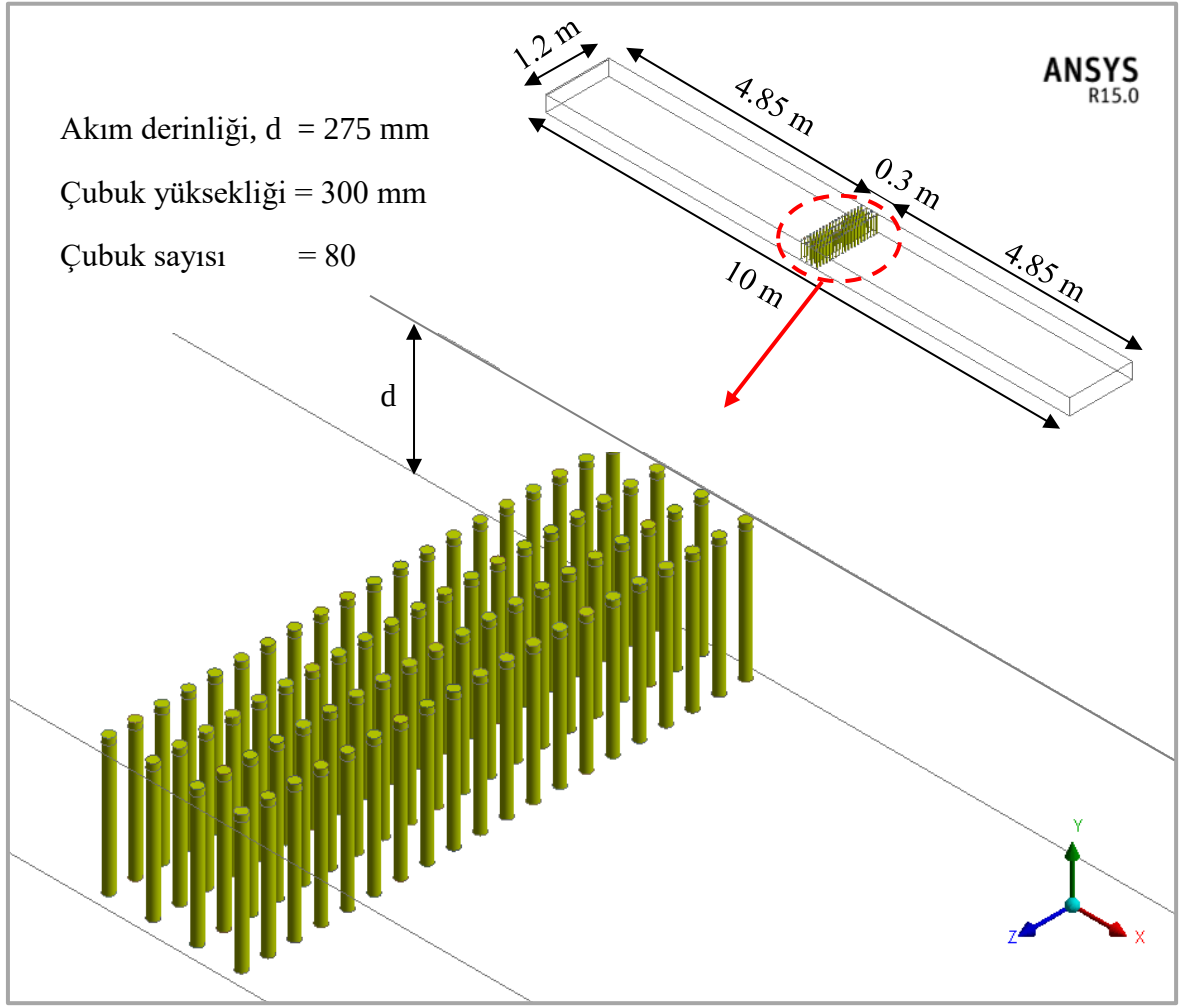
Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunun çözüm ağı oluşturulurken kanal geometrisindeki çubuk sayısının iki katına çıkmış olması dikkate alınarak “body sizing” özelliği kullanılırken eleman boyutu olarak 100 mm tercih edilmiştir. Oluşturulan çözüm ağı 9 578 105 elemandan meydana gelmiştir (Resim 7.20).



Resim 7.20. Sc3_01_Fv_Rh300_Hd_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

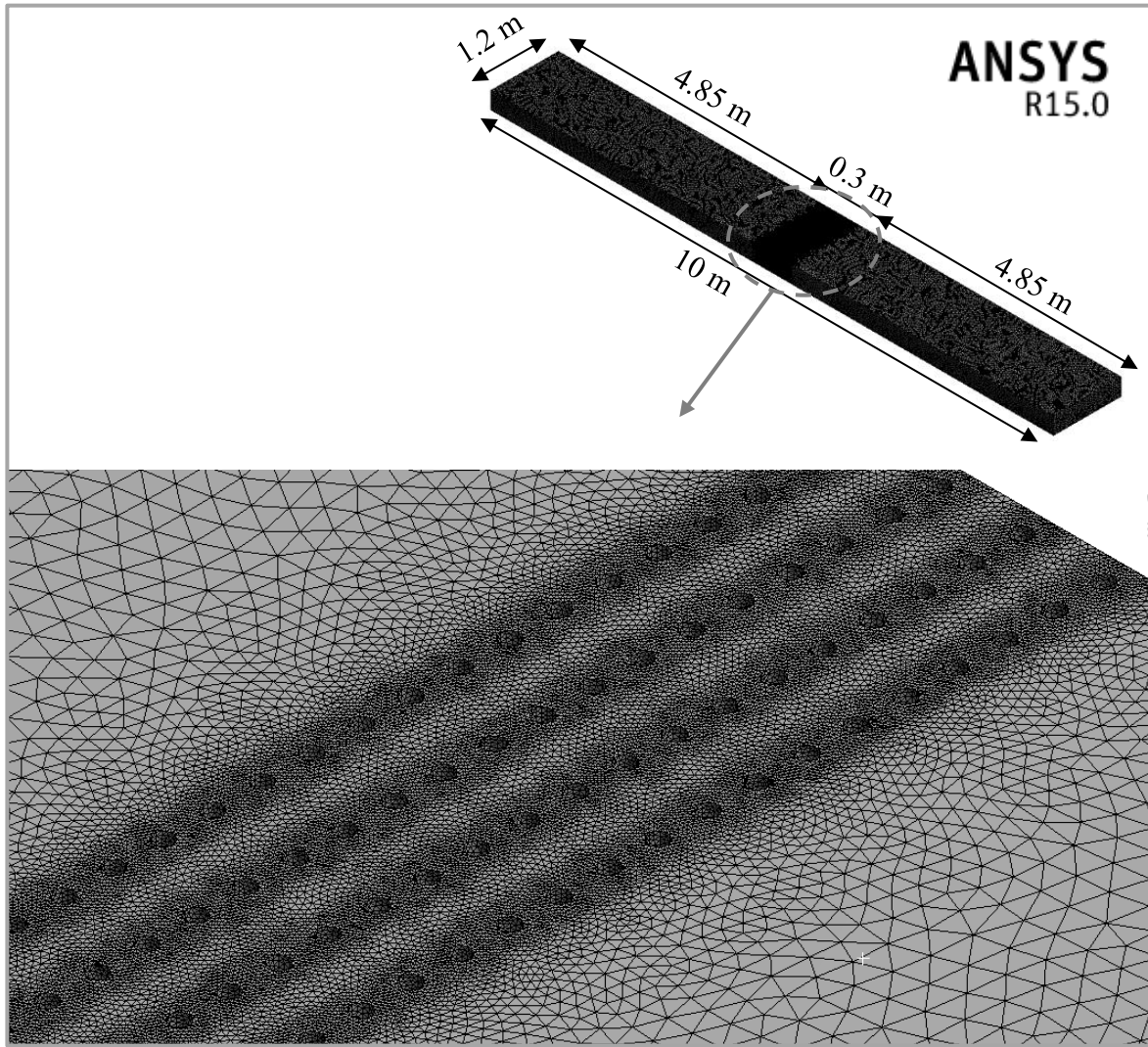
Analiz sonucunda elde edilen hız verileri Dorcheh (2007) ile benzerlik göstermediği gibi kendi içinde de anlamlı bir sonuç vermemiştir. Çözüm ağının çok karmaşık bir yapıya sahip olmasının analiz sonuçlarını olumsuz etkilemiş olabileceği düşünülmüştür.

Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren kanalı analiz etmek için 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 80 adet çubuk 2 sıra halinde yerleştirilerek yeni bir geometri oluşturulmuştur (Resim 7.21).



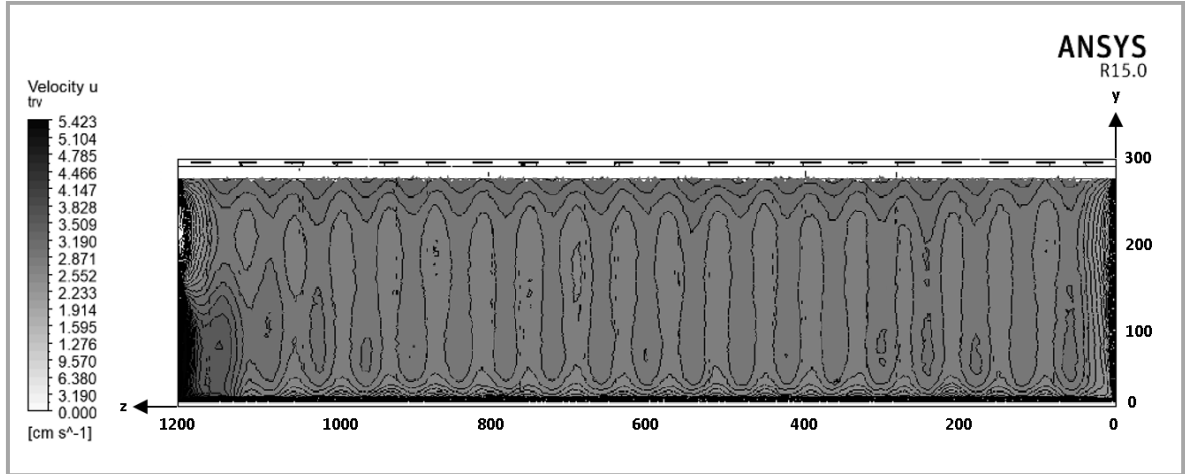
Resim 7.21. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi

Hazırlanan yeni kanal geometrisi için oluşturulan çözüm ağında “body sizing” özelliği ile eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 5 514 609 eleman oluşturulmuştur (Resim 7.22). Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren kanal geometrisinde çubuklar arası mesafelerin orta yoğunluklu ve az yoğunluklu kanal geometrisine sahip olanlara göre çok daha kısa olması sebebiyle çözüm ağında bu kanal geometrilerine göre çok fazla eleman oluşmuştur.

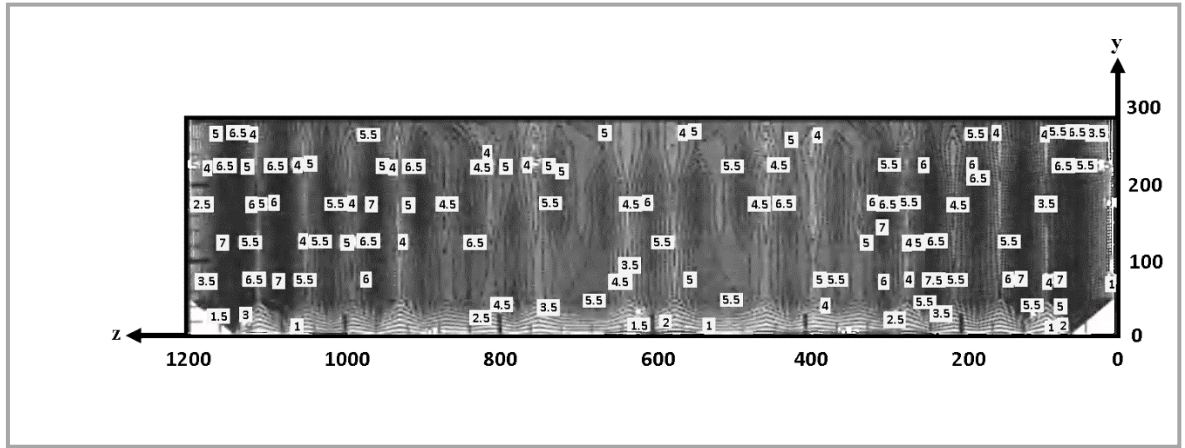


Resim 7.22. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunun analizi sonucunda çubukların hemen öncesindeki en kesitte elde edilen hız dağılımının 0 cm/s ile 5.423 cm/s arasında değiştiği görülmüştür (Resim 7.23). En kesit genelinde ise çubukların tam arkasına düşen kesimlerde hızların 3 cm/s'nin altına indiği, çubukların aralarına denk gelen kesimlerde ise 3 cm/s ve üzerindeki değerlere ulaştığı görülmüştür.

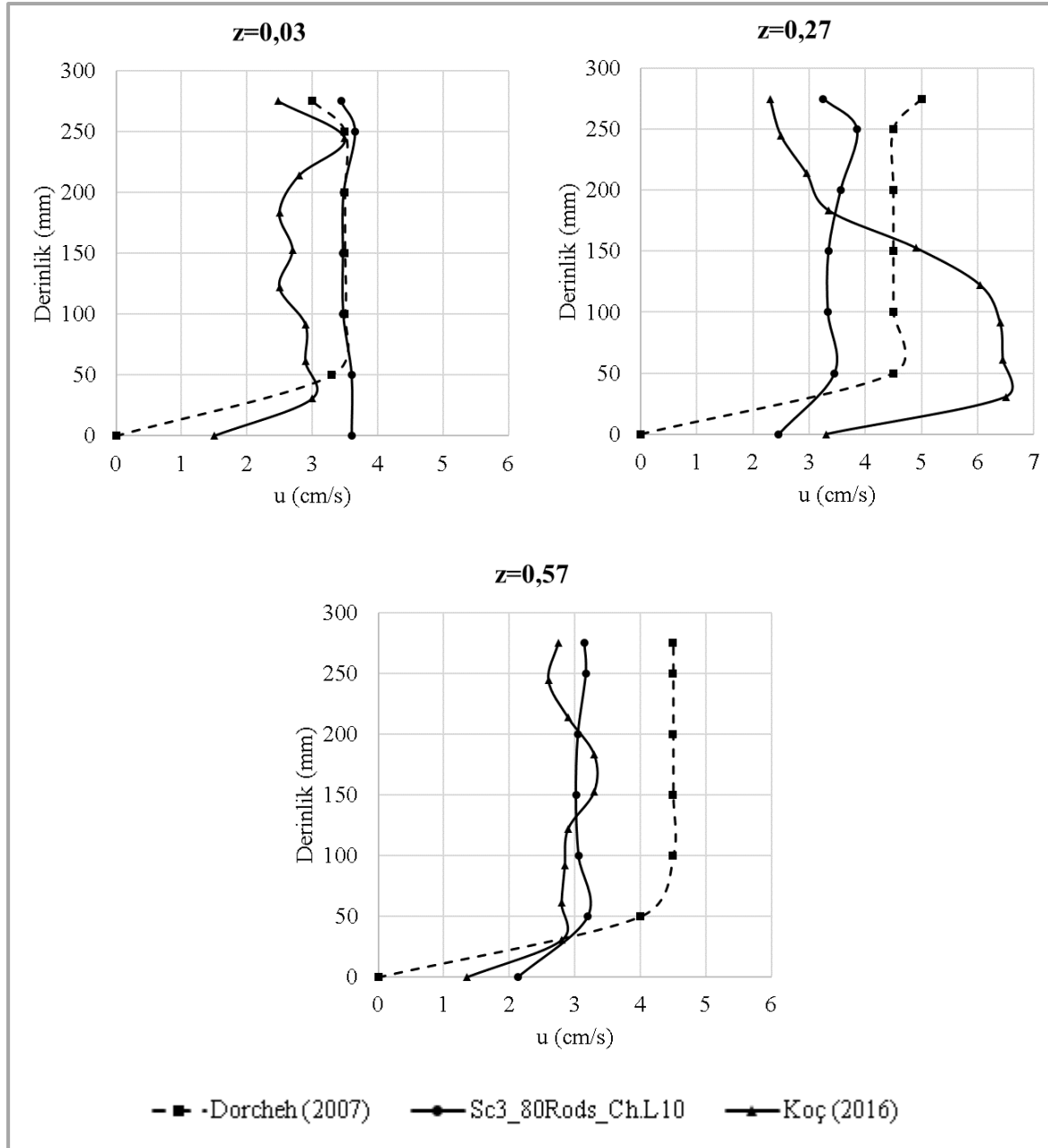


Resim 7.23. Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] Senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.24. Dorcheh'in (2007) çalışmasında yüksek yoğunlukta bitki örtüsü içeren batmamış durum senaryosunda çubuklar bölgesi orta kısmında boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

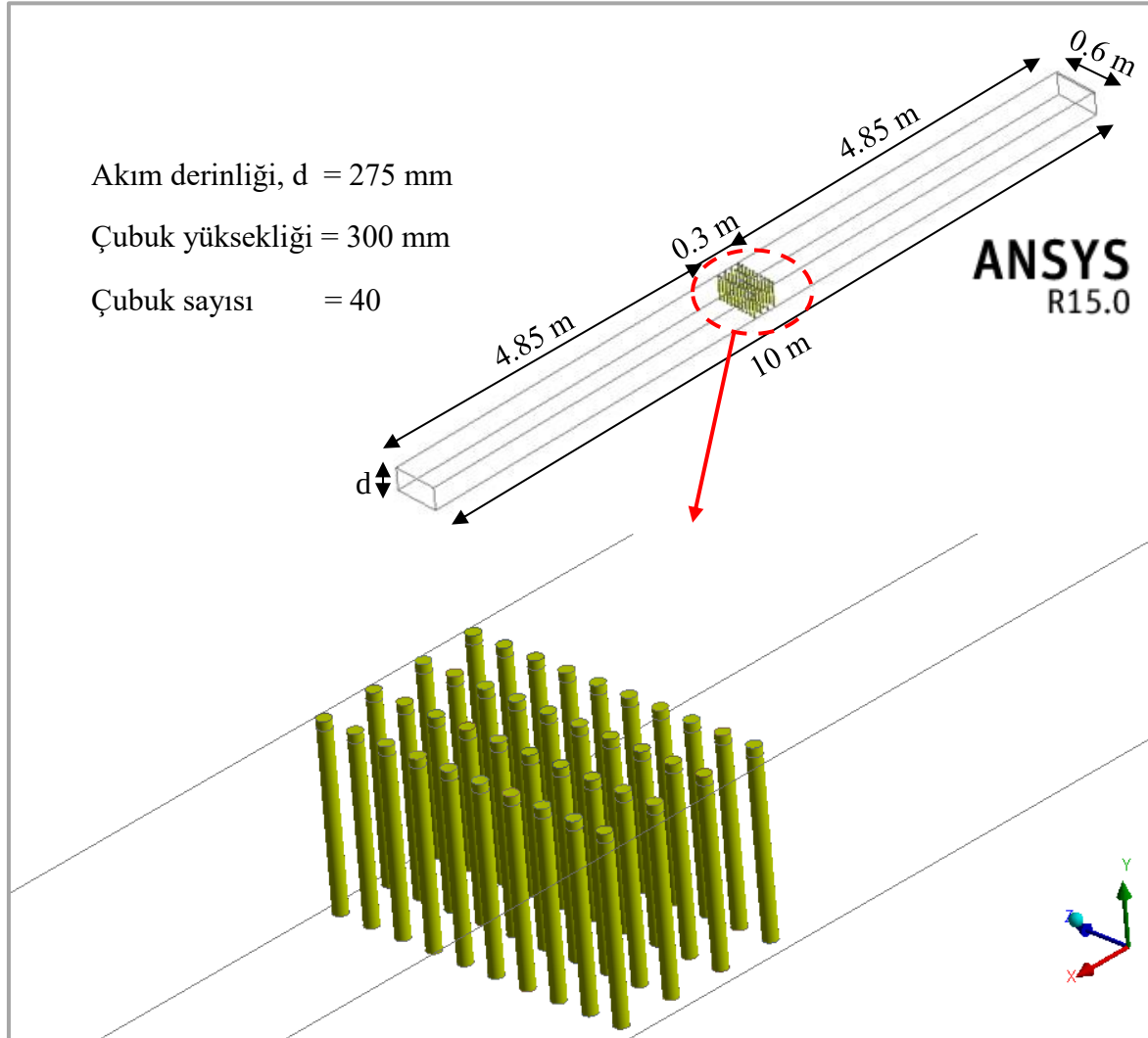
Şekil 7.5'te Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte elde edilen hız dağılımları Dorcheh'in (2007) ve Koç'un (2016) çalışmalarındaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. ANSYS Fluent ile alınan sonuçlarda kanal kenarına yakın olan $z=0,03$ m kesiminde Dorcheh'in (2007) deney sonuçları ile hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Kanal ortasına denk gelen $z=0,57$ m ve $z=0,93$ kesimlerinde ise Dorcheh'in (2007) deney sonuçlarındaki akım davranışı ile uyumlu ancak nispeten daha düşük hız değerleri elde edilmiştir.



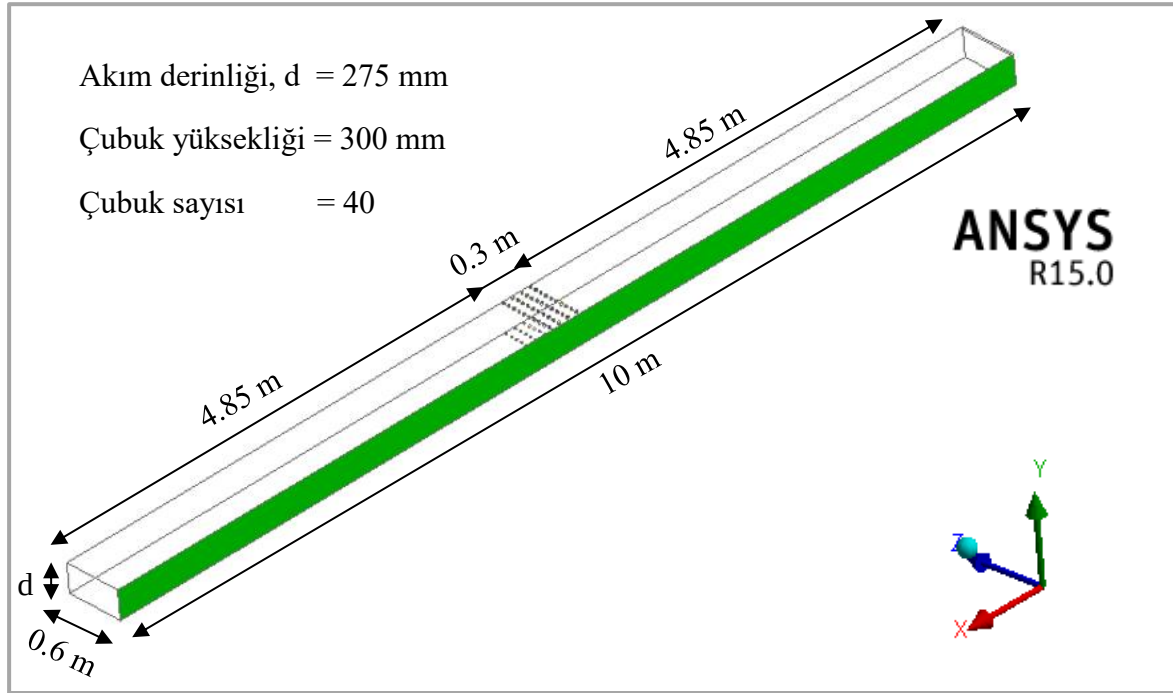
Şekil 7.5. $Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-\epsilon]$ senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in (2007) ve Koç'un (2016) çalışmalarındaki sonuçlar ile karşılaştırılması

$Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-\epsilon]_{Symmetry}$ senaryosunda, $Sc3_02$ senaryonda oluşturulan kanal geometrisinde ANSYS Fluent yazılımının simetri çözüm özelliği çalıştırılmıştır. Aynı kanal geometrisi oluşturulduktan sonra $z=0,60$ m'den geçen eksen esas alınarak kanal geometrisinde simetri ekseni oluşturulmuştur (Resim 7.25 ve Resim 7.26). Analizde adet 40 çubuk ve yarım kanal geometrisi baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu da hem oluşturulan çözüm ağını hem de analiz süresini kısaltmıştır. Simetrik

kanal geometrisi için oluşturulan çözüm ağında “body sizing” özelliği ile eleman boyutu yine 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 2 756 494 eleman oluşturulmuştur.

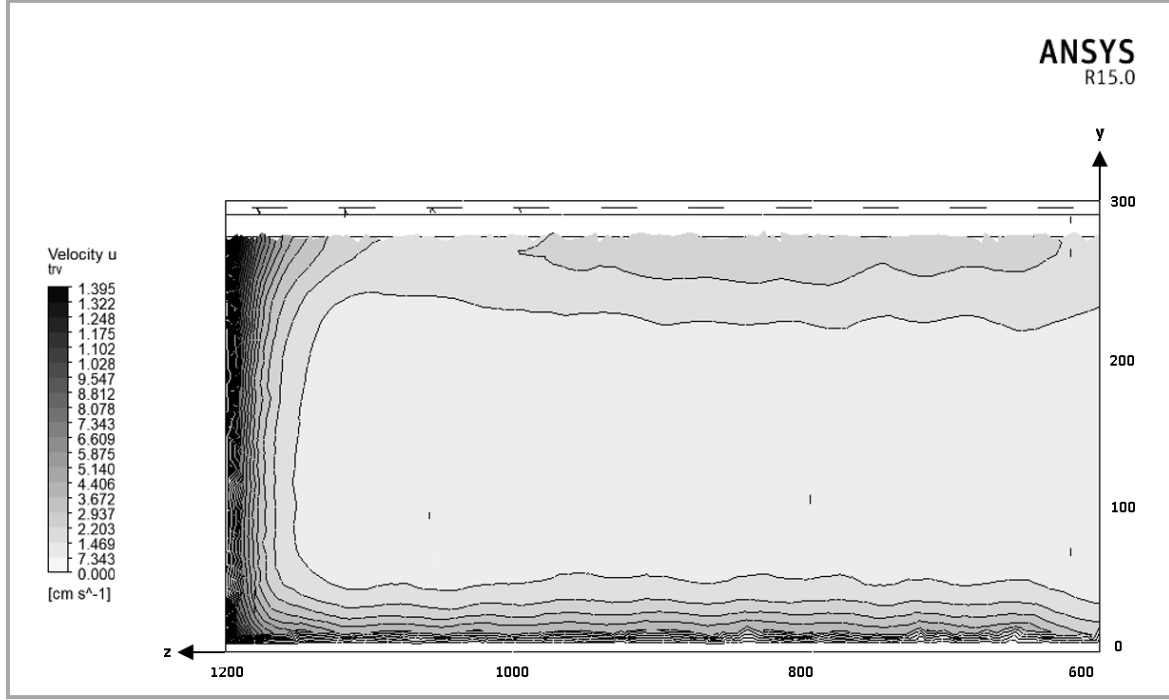


Resim 7.25. Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_TrB[k-ε] senaryosunda simetrik kanal geometrisi



Resim 7.26. Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda kanal geometrisinde simetri düzlemi

Analiz sonucunda, Sc3_02_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte elde edilen hız dağılımları ile benzer sonuçlar elde edilememiştir (Resim 7.27). Söz konusu en kesitte simetri özelliği ile yapılan analizde elde edilen hızların 0 cm/s ile 1,395 cm/s arasında değerler aldığı ve Dorcheh'in (2007) deney sonuçlarındaki gibi bir akım davranışı sergilemediği görülmüştür. Simetri özelliği ile yapılacak analizin yeni bir geometri ile daha ayrıntılı çalışılması gerektiği düşünülmektedir.



Resim 7.27. Sc3_03_Fv_Rh300_80Rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Batmamış bitki örtüsü içeren Sc1, Sc2 ve Sc3 senaryolarının analizleri neticesinde deneydeki orijinal çubuk sayıları ile oluşturulan senaryolarda kanal geometrileri sebebiyle karmaşık yapıya sahip bu modellemelerin analiz sonuçlarının deney sonuçları ile benzerlik göstermediği görülmüştür. Bu sebeple Sc1 ve Sc2 senaryolarında 20 metre ve 10 metre uzunluğundaki kanalların tam ortasına 2 sıra şeklinde olacak biçimde geometriler yeniden oluşturulmuştur. Çubuk sayısı azaltıldığından kanal uzunluğu da azaltılarak çözüm ağı eleman yoğunluğu çubuklar bölgesine toplanmaya çalışılmıştır. Analizler neticesinde 10 metre olan geometrilerde daha yoğun çözüm ağı ile alınan sonuçların daha tutarlı olduğu görülmüş ve sonraki analizlerde kanal 10 metre olarak kullanılmıştır.

Sc2 senaryolarında çözüm ağı kalitesi artırılarak ve k- ω türbülans modeli ile farklı iki analiz daha gerçekleştirilmiş ancak bunların da akım üzerinde olumlu etkileri gözlenememiştir. Sc1 ve Sc2 kanal geometrileri simetrik yapıda olamadığından ANSYS Fluent'in simetrik çözüm özelliği sadece Sc3 senaryosunda gerçekleştirilmiş ancak tutarlı bir hız sonuç elde edilememiştir.

7.1.2. Batmış bitki örtüsü (Rh=180mm) içeren analiz sonuçları

Kanal kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu, çubuk yüksekliklerinin 180 mm olduğu ve çubukların suyun içinde batmış durumda olduğu az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren senaryolar bu bölümde incelenmiştir. Batmış bitki örtüsü içeren senaryolar için 11 analiz gerçekleştirilmiş olup bu senaryolara ilişkin ayrıntılar Çizelge 7.3'te verilmiştir.

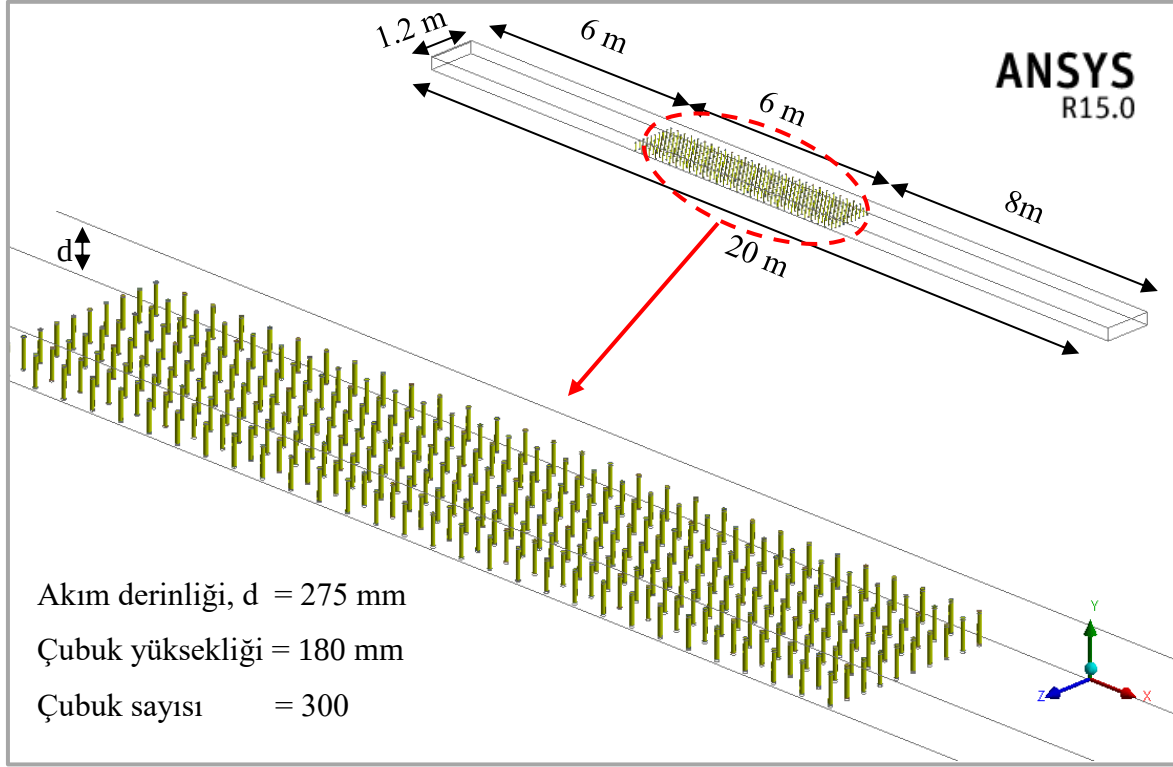
Bu bölümde değerlendirilen analizlerde yazılım ara yüzünden çözüm ağı görselleri alınırken yazılımın “görünüş”(view) sekmesinden “tel kafes”(wireframe) seçeneği aktif hale getirilerek su hacminin iç kısmının da görülebildiği görseller edinilmiştir.

Çizelge 7.3. Kanal kesitinin tamamı batmış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar

No:	Senaryo No:	Çözüm Ağında Bulunan Eleman Sayısı	Analizin Genel Sonucu
1	Sc4_01_ Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[b[k-ε]	3 275 516	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
2	Sc4_02_ Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[b[k-ε]_Biggerairvolume	3 424 765	Önemli bir değişim kaydedilmemiştir.
3	Sc4_03_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]	1 068 112	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
4	Sc4_04_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε. Realizable]	1 068 112	Önemli bir değişim kaydedilmemiştir.
5	Sc4_05_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε.RNG]	1 068 112	Önemli bir değişim kaydedilmemiştir.
6	Sc4_06_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ω]	1 068 112	Önemli bir değişim kaydedilmemiştir.
7	Sc5_01_ Fv_Rh180_Md_Ch.L20_Tr[b[k-ε]	1 068 112	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
8	Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]	996 201	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
9	Sc6_01_ Fv_Rh180_Hd_Ch.L20_Tr[b[k-ε]	3 501 050	Sonuçlar yetersiz bulunmuştur.
10	Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]	1 495 876	Deney sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.
11	Sc6_03_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]_ Symmetry	1 986 174	Sc6_02 ile aynı sonuçlar elde edilmiştir.

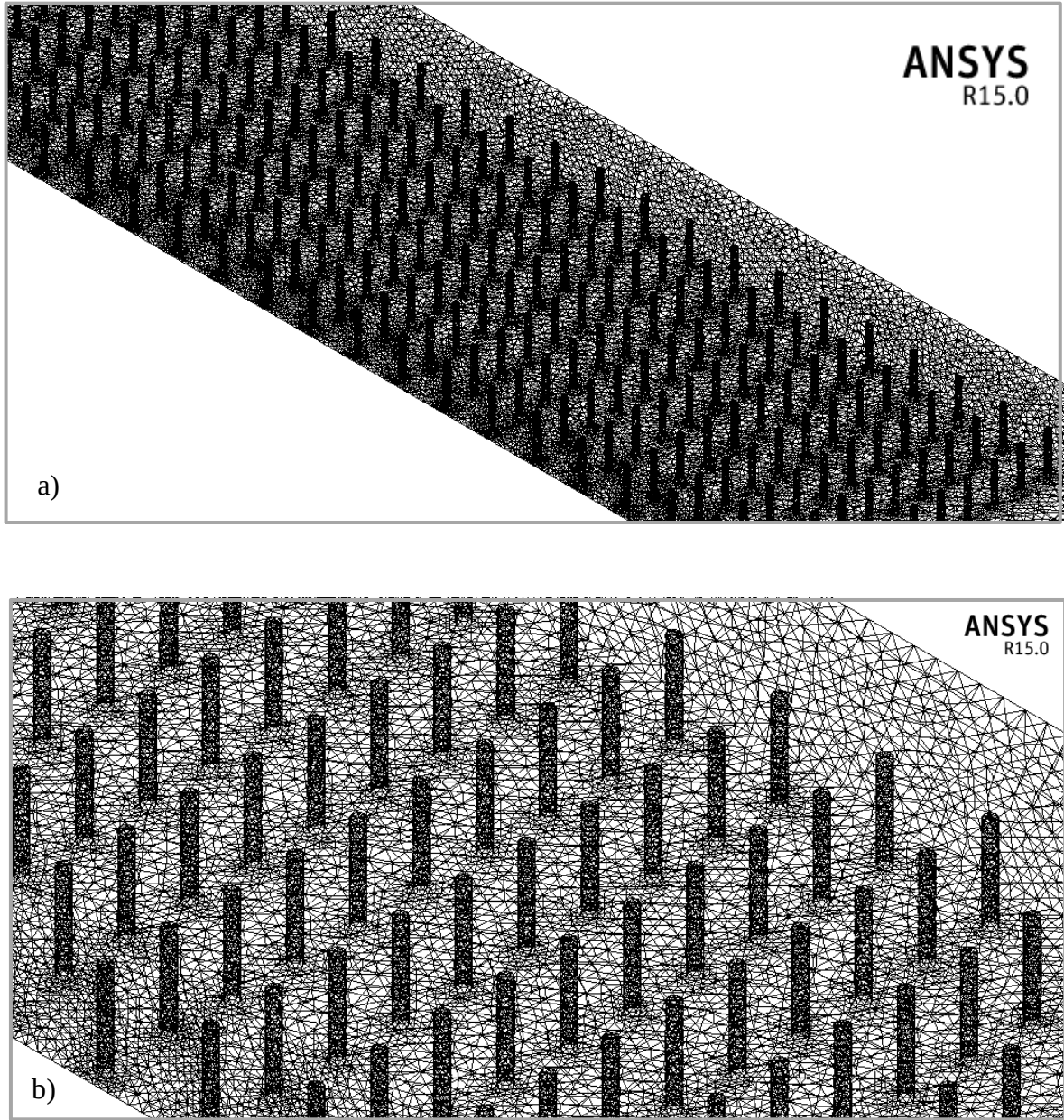
Sc4_Senaryolarının değeriendirilmesi

Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi 300 adet çubüğün az yoğunluk düzeninde yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur (Resim 7.28). Çubuklar kanalın 6'ncı metresinden itibaren yerleştirilmiştir.



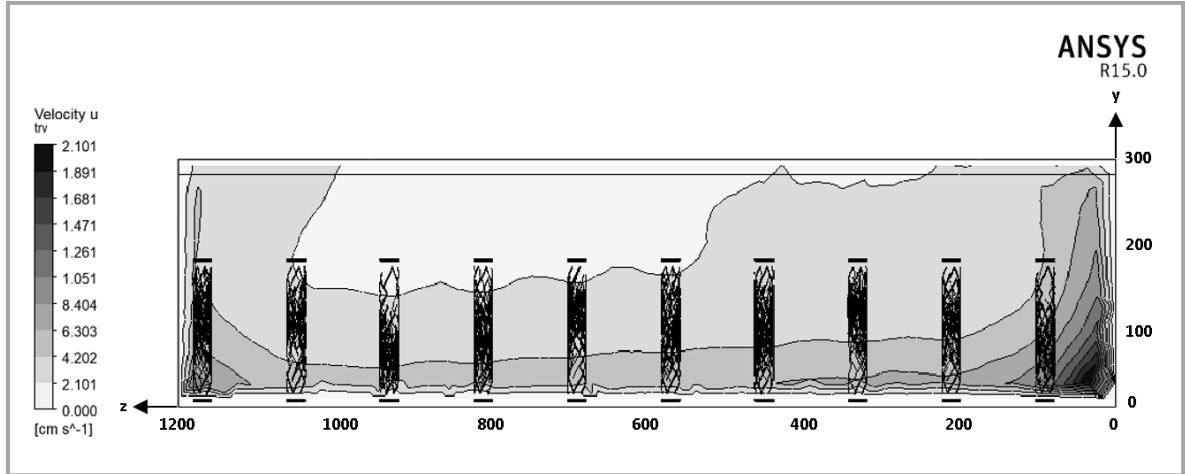
Resim 7.28. Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi

Daha önceki senaryolarda edinilen tecrübeye dayanılarak çözüm ağı oluşturulurken ANSYS Fluent yazılımının otomatik oluşturduğu çözüm ağı kullanılmayıp “body sizing” özelliği ile eleman boyutu belirlenerek çözüm ağı hassasiyeti artırılmıştır. Böylece çubuklar bölgesinin eleman sayısı artırılmıştır. Bu senaryoda eleman boyutu 100 mm olarak tanımlanmış ve oluşturulan çözüm ağında toplam 3 275 516 eleman elde edilmiştir (Resim 7.29).

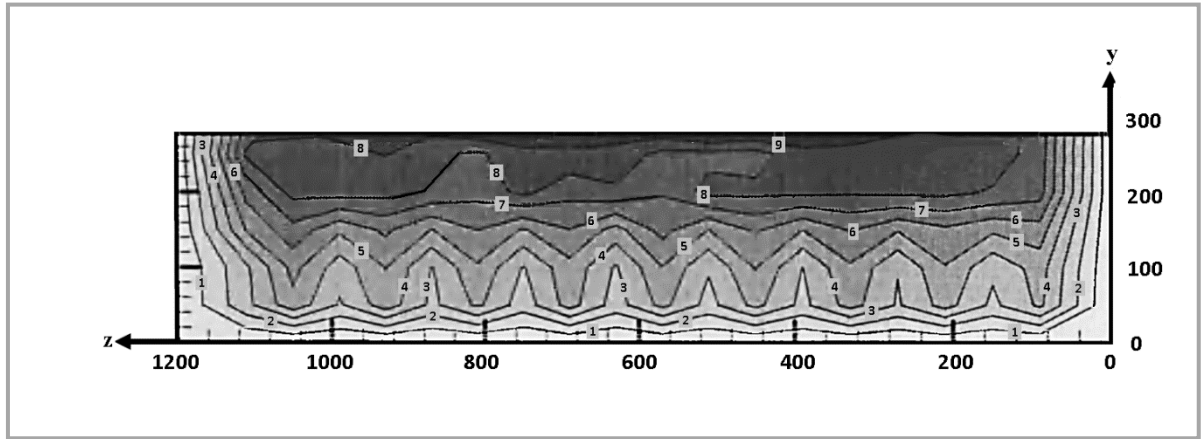


Resim 7.29. Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çözüm ağı: a)Çubuklar bölgesi genel görünüş, b)Çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüş

Analiz sonucunda elde edilen hız verileri Dorcheh (2007) ile benzerlik göstermediği gibi kendi içinde de anlamlı bir sonuç vermemiştir (Resim 7.30 ve Resim 7.31). Dorcheh'in (2007) çalışmasında hız sonuçlarının değerlendirildiği 4.4 kesitine karşılık gelen $x=8,70$ m en kesitinde hızların 0 cm/s ile 21,01 cm/s değerleri arasında değiştiği görülmüştür. En kesit genelinde ise kanal tabanına yakın yerlerde hızın 5 cm/s civarlarında değerler aldığı ve daha üst noktalarda hızın 2 cm/s değerine kadar azaldığı görülmüştür. Normalde hızın, çubukların olduğu alt bölgede yavaş ve çubukların üst kısmından su yüzeyine doğru da artması beklenmektedir.

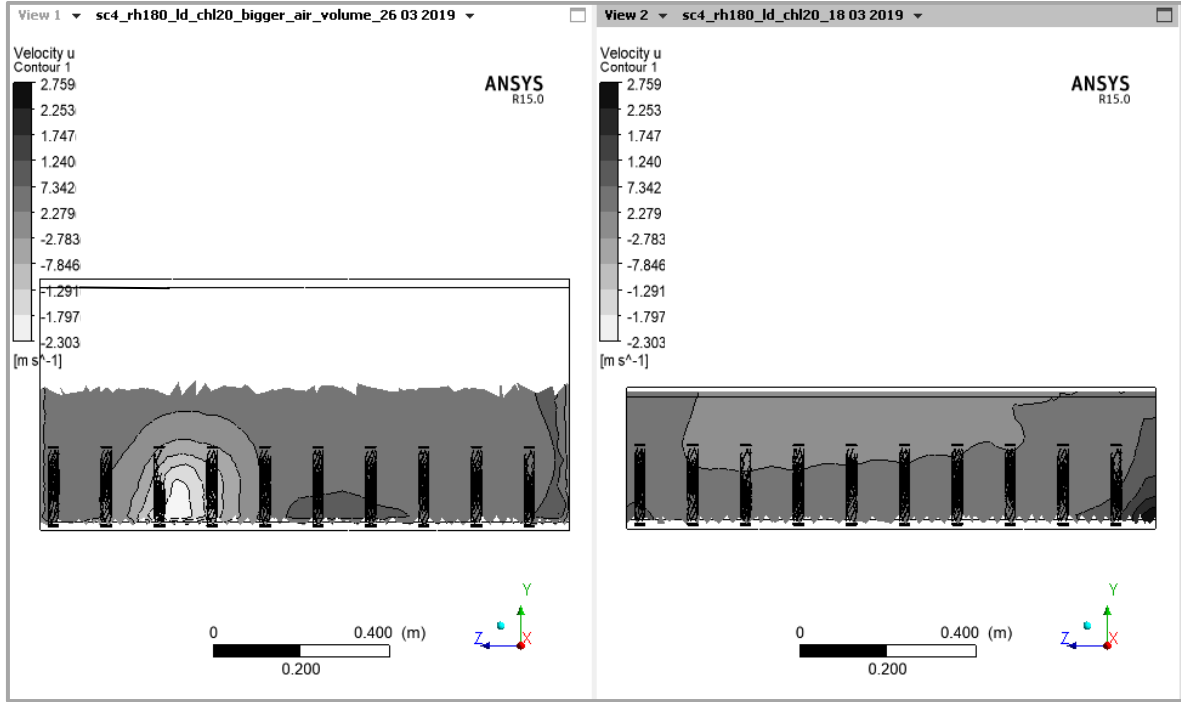


Resim 7.30. Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε]senaryosunda çubukların arasında yer alan en kesitte hız dağılımı, u(cm/s)



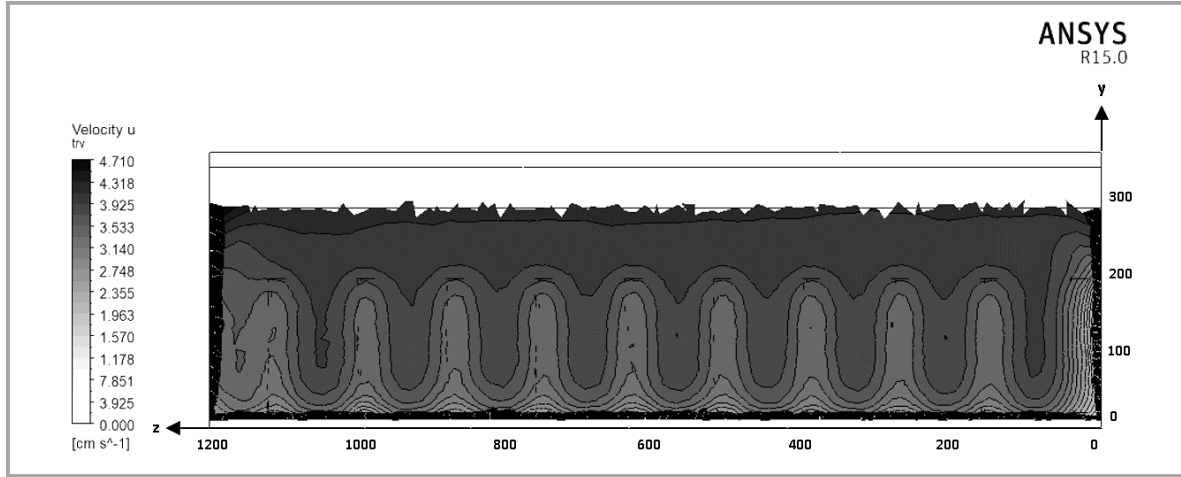
Resim 7.31. Dorcheh (2007) Az yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gele en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Bu analiz sonrasında aynı kanal geometrisinde bütün parametreler sabit kalmak şartıyla kanal geometrisi oluşturulurken su yüzeyi üzerinde atmosferik basıncı tanımlamak amacıyla oluşturulan hava hacmi artırılarak bu durumun analiz sonucu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda Sc4_02_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Trk[k-ε]_Biggerairvolume senaryosu hazırlanarak analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda hava hacmini artırmanın tutarsız bir hız dağılımı verdiği ve sonuçlar üzerinde olumlu hiçbir etkisi olmadığı görülmüştür (Resim 7.32).



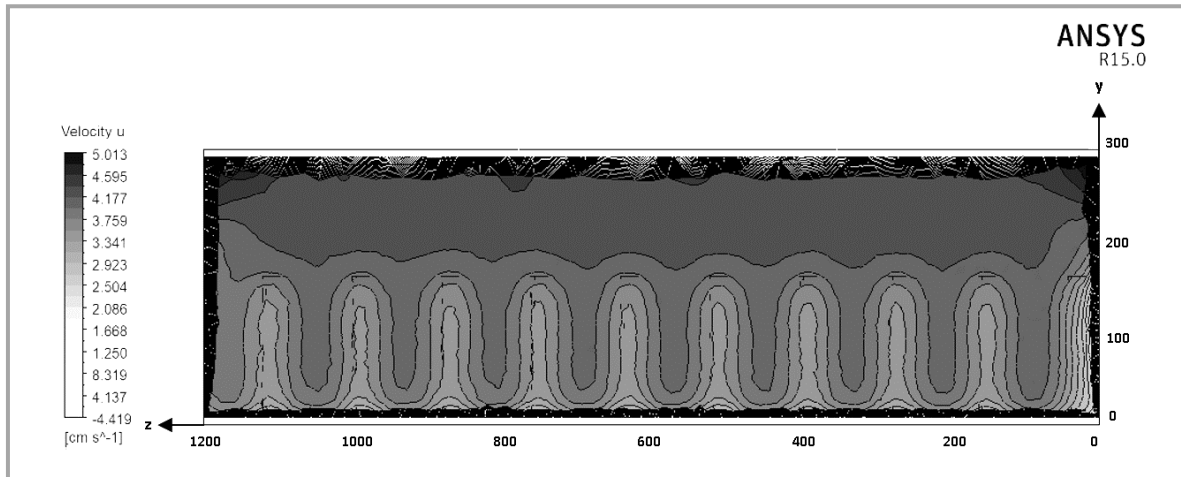
Resim 7.32. Sc4_02_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[b-k-ε]_ Biggerairvolume senaryosu ile Sc4_01_Fv_Rh180_Ld_Ch.L20_Tr[b-k-ε] senaryosunda hız dağılımlarının karşılaştırılması

Sc_4 senaryolarında artırılmış hava hacminin herhangi bir olumlu etkisi olmaması sebebiyle batmış bitki örtüsü içeren akım durumunun daha fazla araştırılması amacıyla 20 metre boyundaki kanalın tam ortasına denk gelecek şekilde 20 adet çubuk 2 sıra şeklinde yeni bir geometri oluşturulmuştur. Oluşturulan geometri ve çözüm ağı görselleri daha önceki senaryolardakilere benzer niteliklerde olduğundan farklı yapıda bir geometri ya da çözüm ağı görseli oluşturulmadıkça burada paylaşılmamıştır. Oluşturulan çözüm ağı 1 068 112 elemandan meydana gelmiştir. Analiz sonucunda çubukların hemen öncesinde alınan en kesitte Resim 7.33'te görüldüğü şekilde bir hız dağılımı oluşmuştur. En kesitte hızların 0 cm/s ile 4,710 cm/s arasında değiştiği görülmüştür. Kanal ortasında yerleştirilen 20 çubukla yapılan bu analizde elde edilen akım davranışının Dorcheh'in (2007) sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür (Bkz. Resim 7.31).

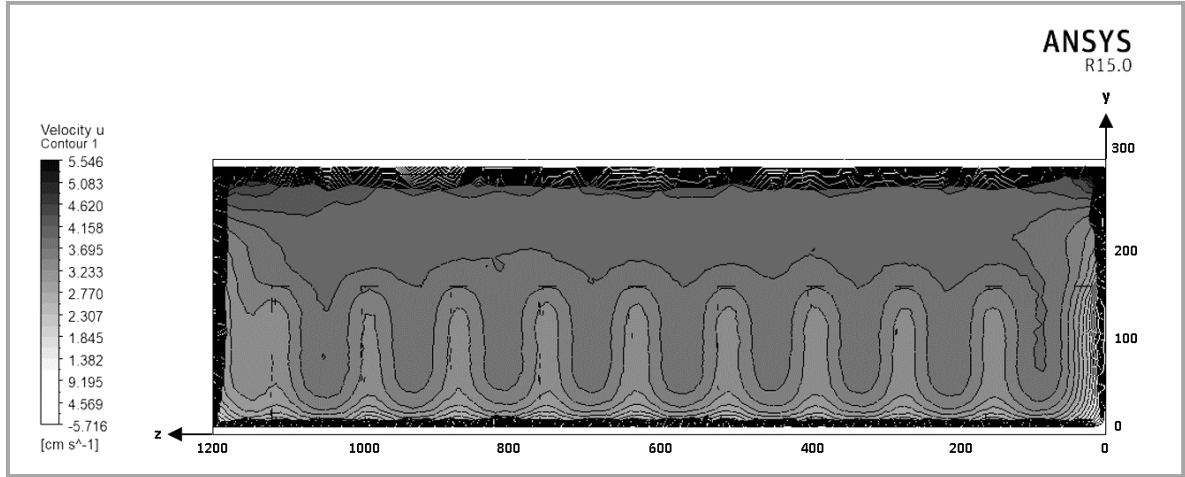


Resim 7.33. Sc4_03_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trbl[k- ϵ] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

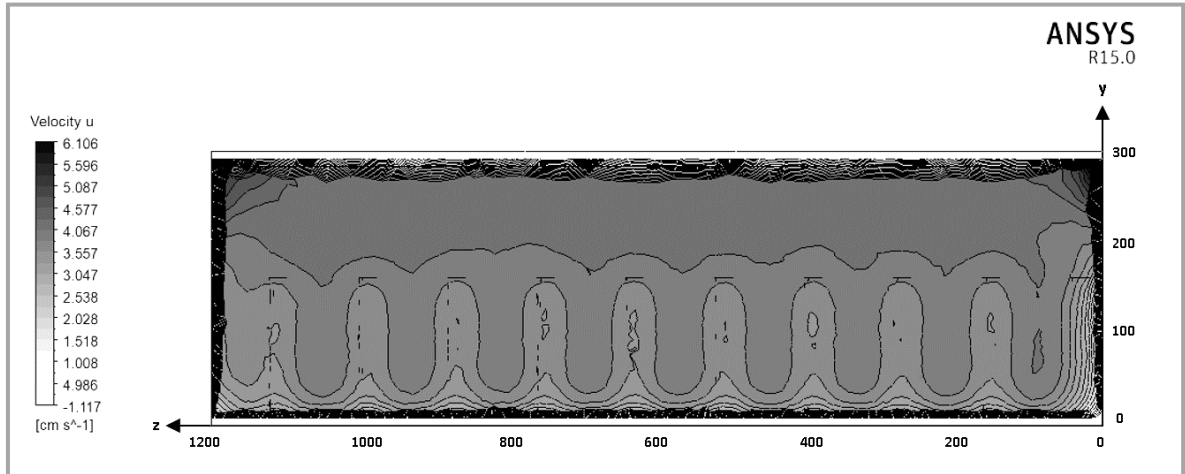
Farklı türbülans modellerinin batmış durum senaryoları üzerindeki etkilerinin araştırılması için Sc4_03_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trbl[k- ϵ] senaryosundaki türbülans modeli hariç bütün diğer parametreler sabit tutularak k- ϵ Realizable, k- ϵ RNG ve k- ω türbülans modelleri için 3 yeni analiz daha gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen hız dağılımları k- ϵ Realizable, k- ϵ RNG ve k- ω türbülans modelleri için sırasıyla Resim 7.34, Resim 7.35 ve Resim 7.36’da verilmiştir. Resim 7.37’de farklı türbülans modelleri ile elde edilen hız dağılımlarının bir karşılaştırması sunulmuştur.



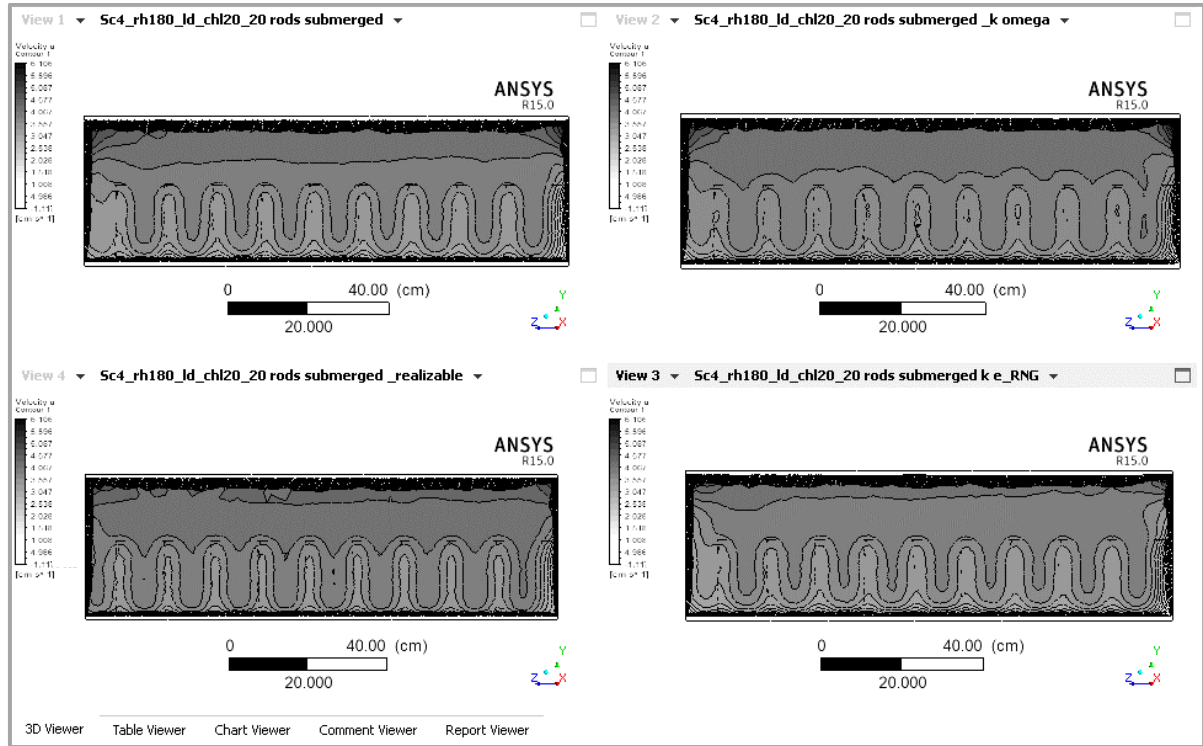
Resim 7.34. Sc4_04_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trbl [k- ϵ Realizable] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.35. Sc4_05_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k- ϵ RNG] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

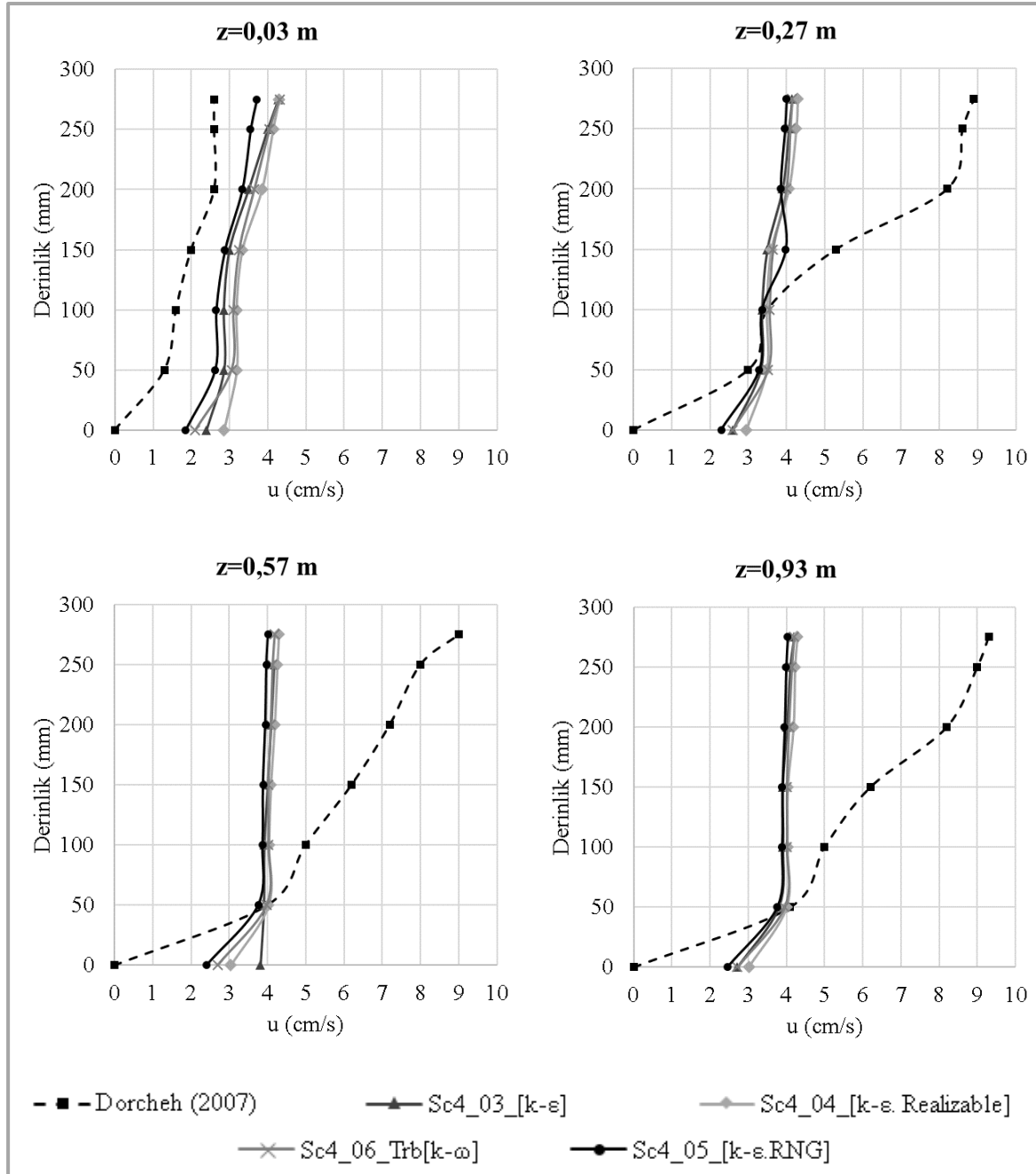


Resim 7.36. Sc4_06_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k- ω] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.37. Farklı türbülans modelleri ile elde edilen boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Farklı türbülans modelleri ile elde edilen hız dağılımlarının çubuklar öncesi en kesitte ve $z=0,03$ m, $z=0,27$ m, $z=0,57$ m ve $z=0,93$ m kesimlerindeki değerlerinin birbirleri ile ve Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki sonuçlarla karşılaştırması Şekil 7.6'da verilmiştir. Sc4_03_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[k- ϵ] senaryosu için türbülans modelinin değiştirilmesinin hız dağılımı üzerinde kayda değer bir etkisi görülmemiştir. Kanal duvarı yakınındaki $z=0,03$ m hariç diğer kesimlerde hemen hemen aynı hızlar elde edilmiştir. $z=0,03$ m kesimi kanal duvarı ile ilk çubuğun arasında yer almaktadır. Dolayısıyla sürtünme ve türbülans etkilerinin en yoğun gözlenebileceği kesim olduğundan burada türbülans modellerinin diğer kesimlere nazaran sonuçlar üzerinde daha belirgin olacağı düşünülmektedir.

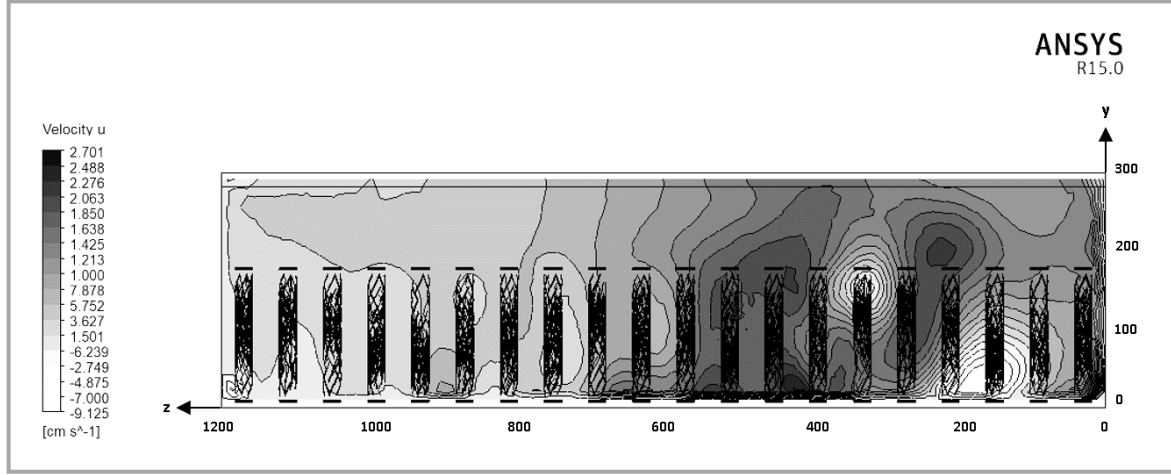


Şekil 7.6. Sc4_03/04/05/06 senaryolarında farklı türbülans modelleri ile yapılan analiz sonuçlarında çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in (2007) sonuçları ile karşılaştırılması

Sc5 Senaryolarının değerlendirilmesi

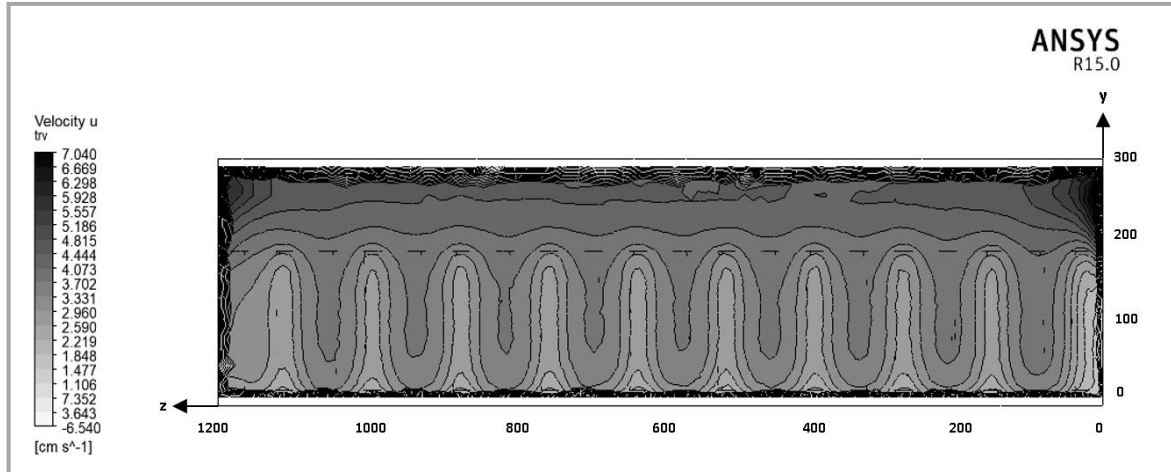
Orta yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren durum için iki senaryo çalışılmıştır. Sc5_01_Fv_Rh180_Md_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda 20 metre uzunluğundaki kanala 600 adet çubuk şaşırtmalı şekilde ve kanalın 6'ncı metresinden başlanılarak yerleştirilmiştir. Bu kanal geometrisi için oluşturulan çözüm ağında eleman boyutu 100 mm olarak

tanımlanmış ve toplamda 5 206 322 elemana sahip bir çözüm ağı elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen hız verileri Dorcheh'in (2007) sonuçları ile benzerlik göstermediği gibi kendi içinde de anlamlı sonuç vermemiştir. $x=8,75$ m en kesitinde hızların $-9,125$ cm/s ile $27,01$ cm/s değerleri arasında değiştiği görülmüştür. En kesit genelinde de beklenen şekilde bir akım davranışı oluşmadığı görülmüştür (Resim 7.38).



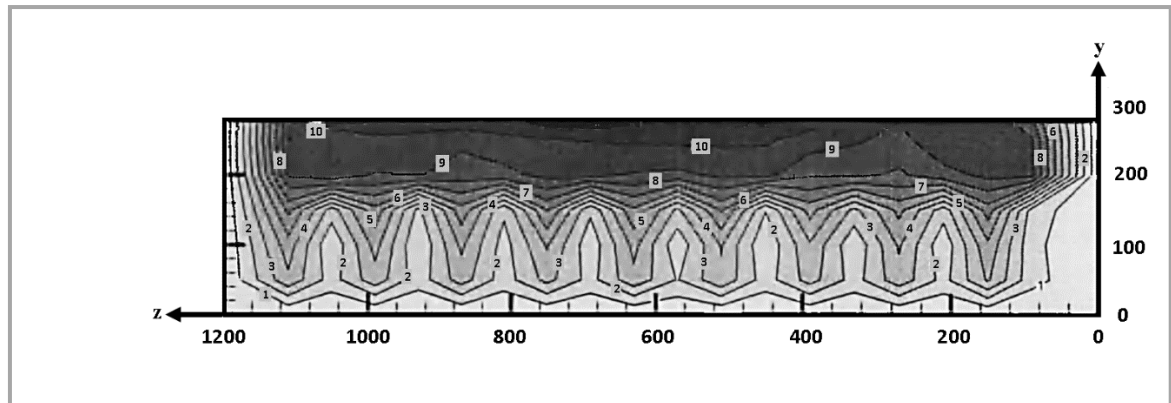
Resim 7.38. Sc5_01_Fv_Rh180_Md_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Çözüm ağının çok karmaşık bir yapıda olması sebebiyle Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosunda 20 metre uzunluğundaki kanalda 20 adet çubuk şaşırtmalı olarak ve kanalın tam ortasına gelecek şekilde yeni bir geometri oluşturulmuştur. Bu geometri için oluşturulan çözüm ağı 996 201 elemandan meydana gelmiştir. Analiz sonucunda $x=9,90$ m'de yer alan en kesitten elde edilen boyuna doğrultudaki hızların 0 cm/s ile $7,040$ cm/s arasında değiştiği görülmüştür (Resim 7.39).



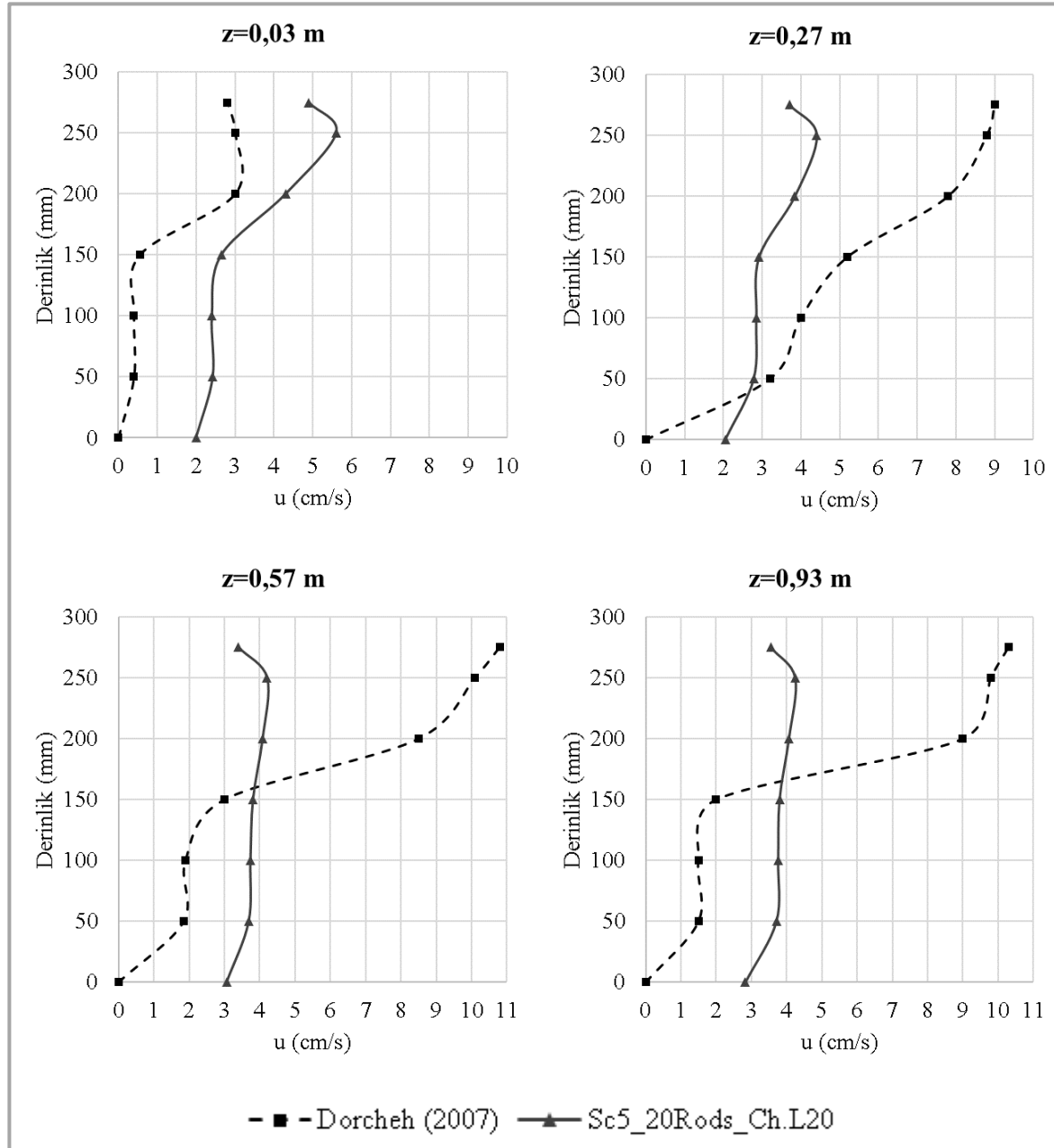
Resim 7.39. Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Analiz sonucunda Dorcheh'in (2007) deney sonuçlarına nispeten daha düşük hız değerleri elde edilmiş olmasına rağmen genel olarak uyumlu bir akım davranışı elde edildiği görülmüştür (Bkz. Resim 7.39 ve Resim 7.40). Dorcheh'in (2007) çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitte ölçtüğü hızlar çubukların üst noktaları ile su yüzeyi arasında 4 cm/s değerinden 10 cm/s değerine kadar artmıştır. ANSYS Fluent yazılımı ile 20 çubuğun kanal ortasına yerleştirilmesiyle elde edilen hız dağılımında ise çubuk yüksekliğine kadar olan kısımlarda hızların 0 cm/s ile 3 cm/s arasında değerler aldığı, çubuk üst noktalarından su yüzeyine kadar ise hızda artış eğilimi görülerek 3 cm/s değerinin üzerinde değerler aldığı görülmüştür.



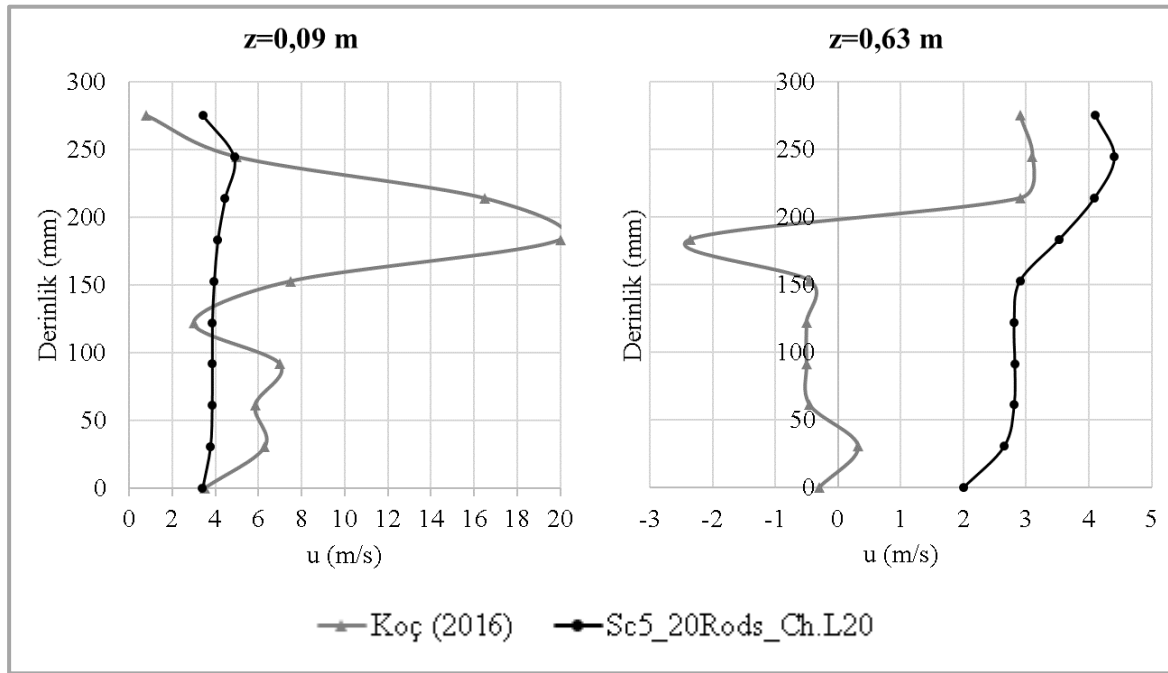
Resim 7.40. Dorcheh (2007) Orta yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

ANSYS Fluent yazılımı ile elde edilen hız dağılımlarının $z=0,03$ m, $z=0,27$ m, $z=0,57$ m ve $z=0,93$ m kesimlerindeki değerlerinin Dorcheh'in (2007) sonuçları ile karşılaştırması Şekil 7.7'de verilmiştir. Analiz sonucu elde edilen $z=0,03$ m ve $z=0,27$ m kesimlerinde çubuk üst noktalarından su yüzüne doğru hızın arttığı açıkça görülürken çubuk arkasına ve çubukların arasına denk gelen $z=0,57$ m ve $z=0,93$ m kesimlerinde bu artışlar daha az olmuştur.

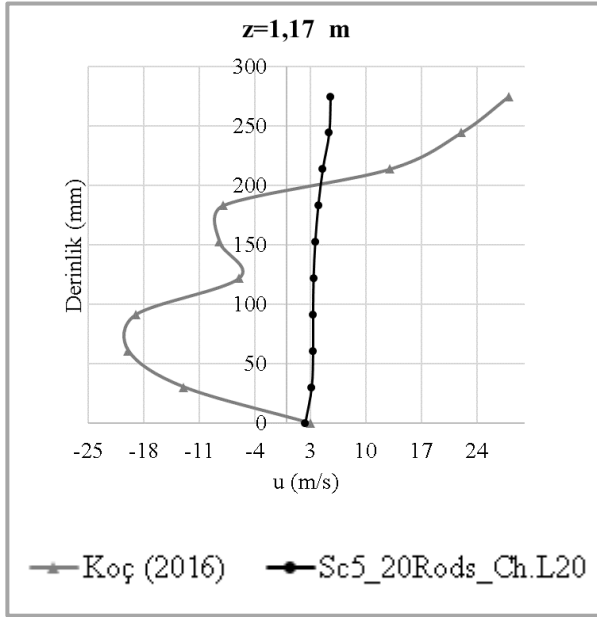


Şekil 7.7. Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in (2007) sonuçları ile karşılaştırılması

Koç (2016), orta yoğunluklu batmış bitki örtüsü analizini ANSYS CFX yazılımı ile 10 metre uzunluğunda bir kanal ortasında 20 çubuk olacak şekilde gerçekleştirmiş ve hız sonuçlarını $x=0,05$ m’de bulunan $z=0,09$ m, $z=0,63$ m ve $z=1,17$ m kesimlerinde incelemiştir. ANSYS Fluent yazılımı ile Sc5_02_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]] analizinde aynı noktadaki hız dağılımı çıkarılarak Şekil 7.8’de Koç’un (2016) analiz sonuçları ile karşılaştırması verilmiştir. ANSYS Fluent yazılımı ile elde edilen sonuçlardan $z=0,09$ m ve $z=1,17$ m’de akım çubuk aralarına denk geldiğinden çubuk üst hizasından su yüzeyine kadar olan kesimdeki hızlarda az miktarda bir artış olup $z=0,63$ m’de akımın tam çubuk arkasına denk gelmesi sebebiyle bu kısımda hızların çubuk üst yüksekliği olan 180 mm’den sonra açık şekilde arttığı görülmüştür.



Şekil 7.8. Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Koç’un (2016) sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 7.8.(devam) Sc5_02_Fv_Rh180_20Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Koç'un (2016) sonuçları ile karşılaştırılması

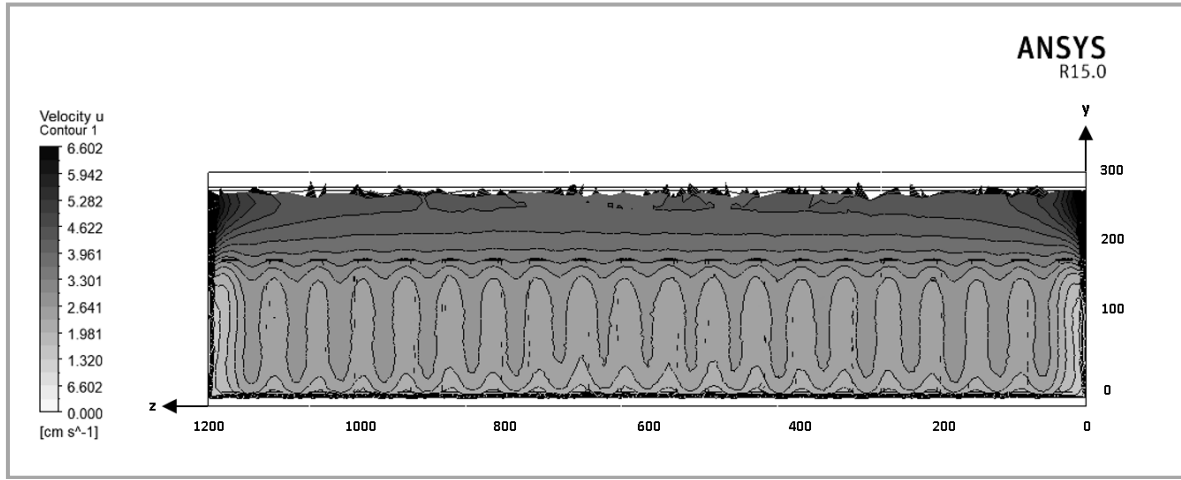
Sc6_Senaryolarının değerlendirilmesi

Batmış bitki örtüsü içeren senaryolarda son olarak yüksek yoğunluklu bitki örtüsü senaryoları çalışılmıştır. Sc6_01_Fv_Rh180_Hd_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda 20 metre uzunluğundaki kanalda 1200 adet çubuk yerleştirilmiştir. 100 mm eleman boyutu tanımlanarak toplam 3 501 050 eleman elde edilmiştir. Analiz sonucunda Dorcheh'in (2007) sonuçları ile benzer sonuçlar elde edilememiştir.

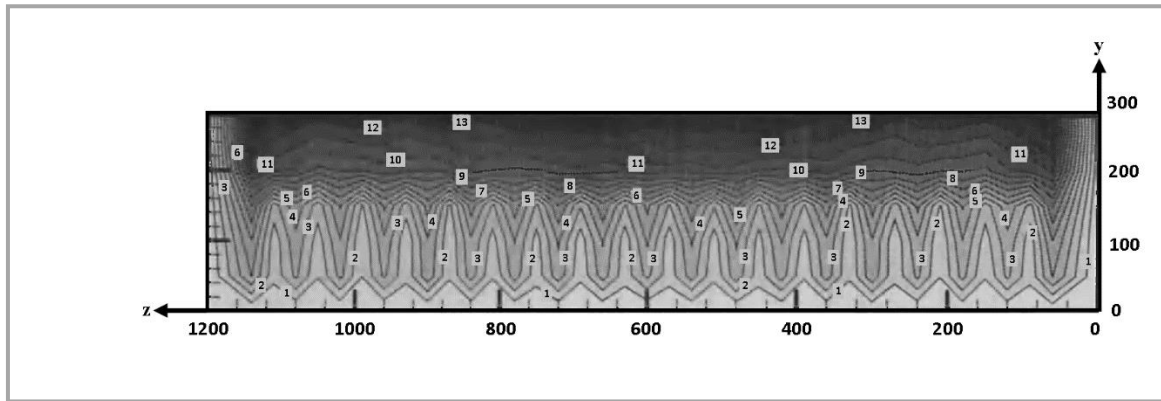
Tam çubuk sayısı ile gerçekleştirilen analizden, daha önceki senaryoların tam çubuk sayıları ile yapılan analizlerinde de olduğu gibi yeterli nitelikte sonuç elde edilemediğinden 20 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 40 adet çubuk 2 sıra olacak şekilde yerleştirilerek Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosu hazırlanmıştır. Oluşturulan çözüm ağı 1 495 876 elemandan meydana gelmiştir.

Analiz sonucunda elde edilen, çubuklar orta bölgesinde kanal en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı Resim 7.41'de verilmiştir. Bu en kesitte hızların 0 cm/s ile 6,602 cm/s arasında değiştiği görülmüştür. Analiz sonucunda Dorcheh'in (2007) deney sonuçlarına göre nispeten daha düşük hız değerleri elde edilmiş olmasına rağmen genel

olarak uyumlu bir akım davranışı elde edilmektedir (Resim 7.41 ve Resim 7.42). Dorcheh'in (2007) çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitte ölçtüğü hızlar çubukların üst noktalarından su yüzeyine doğru 5 cm/s değerinden 13 cm/s değerine kadar artmıştır. ANSYS Fluent yazılımı ile 20 çubuğun kanal ortasına yerleştirilmesiyle elde edilen hız dağılımında ise çubuk yüksekliğine kadar olan kısımlarda hızların 0 cm/s ile 3 cm/s arasında değerler aldığı, çubuk üst noktalarından su yüzeyine kadar olan kısımda ise hızda artış eğilimi görülerek 3 cm/s değerinin üzerinde değerler aldığı görülmüştür.



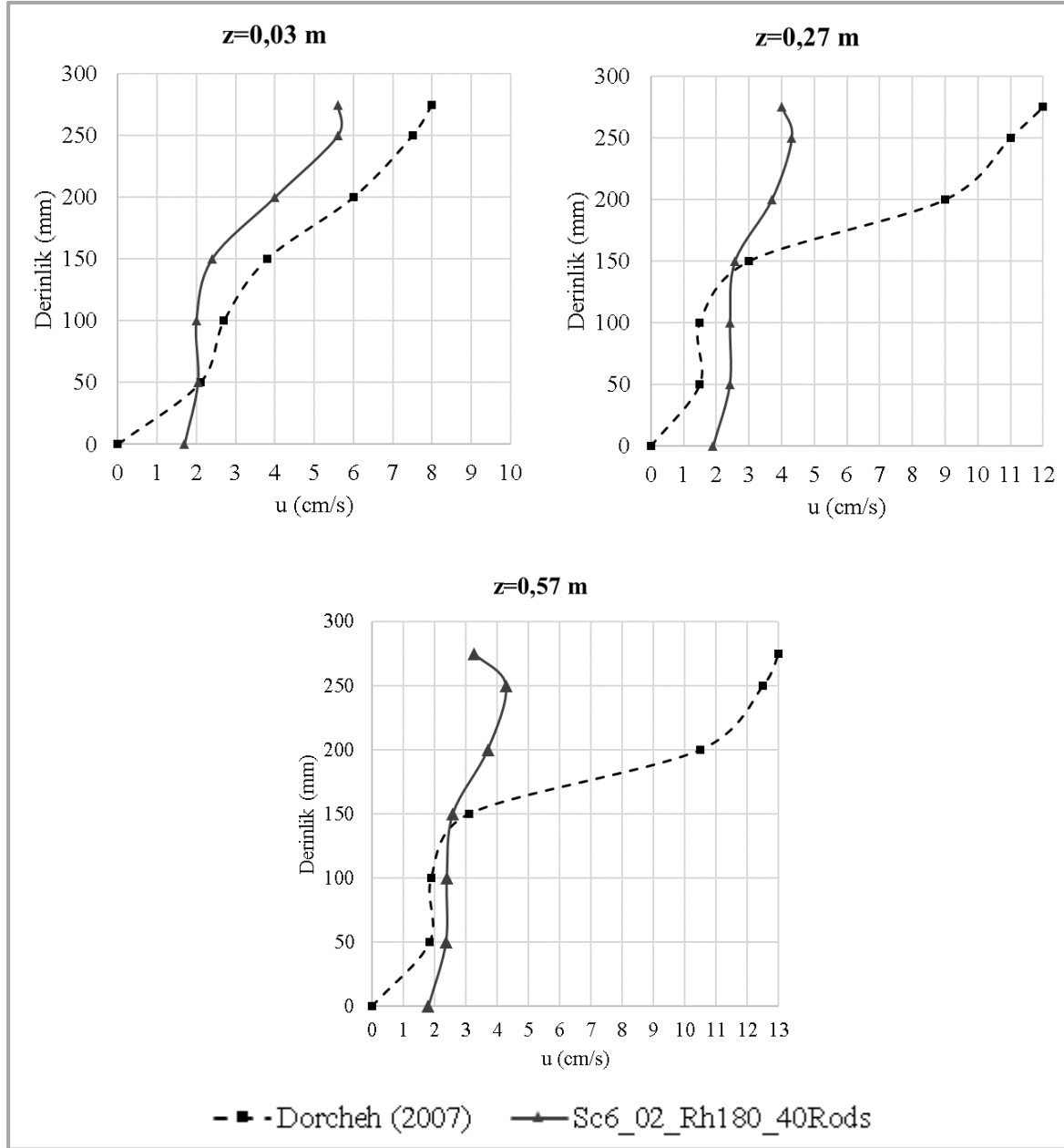
Resim 7.41. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.42. Dorcheh (2007) Yüksek yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Sc6 senaryolarında çubukların kanala yerleşimi simetrik bir dağılımda olduğundan çubuklar öncesi en kesitte alınan hız değerleri sadece $z=0,03$ m, $z=0,27$ m ve $z=0,57$ m kesimlerinde alınmış $z=0,93$ m kesiminde alınmamıştır (Şekil 7.9). $z=0,03$ m kesiminde deney sonuçları

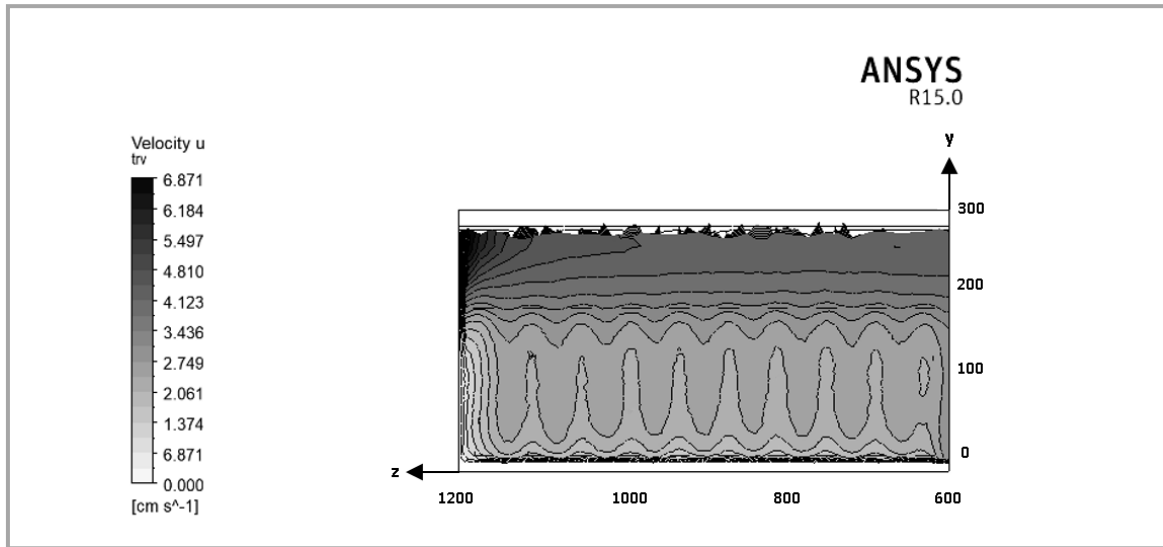
ile çok yakın hız değerleri elde edilmiştir. $z=0,27$ m ve $z=0,57$ m kesimlerinde ise deney sonuçlarına göre daha düşük hız sonuçları elde edilmiş ancak akım davranışı açısından çubuk üst noktalarından itibaren hızların arttığı gözlenmiştir (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubukların öncesinde yer alan en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımlarının Dorcheh'in (2007) sonuçları ile karşılaştırılması

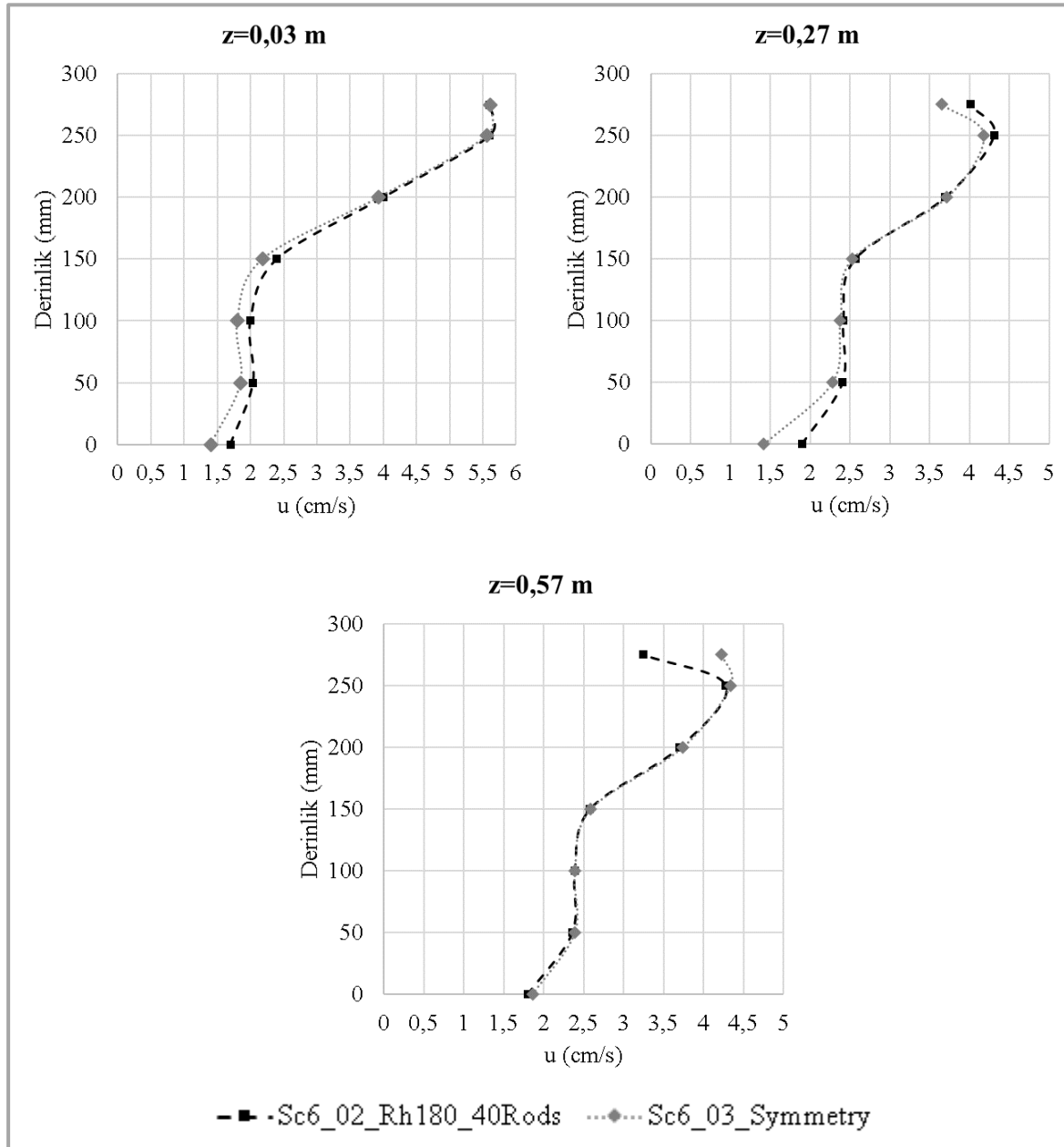
Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε] senaryosunda ANSYS Fluent yazılımının simetrik çözüm özelliğinin kullanılması amacıyla Sc6_03_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[b[k-ε]_Symmetry senaryosu hazırlanmıştır. Bu

senaryoda çözüm ağı 755 568 elemandan meydana gelmiştir. Simetrik olmayan kanalın çözüm ağında toplam 1 495 876 eleman oluşturulmuştur. Simetri eksenini ile yürütülen analizde ANSYS Fluent yazılımı bu çözüm ağının yarısından biraz daha fazla eleman oluşturmuştur. Analiz sonucunda çubuklar öncesi en kesitte tam kanal kesitinde elde edilen hız dağılımına çok uyumlu bir hız dağılımı elde edilmiştir. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] senaryosunun analizi sonucu çubuklar öncesi en kesitte elde edilen hızlar 0 cm/s ile 6,602 cm/s arasında değerler alırken (Bkz. Resim 7.41) Sc6_03_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Trk[k-ε]_Symmetry senaryosunun analizi sonucunda aynı en kesitte 0 cm/s ile 6,871 cm/s hız değerleri elde edilmiştir (Resim 7.43).



Resim 7.43. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Trk[k-ε] Symmetry senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Simetrik olmayan ve simetrik çözüm sonucu çubuklar öncesi en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,27$ m ve $z=0,57$ m kesimlerinde elde edilen hızların derinlik boyunca değişimleri Şekil 7.10'da verilmiştir. Grafiklerde hız dağılımlarının hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Simetrik çözüm için ANSYS Fluent tarafından oluşturulan çözüm ağının eleman sayısının, simetrik olmayan tam kesitli kanalın çözüm ağındaki eleman sayısının yarısından daha fazla olmasının aynı noktalarda farklı hız değerlerinin saptanmasına sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.10. Sc6_02_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[k-ε] senaryosu ile Sc6_03_Fv_Rh180_40Rods_Ch.L20_Tr[k-ε]_Symmetry senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte hız dağılımlarının karşılaştırılması

Genel olarak batmış bitki örtüsü içeren senaryolarda ANSYS Fluent tarafından otomatik oluşturulan çözüm ağlarında bile batmamış bitki örtüsü içeren senaryolara göre daha karmaşık çözüm ağlarının oluşturulduğu görülmüştür. Bitki örtüsü ile su hacmi arasında oluşan ara kesitin artmış olmasının çözüm ağını daha karmaşık hale getirdiği ve eleman sayılarını artırdığı değerlendirilmektedir.

Batmış bitki örtüsü içeren Sc4, Sc5 ve Sc6 senaryolarının tam çubuk sayıları ile yürütülen analizlerinden tutarlı sonuçlar alınamamış ve 20 m uzunluğundaki kanalın tam ortasına 2 sıra çubuk gelecek şekilde yeni geometriler oluşturulmuştur. Bu analizler neticesinde genel olarak Dorcheh'in (2007) deney sonuçları ile uyumlu akım davranışları elde edilmiştir.

Sc4 senaryosu üzerinde standart k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve k- ω türbülans modelleri karşılaştırılarak akım üzerindeki etkisi araştırılmış ancak kayda değer bir farklılık gözlenmemiştir. Ayrıca yine Sc4 senaryosunda açık kanal akımı üzerindeki atmosfer basıncını tanımlamak için oluşturulan hava hacmi artırılarak bunun akım üzerindeki etkisi araştırılmış fakat olumlu bir değişim gözlenmemiştir.

Sc4 ve Sc5 senaryolarında kanal geometrileri simetrik olmadığından ANSYS Fluent yazılımının simetrik çözüm özelliği sadece Sc6 senaryosunda çalıştırılmış ve elde edilen neticenin tam kesitli çözümle aynı olduğu görülmüştür.

7.2. Bir Tarafı Kısmi Olarak Bitki Örtüsü ile Kaplı Kanala Ait Analiz Sonuçları

Kanal kesitinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğu senaryoların analizlerinden elde edilen sonuçlara dayanılarak tam çubuk sayıları ile yürütülen analizlerden netice alınamadığı görülmüştür. En sağlıklı sonuçların çubuklar bölgesinde çözüm ağı eleman sayısı yoğunlaştırılan analizlerde elde edildiği belirlenmiştir. Bu sebeple bu bölümdeki senaryolarda sadece 10 metre uzunluğunda kanal geometrileri oluşturularak az ve orta yoğunluklu senaryolarda 20 çubuk ve yüksek yoğunluklu senaryolarda 40 çubuk kanal ortasında 4 sıra teşkil edecek şekilde kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

7.2.1. Batmamış bitki örtüsü ($R_h=300\text{mm}$) içeren analiz sonuçları

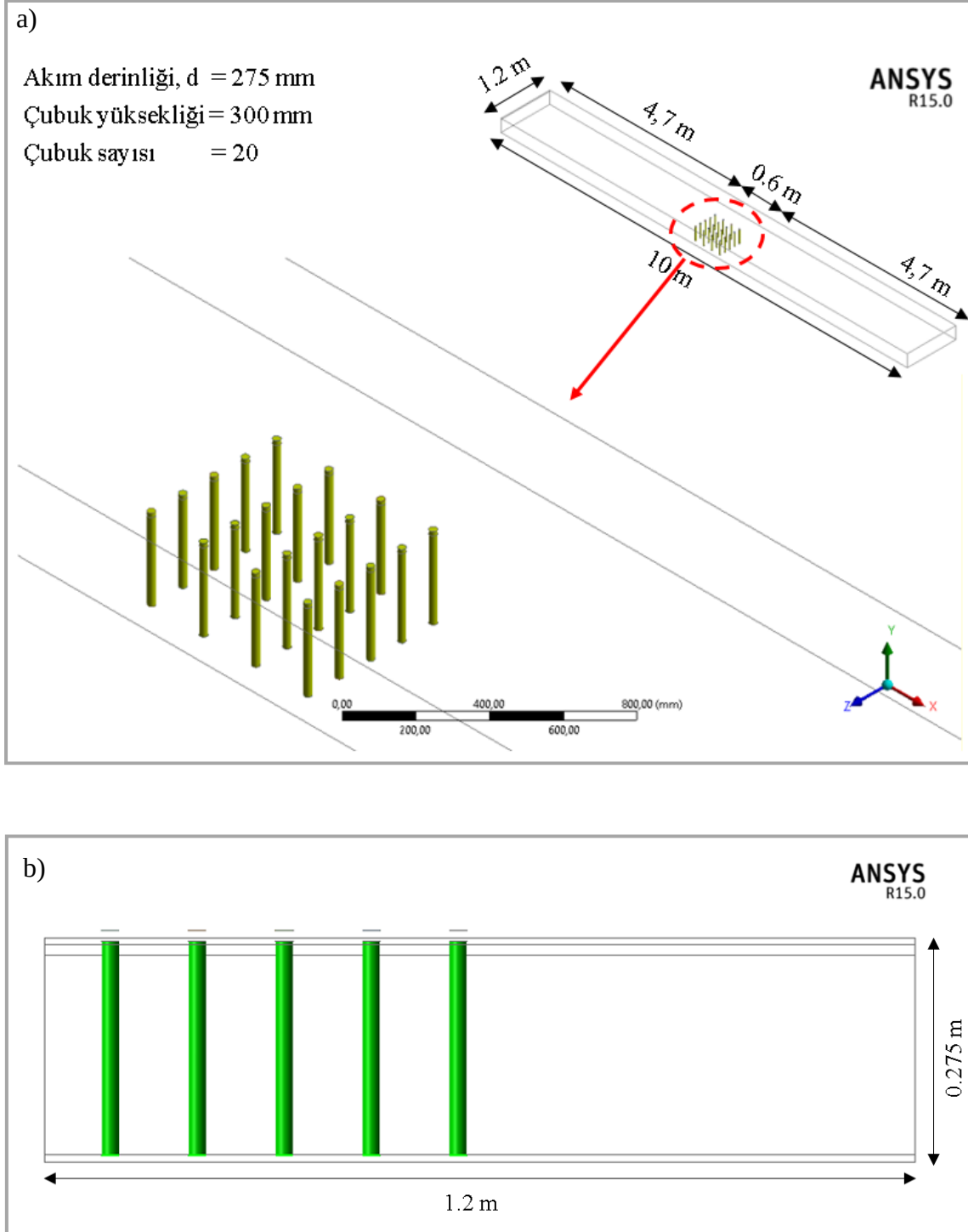
Kanal kesitinin kısmi olarak bir tarafının bitki örtüsü ile kaplı olduğu, çubuk yüksekliklerinin 300 mm olduğu ve çubuk üst noktalarının suyun dışında olduğu az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren senaryolar bu bölümde incelenmiştir. Batmamış bitki örtüsü içeren senaryolar için 3 analiz gerçekleştirilmiş olup bu senaryolara ilişkin ayrıntılar Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Bir tarafı kısmi olarak batmamış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar

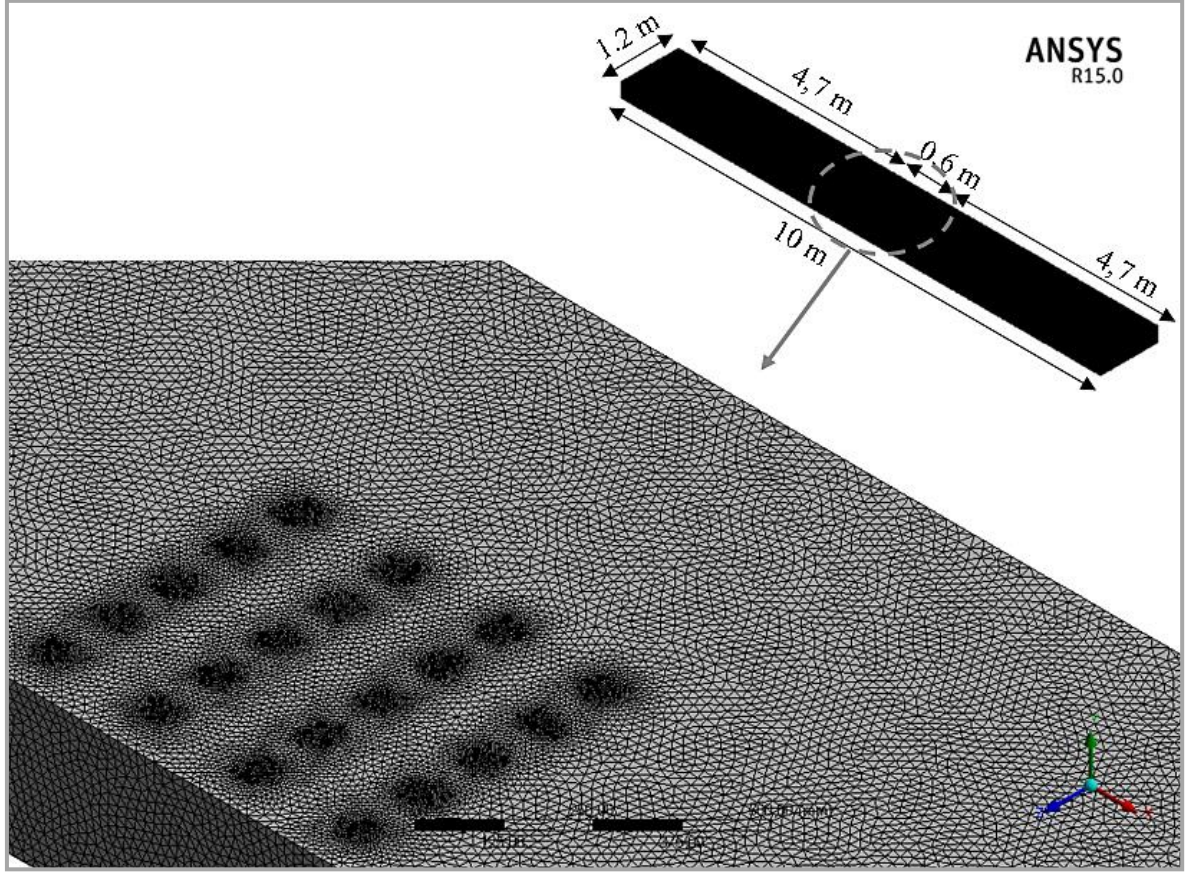
No:	Senaryo No:	Çözüm Ağında Bulunan Eleman Sayısı	Analizin Genel Sonucu
1	Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k- ϵ]	1 284 959	Deney sonuçları ile uyumlu.
2	Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k- ϵ]	1 214 709	Deney sonuçları ile uyumlu.
3	Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[k- ϵ]	1 844 755	Deney sonuçları ile uyumlu.

Sc7_Senaryosunun değerlendirilmesi

Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k- ϵ] senaryosunda 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 4 sıra halinde denk gelecek şekilde 20 çubuk yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.44). Bu ve sonraki senaryolarda kanal kesitinin bir yarısının kısmi olarak bitki örtüsü içerdiği kanal geometrileri çalışılmıştır (Resim 7.44 b)). Çözüm ağının oluşturulmasında eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 1 284 959 eleman elde edilmiştir (Resim 7.45).

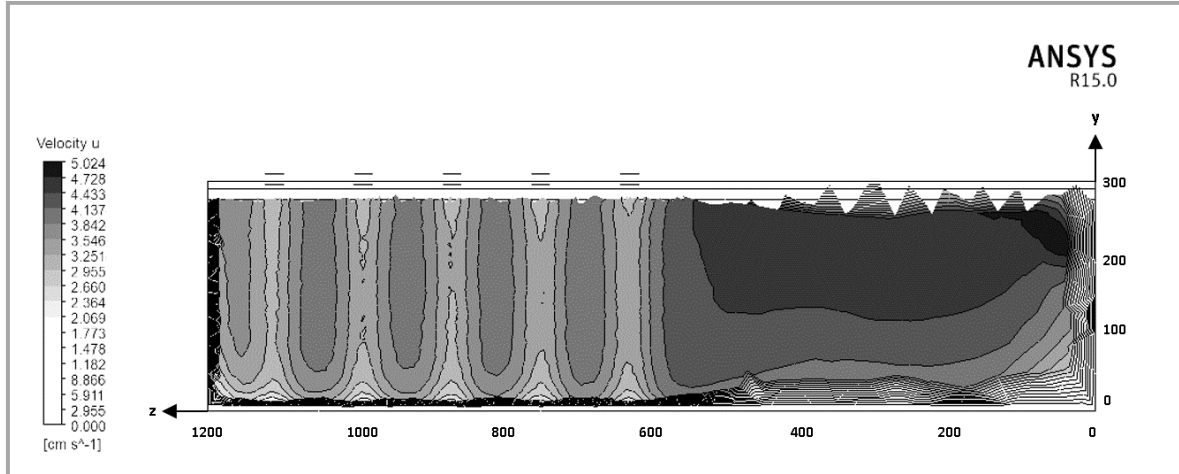


Resim 7.44. Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi:
 a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitin ön den görünüşü

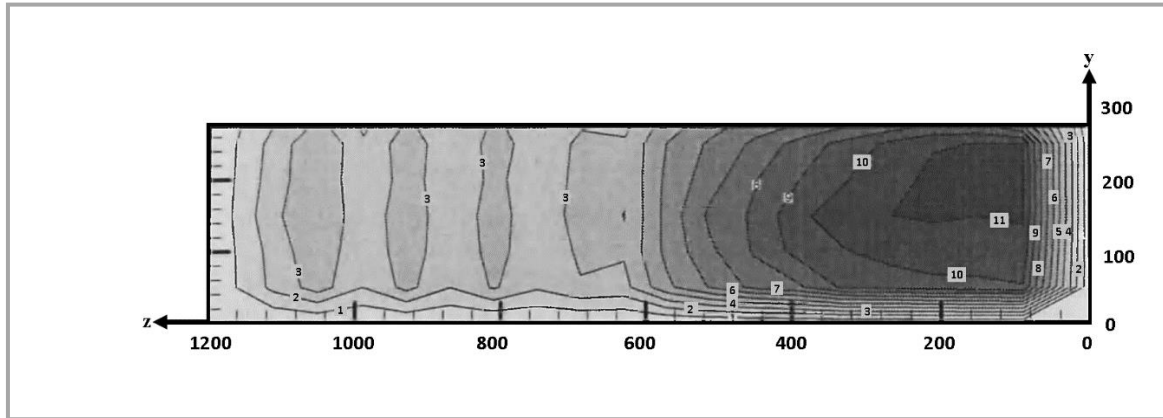


Resim 7.45. Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Gerçekleştirilen analiz neticesinde çubuklar arası en kesitte hızların 0 cm/s ile 5,024 cm/s arasında değerler aldığı görülmüştür. Kanalin bitki örtüsü içeren kısmında hızların; akımın çubuklara denk geldiği yerlerde yavaşladığı, çubuk aralarından hızlandığı ve bitki örtüsü içermeyen tarafın kanal duvarına doğru hızlandığı görülmüştür. Genel olarak en kesitteki akım davranışının Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki aynı kanal geometrisi sonuçları ile uyumlu olduğu ancak ANSYS Fluent ile elde edilen hızların nispeten daha düşük olduğu görülmüştür (Resim 7.46 ve Resim 7.47).

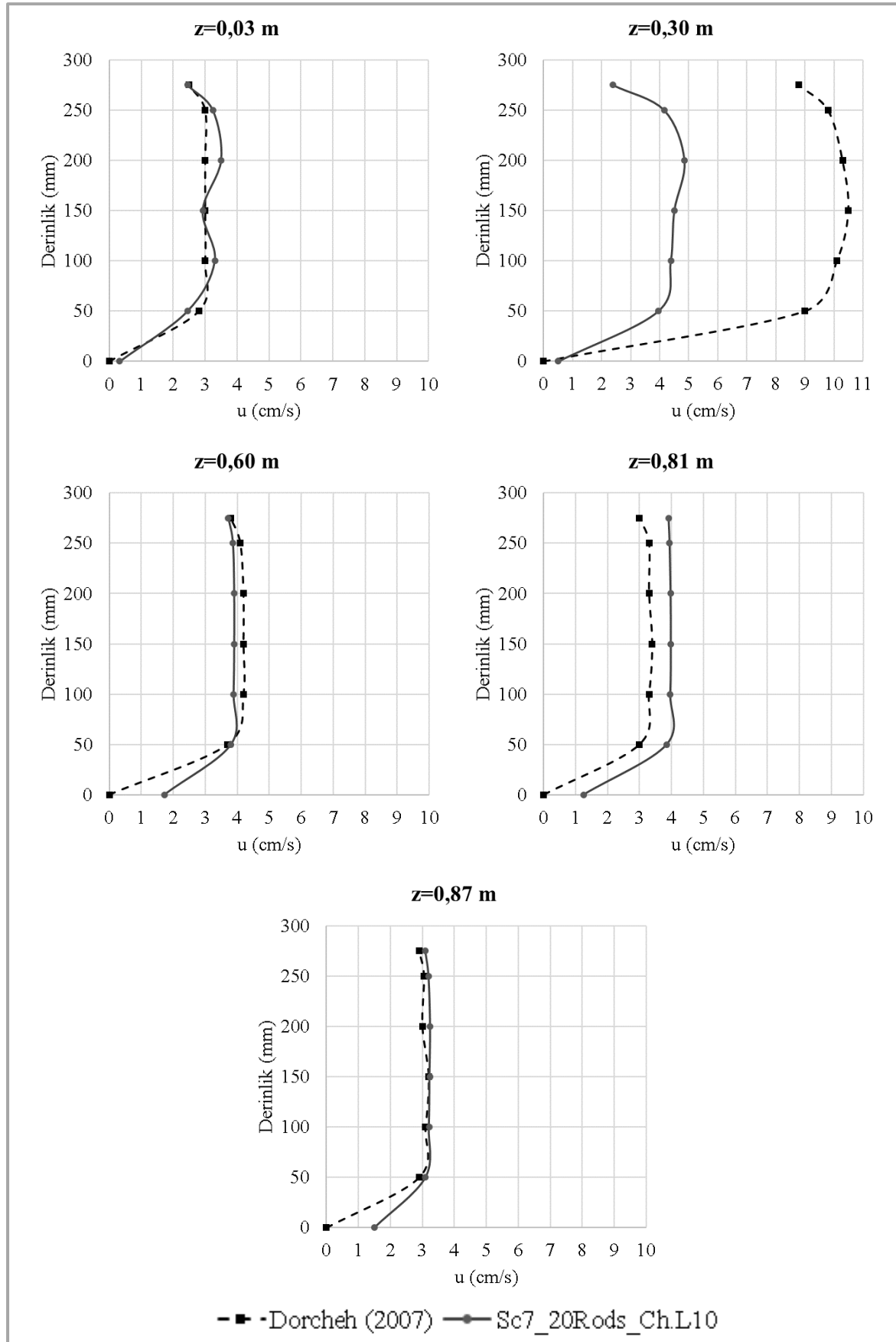


Resim 7.46. Sc7_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.47. Dorcheh (2007) Az yoğunluklu batmamış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

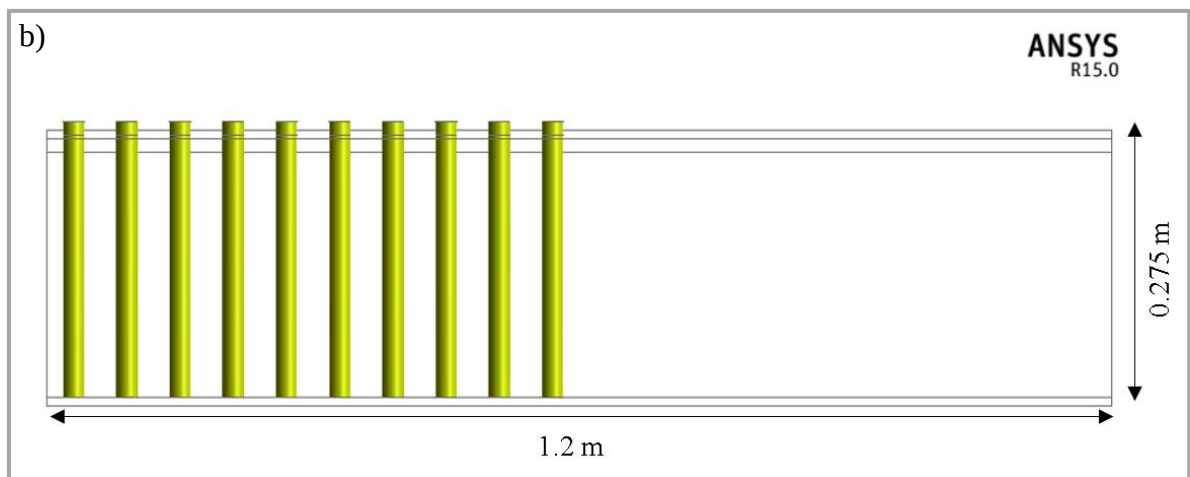
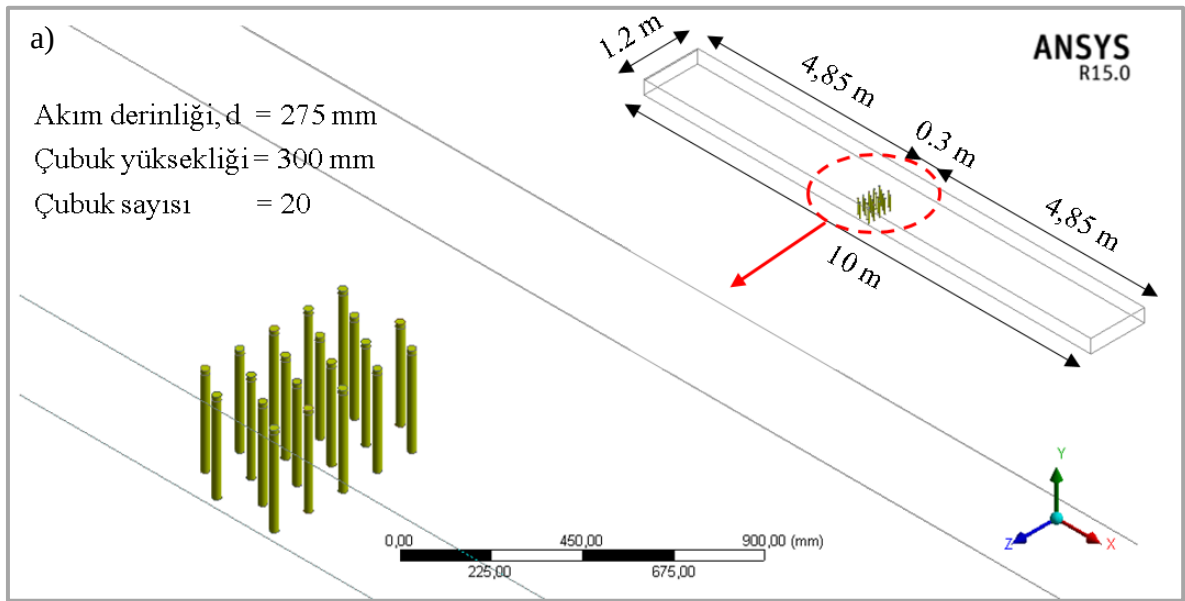
Çubuklar arası en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,30$ m, $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde hızın derinlik boyunca dağılımı Şekil 7.10'da Dorcheh'in (2007) aynı kesimlerdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak hepsinde de akım davranışının uyumlu ve hızların çok yakın olduğu ancak $z=0,30$ m kesiminde deney sonuçlarındaki hızların daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 7.11).



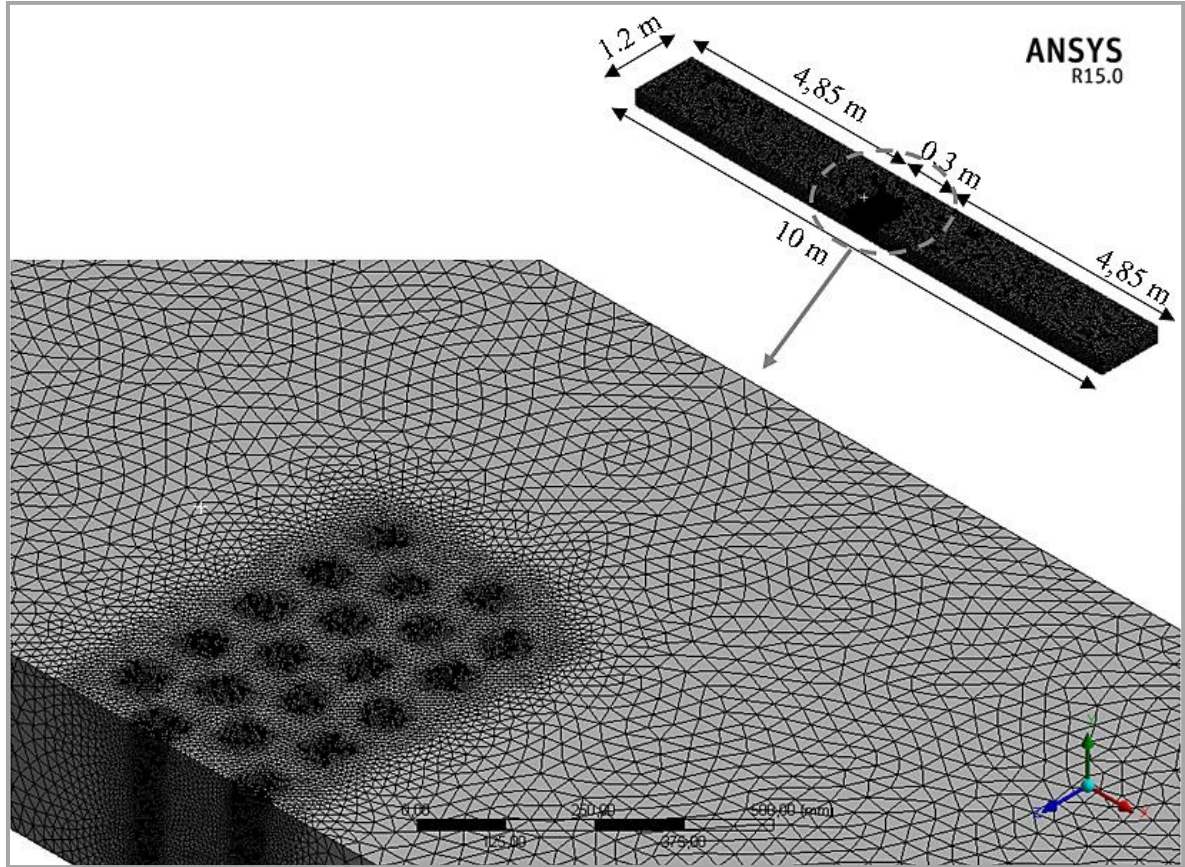
Şekil 7.11. Sc7 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması

Sc8_Senaryosunun değeriendirilmesi

Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 4 sıra halinde denk gelecek şekilde 20 çubuk şaşırtmalı olarak yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.48). Çözüm ağının oluşturulmasında eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 1 214 709 eleman elde edilmiştir (Resim 7.49).

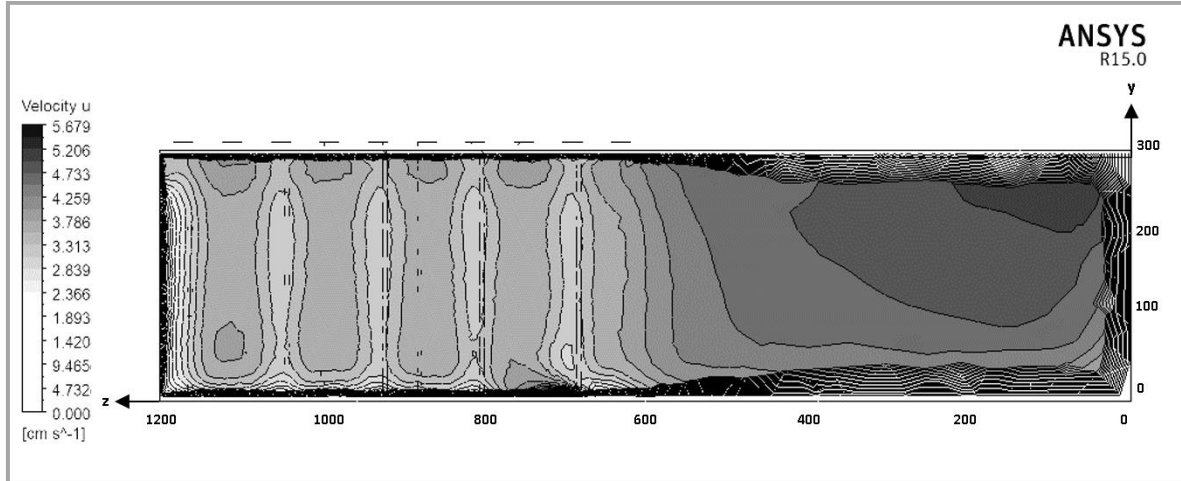


Resim 7.48. Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε]senaryosunda kanal geometrisi:
 a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü

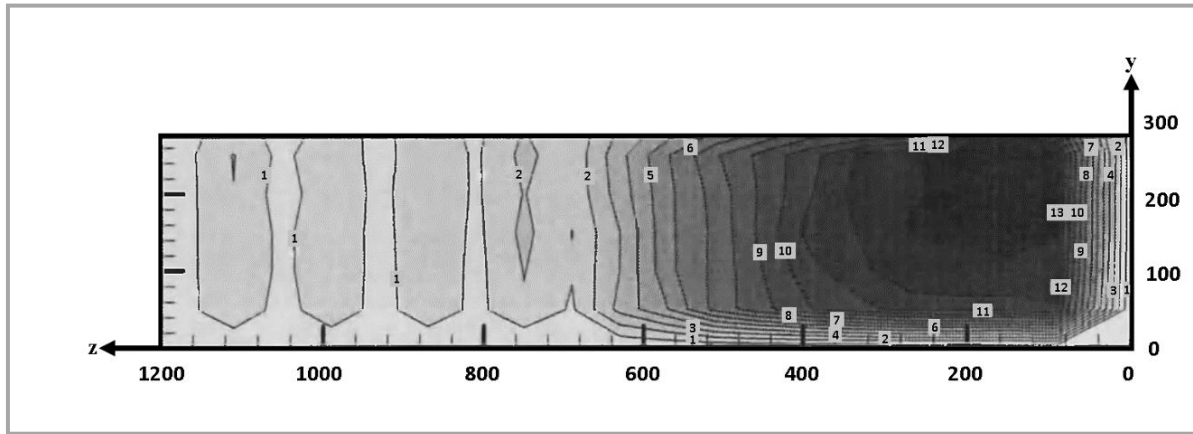


Resim 7.49. Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε]senaryosunda çözüm ağı

Analiz sonucunda çubuklar arası en kesitte hızların 0 cm/s ile 5,679 cm/s arasında değerler aldığı görülmüştür (Resim 7.50). Kanalin bitki örtüsü içeren kısmında hızların akımın çubuklara denk geldiği yerlerde yavaşladığı, çubuk aralarından nispeten hızlandığı ve bitki örtüsü içermeyen tarafın kanal duvarına ve su yüzeyine doğru hızlandığı görülmüştür. Genel olarak en kesitteki akım davranışının Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki aynı kanal geometrisi sonuçları ile uyumlu olduğu ancak ANSYS Fluent ile elde edilen hızların nispeten daha düşük olduğu görülmüştür (Resim 7.50 ve Resim 7.51).

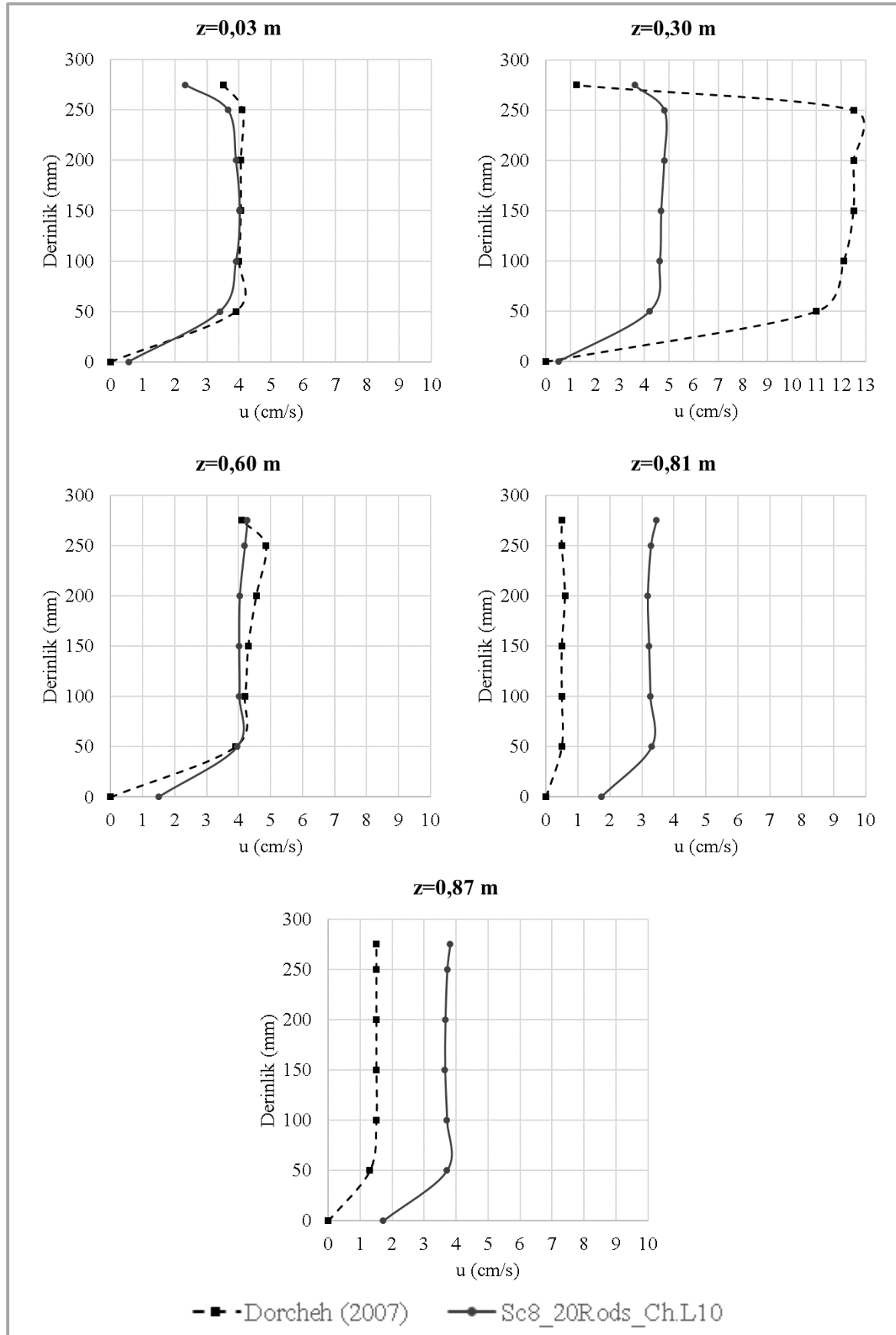


Resim 7.50. Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.51. Dorcheh (2007) Orta yoğunluklu batmamış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

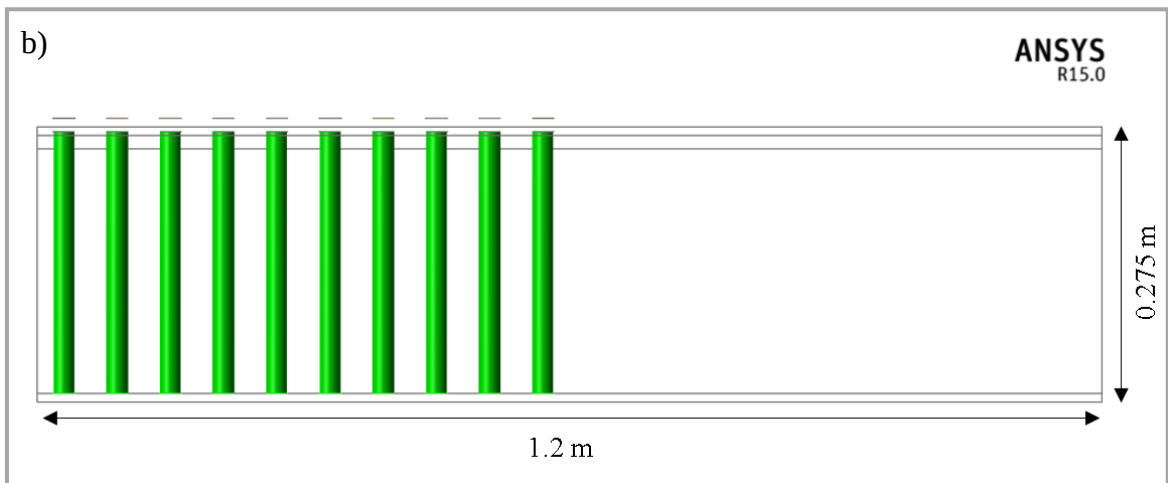
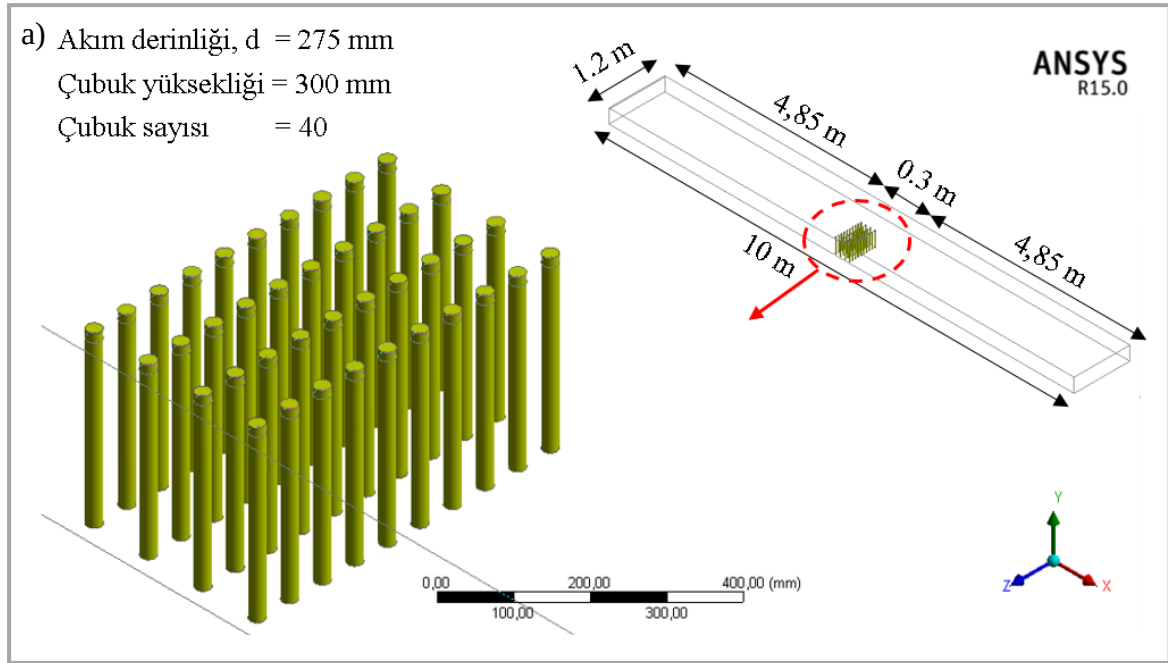
Sc8_01_Pv_Rh300_20rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çubuklar arası en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,30$ m, $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde hızın derinlik boyunca dağılımı Şekil 7.12’de Dorcheh’in (2007) aynı kesimlerdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak hepsinde de akım davranışının uyumlu olduğu ve $z=0,03$ m ile $z=0,60$ m kesimlerinde deney sonuçlarındaki hızlarla çok yakın olduğu görülmüştür. Çubuk arkasına denk gelen $z=0,81$ m ve çubuklar arasına denk gelen $z=0,87$ m kesimlerinde elde edilen hız değerleri deney sonuçlarına nazaran yüksek olmakla birlikte akım davranışı açısından deney sonucu ile aynı davranışı göstererek $z=0,87$ m kesiminde $z=0,81$ kesimine göre daha yüksek hızlar vermiştir.



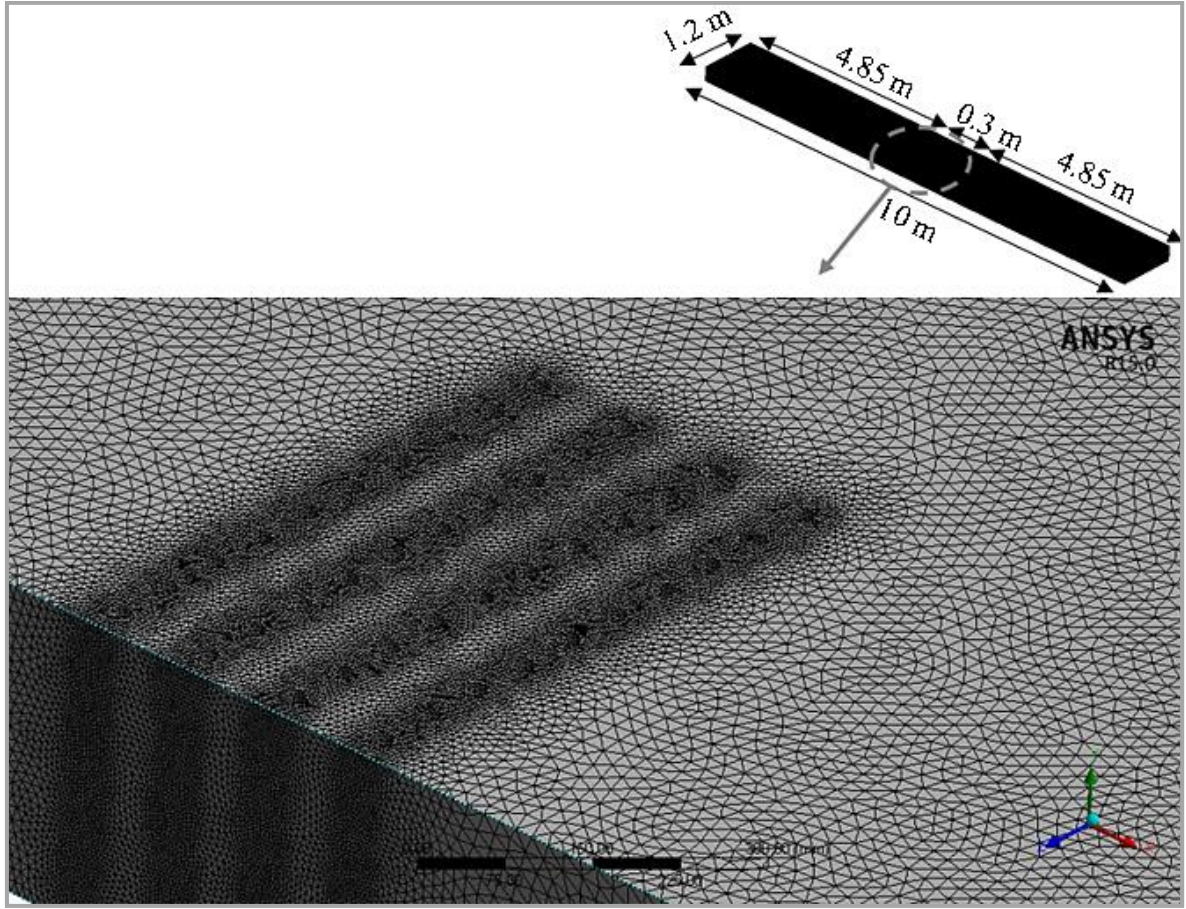
Şekil 7.12. Sc8 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması

Sc9_Senaryosunun değeriendirilmesi

Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 4 sıra halinde denk gelecek şekilde 40 çubuk yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.52). Çözüm ağının oluşturulmasında eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 1 844 755 eleman elde edilmiştir (Resim 7.53).

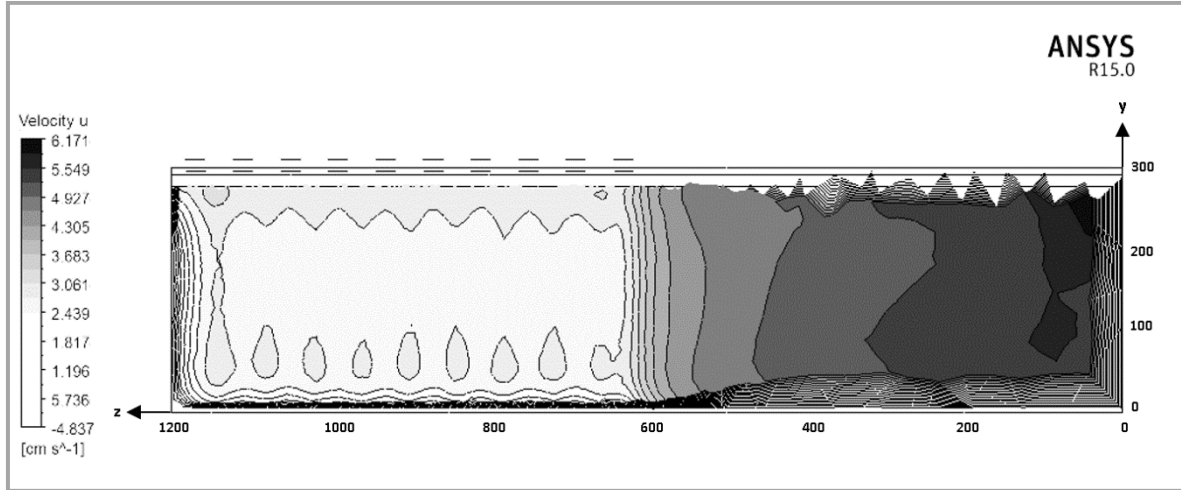


Resim 7.52. Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi:
 a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü

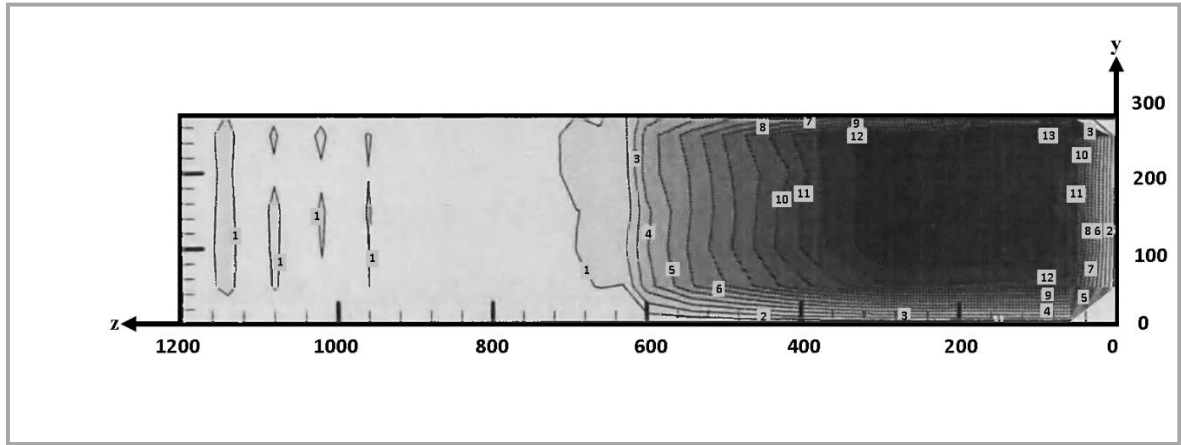


Resim 7.53. Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Tr[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Gerçekleştirilen analiz neticesinde çubuklar arası en kesitte hızların $-0,005 \text{ cm/s}$ ile $8,171 \text{ cm/s}$ arasında değerler aldığı görülmüştür (Resim 7.54). Kanalin bitki örtüsü içeren kısmında hızların genel olarak düşük olduğu ve akım bitki örtüsü içermeyen tarafın kanal duvarına doğru hızlanmaktadır. Genel olarak en kesitteki akım davranışının Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki aynı kanal geometrisi sonuçları ile uyumlu olduğu ancak ANSYS Fluent ile elde edilen hızların nispeten daha düşük olduğu kaydedilmiştir (Resim 7.54 ve Resim 7.55).



Resim 7.54. Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

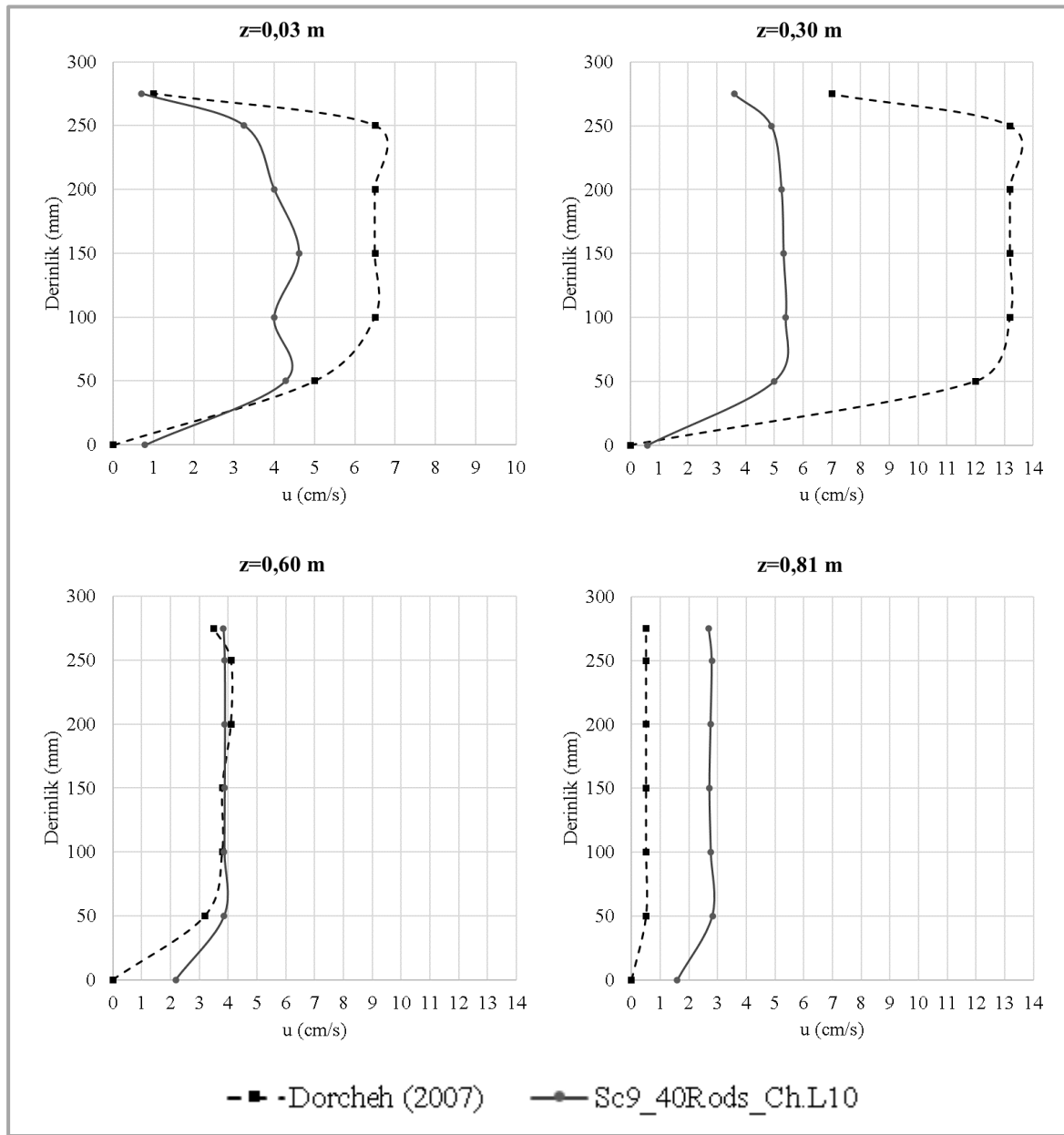


Resim 7.55. Dorcheh (2007) Yüksek yoğunluklu batmamış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

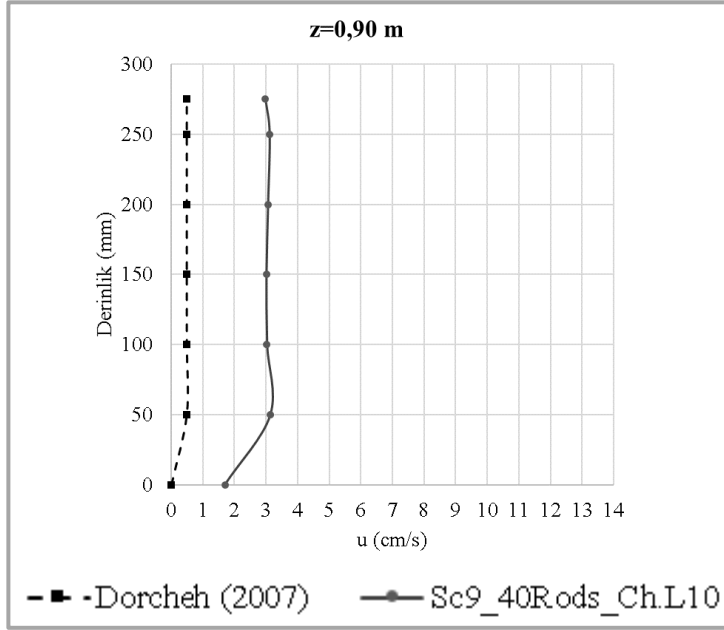
Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar arası en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,30$ m, $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,90$ m kesimlerinde hızın derinlik boyunca dağılımı Şekil 7.13'te Dorcheh'in (2007) aynı kesimlerdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak hepsinde de akım davranışının uyumlu olduğu ve kanal ortasına denk gelen $z=0,60$ m kesimlerinde deney sonuçlarındaki hızlarla çok yakın olduğu görülmüştür. Sc7_01 ve Sc8_01 analizlerinde çubuklar arasına denk gelen $z=0,87$ m kesimindeki hızların çubuk arkasına denk gelen $z=0,81$ m kesimindeki hızlara nazaran yüksek oldukları görülmüştür. Ancak, Sc9_01_Pv_Rh300_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda aynı en kesitteki çubuk yoğunluğunun fazla olması sebebiyle $z=0,81$ m ve $z=0,90$ m kesimlerinde

hızlar hem hemen hemen aynı çıkmıştır. Dorcheh'in (2007) çalışmasında da benzer durum gözlenmiştir.

Kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı olan 10 m uzunluğundaki kanalda 4 sıra çubukla yürütülen analizlerin sonuçlarının Dorcheh'in (2007) çalışmasında elde ettiği akım yapısı ile uyumlu olduğu ancak bitki örtüsü bulunmayan kısımdaki hızların deney sonuçlarına nispeten düşük olduğu görülmüştür. Her üç durum değerlendirildiğinde deney sonuçları ile en uyumlu sonuçlar az yoğunluklu kanal geometrisinde elde edilmiştir.



Şekil 7.13. Sc9 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 7.13.(devam) Sc9 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması

7.2.2. Batmış bitki örtüsü (Rh=180mm) içeren analiz sonuçları

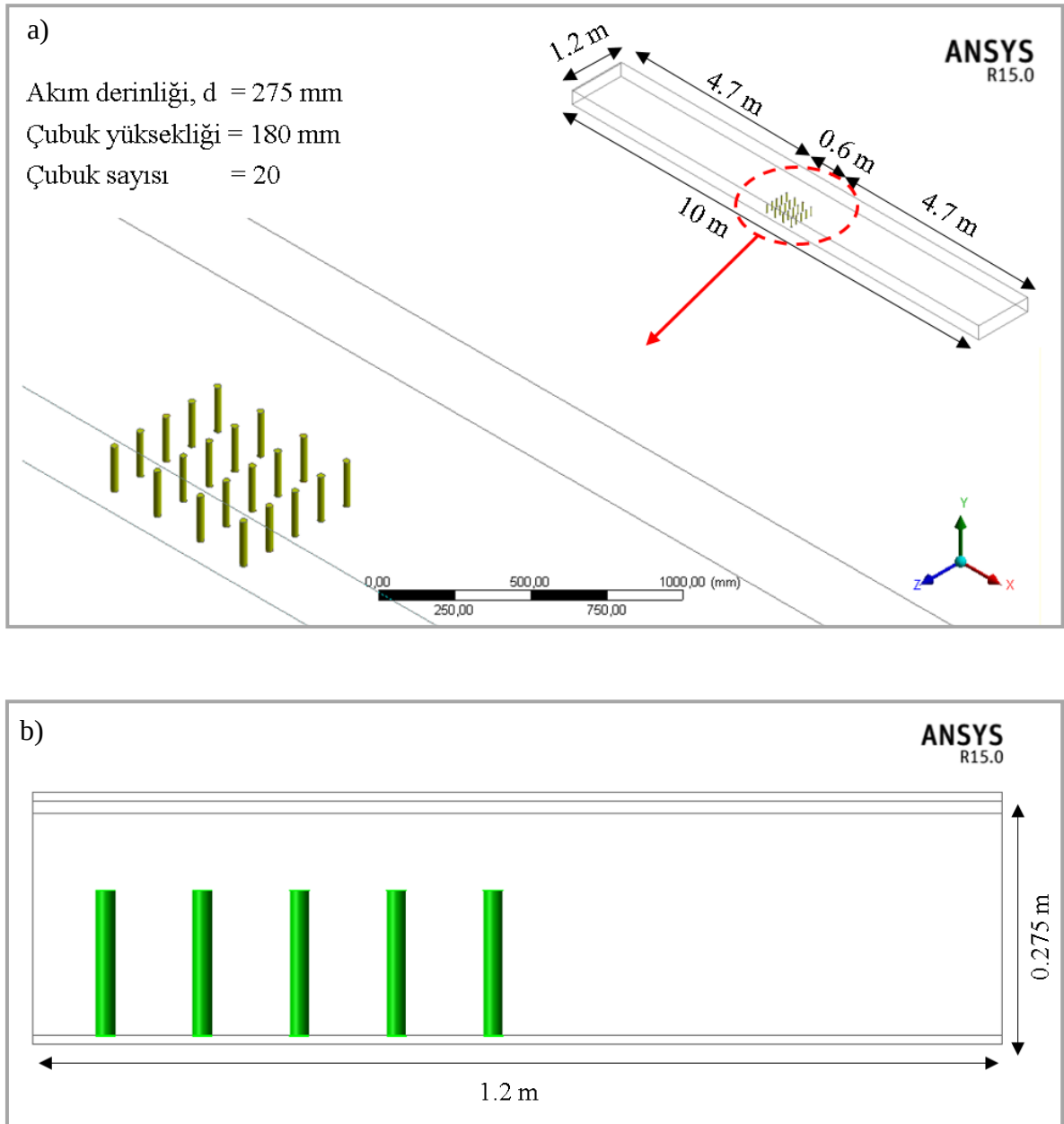
Kanal kesitinin kısmi olarak bir tarafının bitki örtüsü ile kaplı olduğu, çubuk yüksekliklerinin 180 mm olduğu ve çubukların suyun içinde batmış durumda bulunduğu az yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren senaryolar bu bölümde incelenmiştir. Batmamış bitki örtüsü içeren senaryolar için 3 analiz gerçekleştirilmiş olup bu senaryolara ilişkin ayrıntılar Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5. Bir tarafı kısmi olarak batmış bitki örtüsü ile kaplı senaryolar

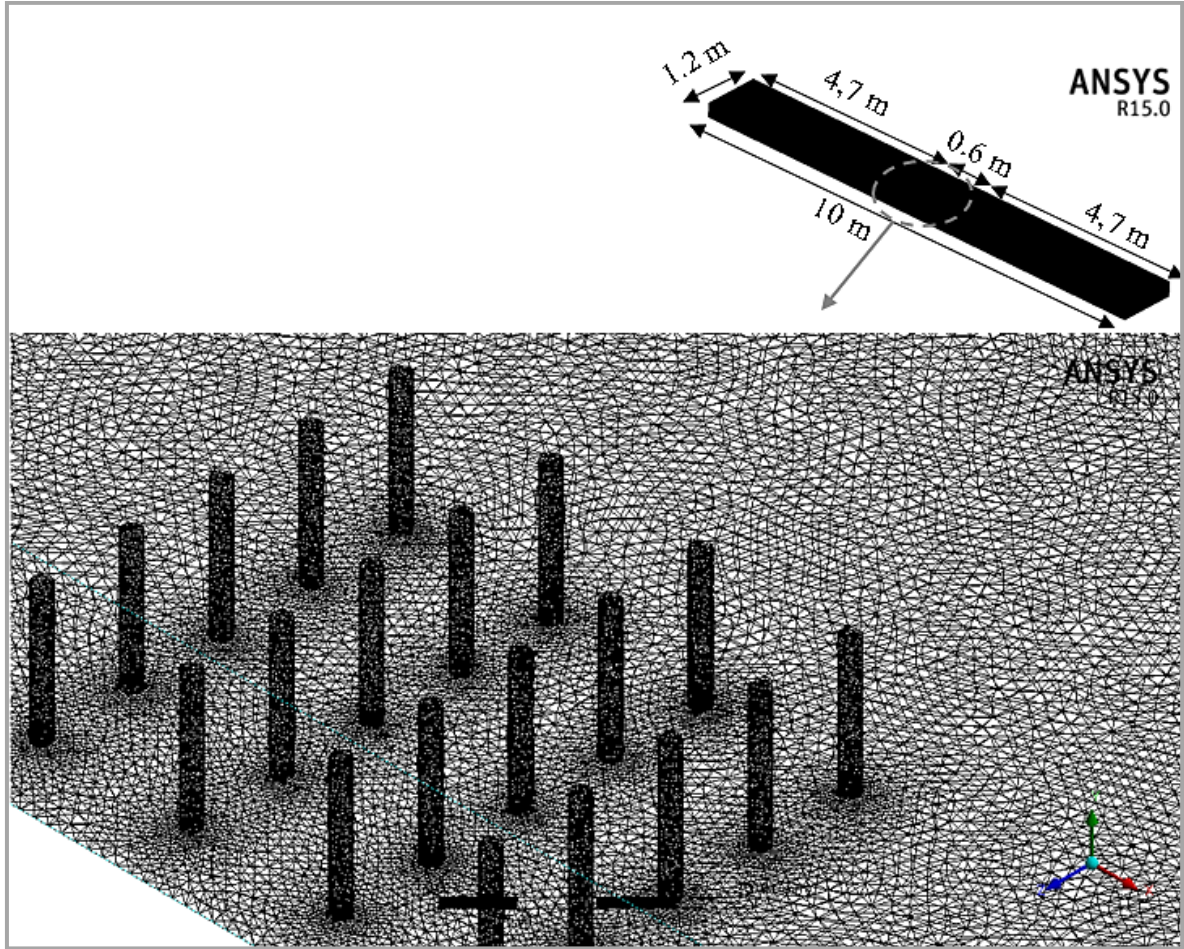
No:	Senaryo No:	Çözüm Ağında Bulunan Eleman Sayısı	Analizin Genel Sonucu
1	Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε]	999 013	Deney sonuçları ile uyumlu.
2	Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε]	955 251	Deney sonuçları ile uyumlu.
3	Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε]	1 372 258	Deney sonuçları ile uyumlu.

Sc10_Senaryosunun değ erlendirilmesi

Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 4 sıra halinde denk gelecek şekilde batmış vaziyette 20 çubuk yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.56). Çözüm ağının oluşturulmasında eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 999 013 eleman elde edilmiştir (Resim 7.57).

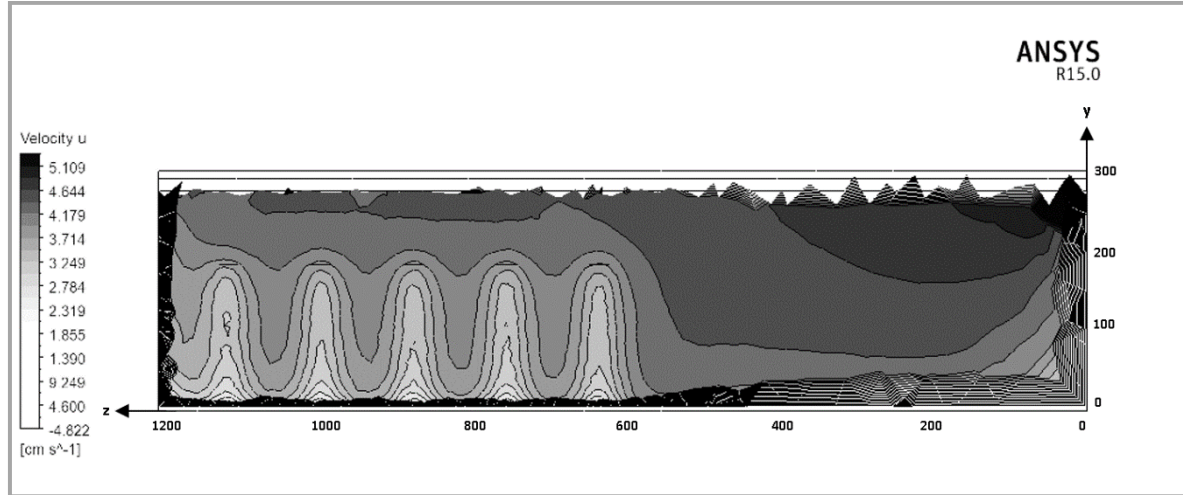


Resim 7.56. Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi:
 a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü

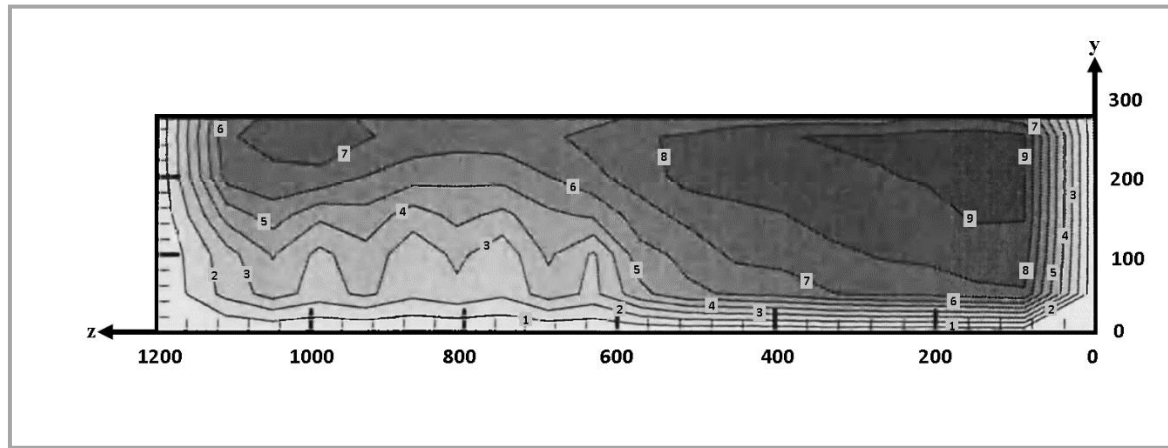


Resim 7.57. Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Gerçekleştirilen analiz neticesinde çubuklar arası en kesitte hızların $-0,005 \text{ cm/s}$ ile $5,109 \text{ cm/s}$ arasında değerler aldığı görülmüştür (Resim 7.58). Kanalın bitki örtüsü içeren kısmında hızların akımın çubuklara denk geldiği yerlerde yavaşladığı, çubuk araları ile çubukların üst noktalarından su yüzeyine doğru ve bitki örtüsü içermeyen tarafın kanal duvarına doğru hızlanma eğilimindedir. Genel olarak en kesitteki akım davranışının Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki aynı kanal geometrisinin sonuçları ile uyumlu olduğu ancak ANSYS Fluent ile elde edilen hızların nispeten daha düşük olduğu görülmüştür (Resim 7.58 ve Resim 7.59).



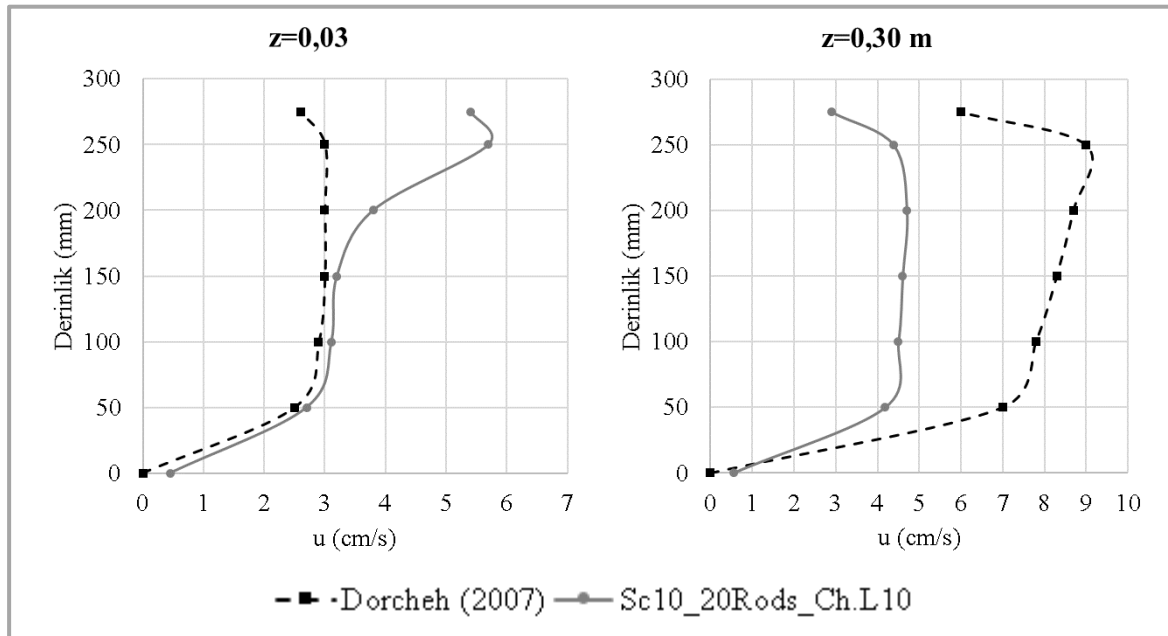
Resim 7.58. Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



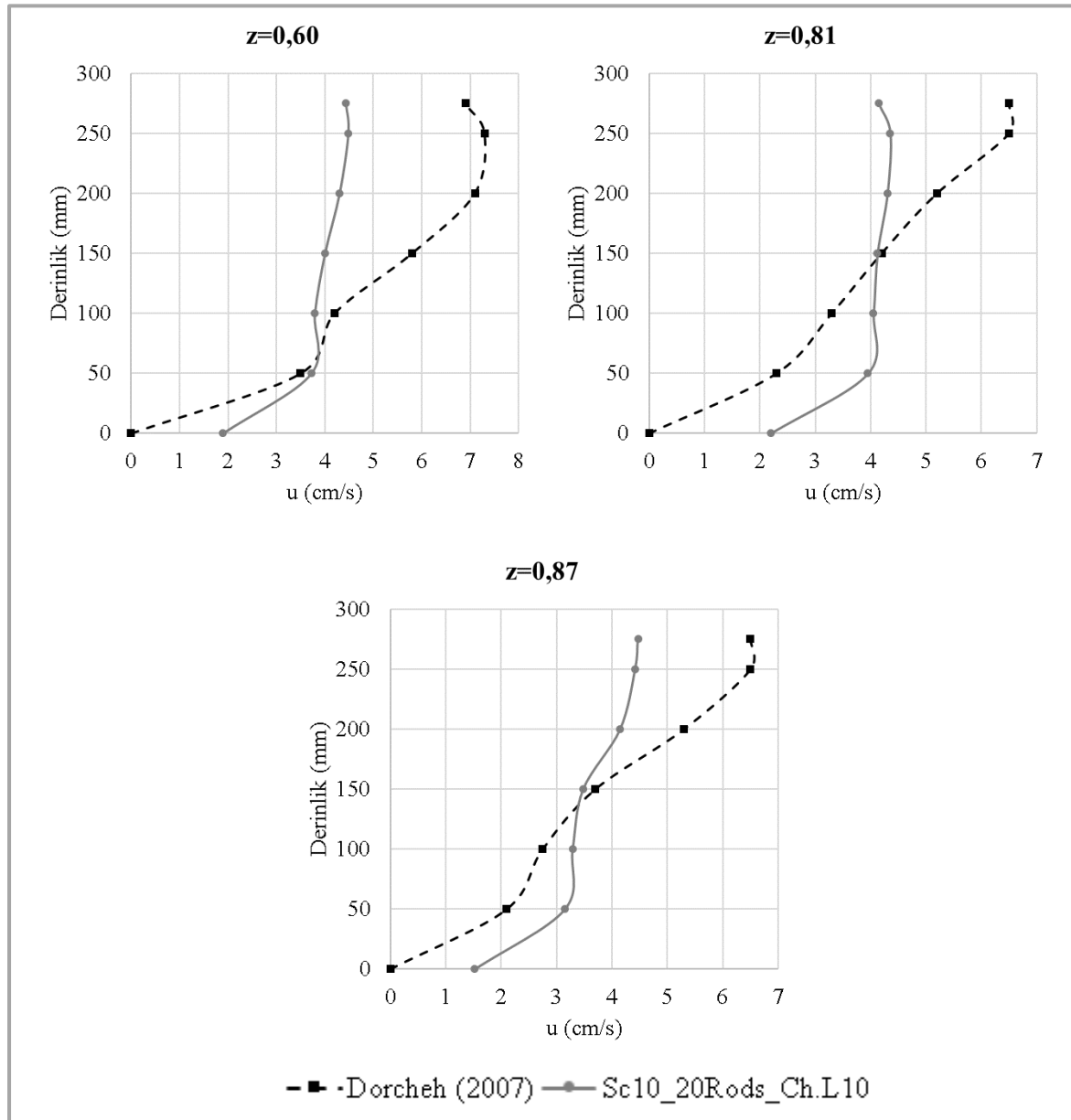
Resim 7.59. Dorcheh (2007) Az yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Sc10_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar arası en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,30$ m, $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde hızın derinlik boyunca dağılımı Şekil 7.14'te Dorcheh'in (2007) aynı kesimlerdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar genel olarak akım davranışı açısından benzerlik göstermiştir. $z=0,03$ m'de ANSYS Fluent yazılımı ile elde edilen hız dağılımında su yüzeyine yakın yerlerde hızın arttığı görülmüştür. Dorcheh'in (2007) çalışmasında aynı kesimdeki hızlar kanal tabanına yakın bölgelerin hızları ile eşit ve genel olarak 3 cm/s civarında okunmuştur. Buradaki farkın, ANSYS Fluent'te aynı en kesitte çok daha fazla nokta üzerinden hesap yapılarak grafik çizdirilmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. $Z=0,30$ 'de Dorcheh'in (2007) çalışmasından okunan hızların nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. $z=0,60$ m,

$z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde ANSYS Fluent ile elde edilen akım davranışının deney sonuçlarına nispeten daha doğru olduğu düşünülmektedir. Dorcheh'in (2007) bu kesimlerdeki sonuçlarına bakıldığında kanal tabanından su yüzeyine doğru hızda sürekli bir artış gözlenmiştir. Ancak ANSYS Fluent ile elde edilen sonuçlarda ise çubukların üst noktası olan 180 mm seviyesinden itibaren hızların artmaya başladığı açıkça görülmüştür. Bu durum çubuğun tam arkasına denk gelen $z=0,87$ m kesiminde daha belirgin olarak görülmüştür. Kanal ortasına denk gelen $z=0,60$ m ve çubukların arasına denk gelen $z=0,81$ m kesimlerinde ise çubuk üst seviyesinden sonraki hız artışı $z=0,87$ m kesimindeki artışa nispeten daha azdır. Halbuki aynı kesimlerde Dorcheh'in (2007) deney sonuçlarından okunan hızlar hemen hemen her noktada aynıdır.



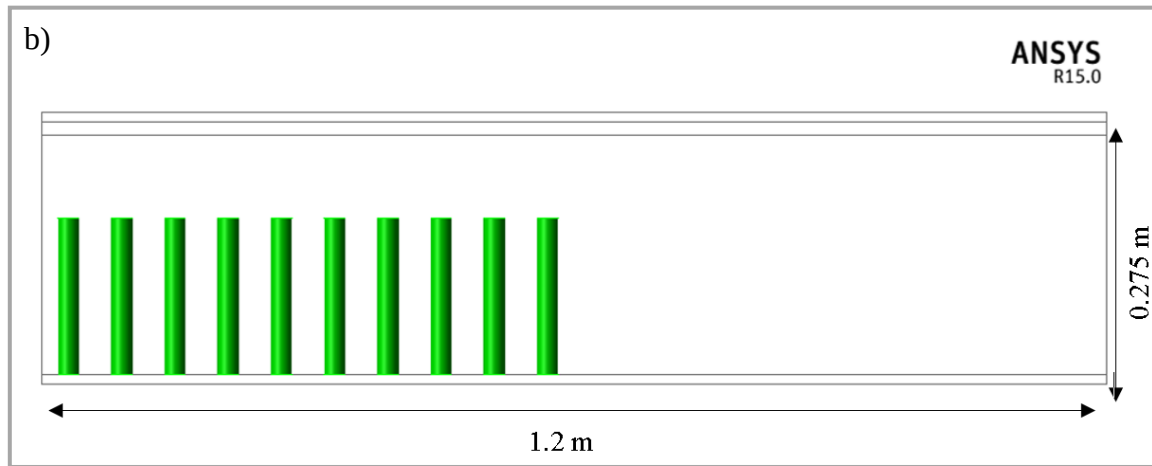
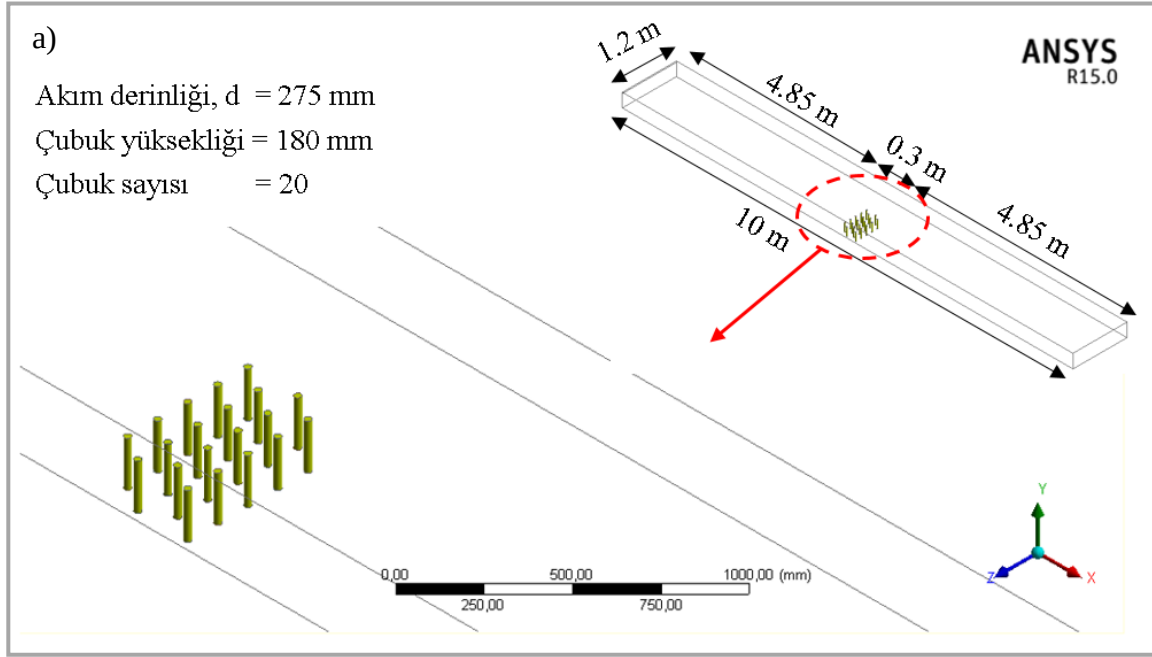
Şekil 7.14. Sc10 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması



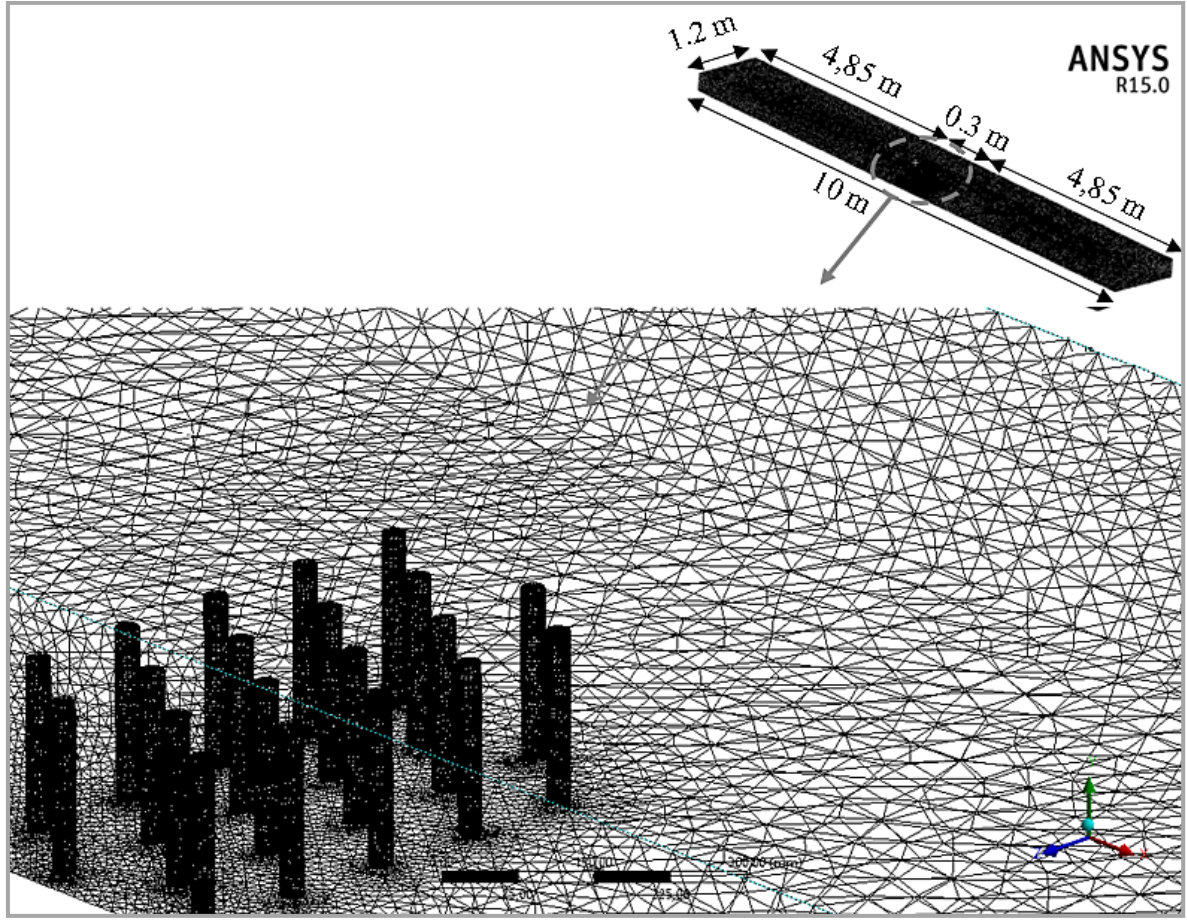
Şekil 7.14.(devam) Sc10 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması

Sc11_Senaryosunun değerlendirilmesi

Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 4 sıra halinde denk gelecek şekilde batmış vaziyette 20 çubuk şaşırtmalı olarak yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.60). Çözüm ağının oluşturulmasında eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 955 251 eleman elde edilmiştir (Resim 7.61).

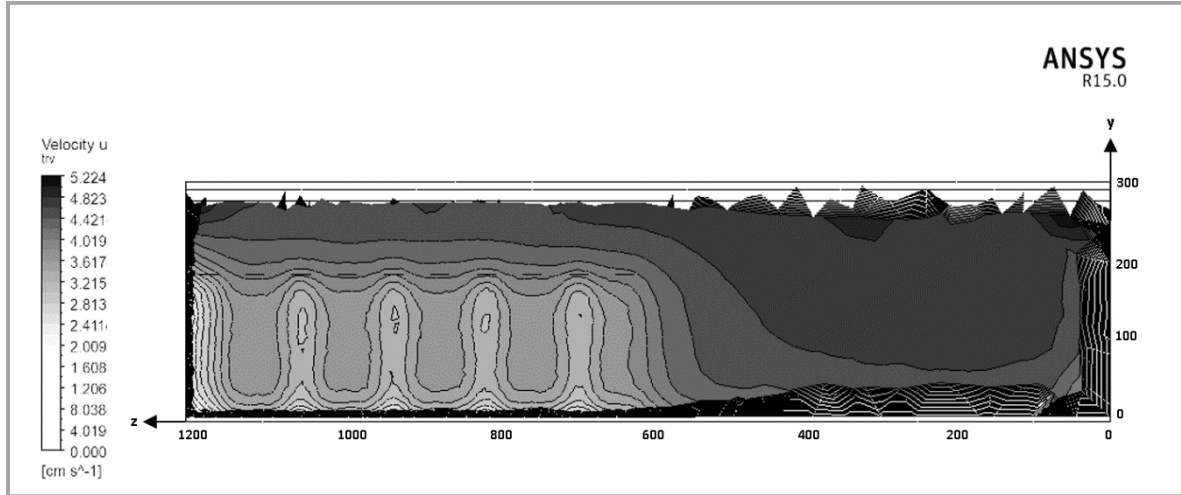


Resim 7.60. Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi:
 a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü

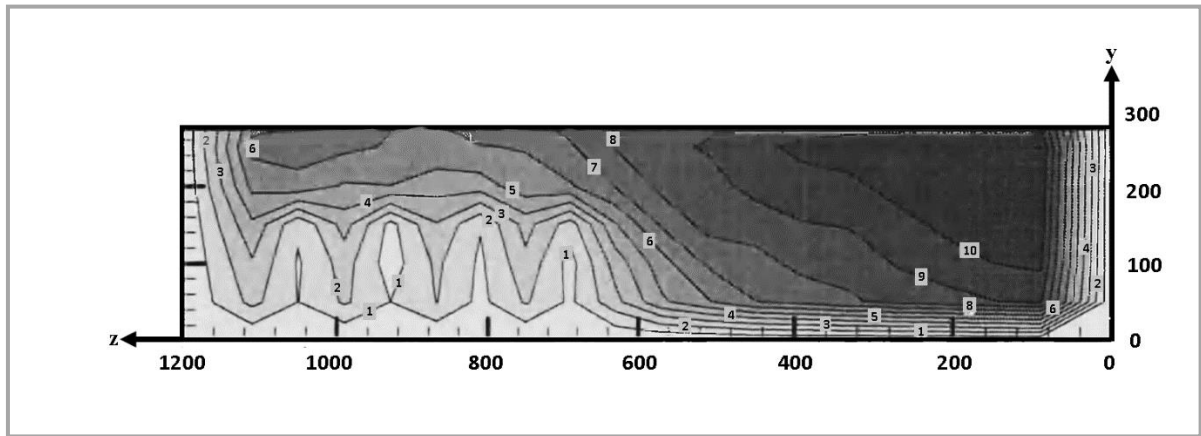


Resim 7.61. Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Analiz sonucunda çubuklar arası en kesitte hızların 0 cm/s ile 5,224 cm/s arasında değerler aldığı görülmüştür (Resim 7.62). Kanalin bitki örtüsü içeren kısmında hızların akımın çubuklara denk geldiği yerlerde yavaşladığı, çubuk araları ile çubukların üst noktalarından su yüzeyine doğru hızlandığı ve bitki örtüsü içermeyen tarafın kanal duvarına doğru hızlandığı görülmüştür. Genel olarak en kesitteki akım davranışının Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki aynı kanal geometrisi sonuçları ile uyumlu olduğu ancak ANSYS Fluent ile elde edilen hızların nispeten daha düşük olduğu görülmüştür (Resim 7.62 ve Resim 7.63).



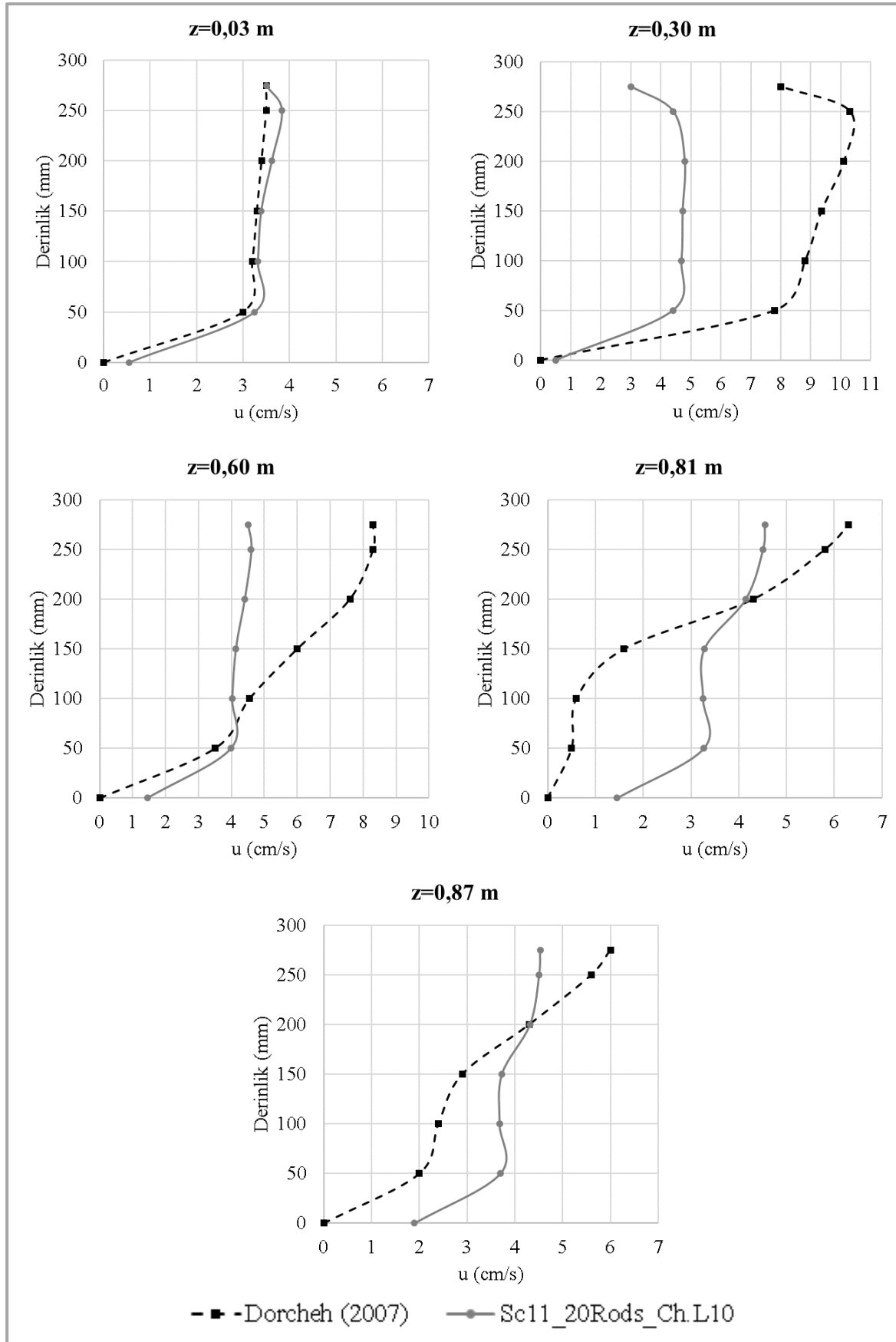
Resim 7.62. Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)



Resim 7.63. Dorcheh (2007) Orta yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

Sc11_01_Pv_Rh180_20rods_Ch.L10_Tr[b[k-ε] senaryosunda çubuklar arası en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,30$ m, $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde hızın derinlik boyunca dağılımı Şekil 7.15'te Dorcheh'in (2007) aynı kesimlerdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar genel olarak akım davranışı açısından benzerlik göstermiştir. $z=0,03$ m'de ANSYS Fluent ile elde edilen hız dağılımının Dorcheh'in (2007) sonuçları ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. $z=0,30$ 'de Dorcheh'in (2007) çalışmasından okunan hızların nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde ise yine ANSYS Fluent analizi sonucunda elde edilen hızların, çubuk üst noktalarına kadar olan kısımda deney sonuçlarına nispeten yüksek olduğu ve çubuk üst noktalarından itibaren deney sonuçlarından daha düşük olduğu görülmüştür.

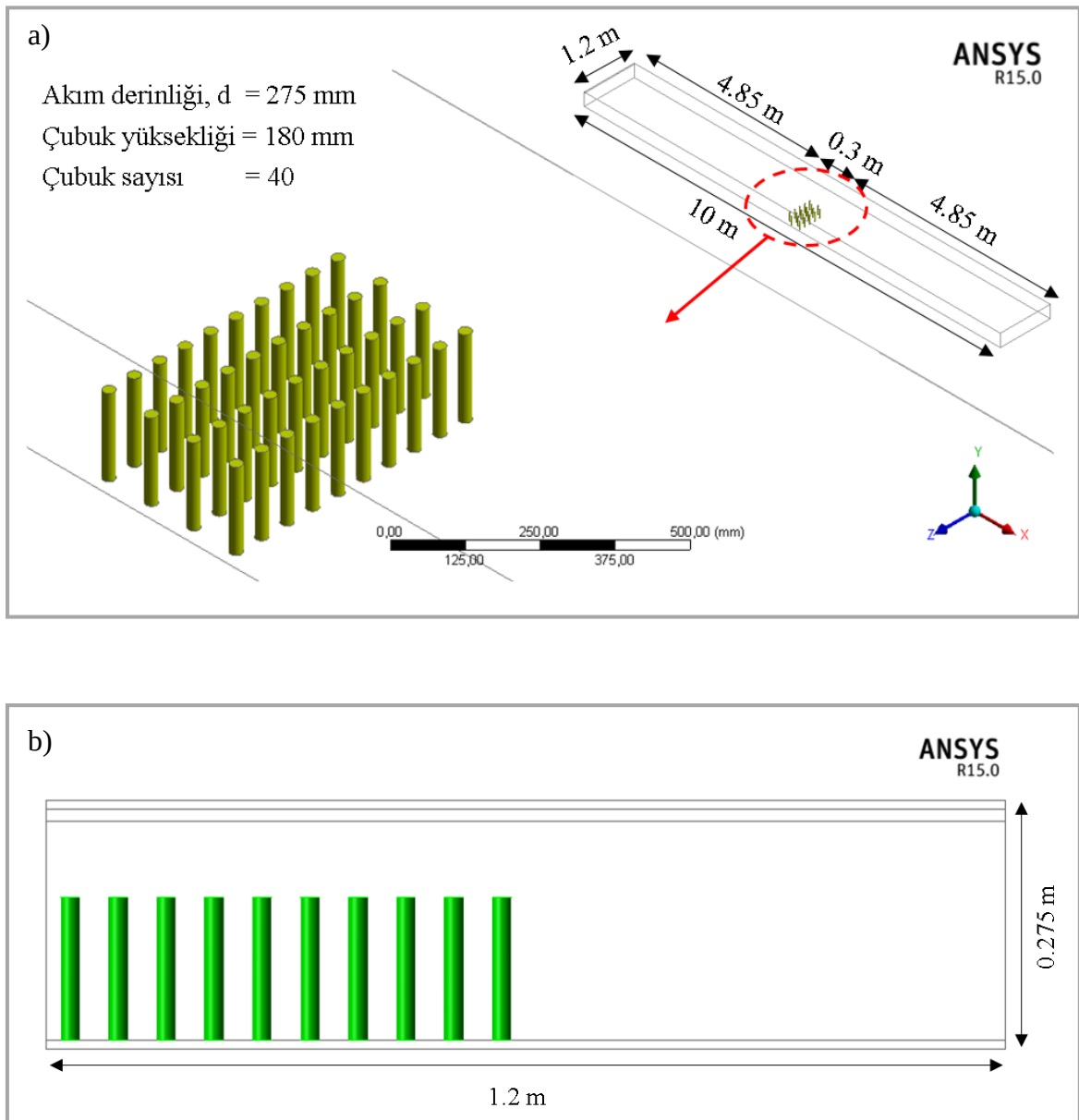
Bu analiz neticesinde de özellikle $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,87$ m kesimlerinde Dorcheh'in (2007) sonuçlarından okunan hızlar Sc10 senaryosundaki gibi sürekli bir artış değil çubuk üst seviyelerinden itibaren artış göstermiştir. Ancak çubuk arkasına denk gelen $z=0,87$ m ile çubukların arasına denk gelen $z=0,81$ m kesimlerinde deney sonuçlarından okunan hızlar arasında 2 cm/s civarı fark olduğu görülmüştür. Halbuki Sc11 senaryosunda çubuklar şaşırtmalı olarak dizildiğinden dolayı çubuk arasına denk gelen kesim de aslında iz düşümde az bir mesafe sonra çubuk arkasına denk gelmektedir. Benzer şekilde çubuk arkasına denk gelen kısımlar az bir mesafe sonrasına çubukların arasındaki kesimi teşkil etmektedir. Dolayısıyla çubuk arkasına ve çubuk arasına denk gelen konumlardaki hızlar arasındaki farkın daha düşük seviyede olması beklenmektedir. Sonuç olarak hem Dorcheh'in (2007) hem de ANSYS Fluent ile elde edilen sonuçların Sc11 ve Sc10 senaryoları için elde edilen sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde yazılımla elde edilen sonuçların akım davranışı açısından daha tutarlı olduğu düşünülmektedir.



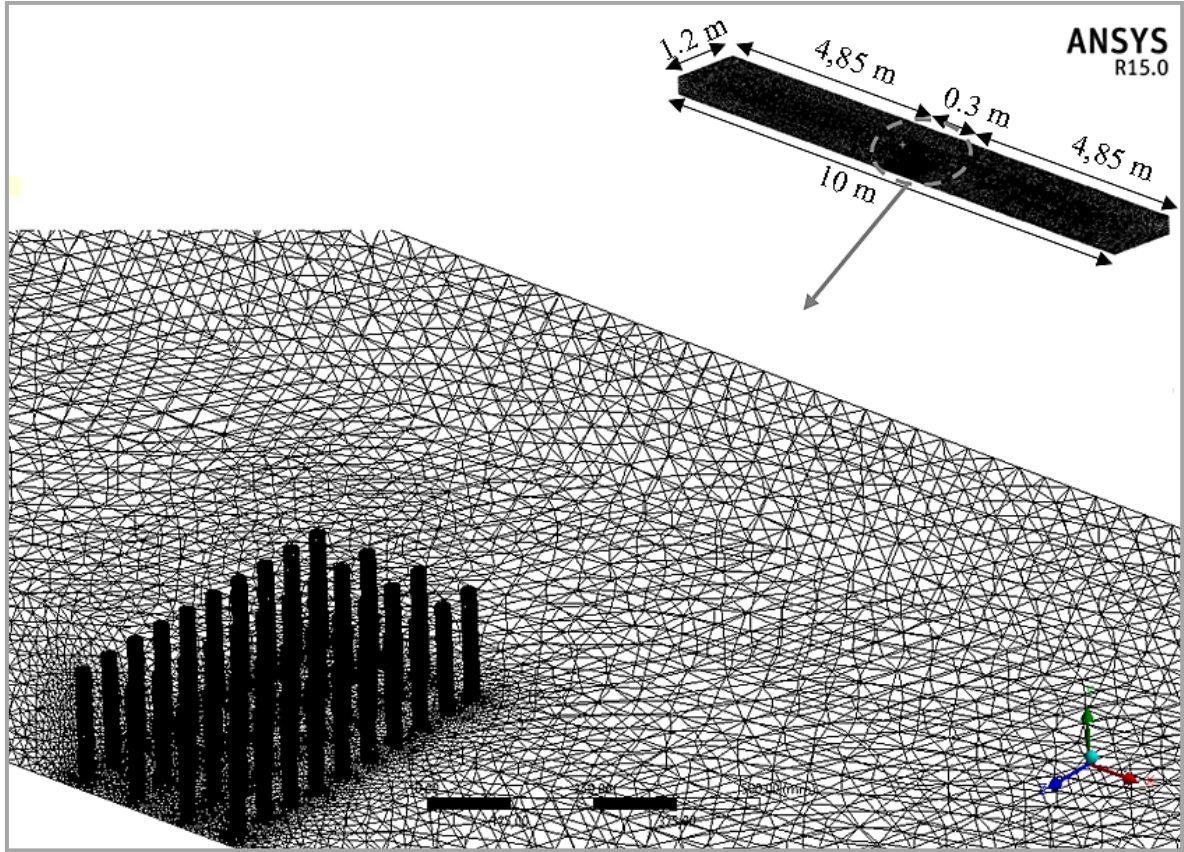
Şekil 7.15. Sc11 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması

Sc12_Senaryosunun değerlendirilmesi

Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda 10 metre uzunluğundaki kanalın tam ortasına 4 sıra halinde denk gelecek şekilde batmış vaziyette 40 çubuk yerleştirilerek kanal geometrisi oluşturulmuştur (Resim 7.64). Çözüm ağının oluşturulmasında eleman boyutu 50 mm olarak tanımlanmış ve toplamda 1 372 258 eleman elde edilmiştir (Resim 7.65).

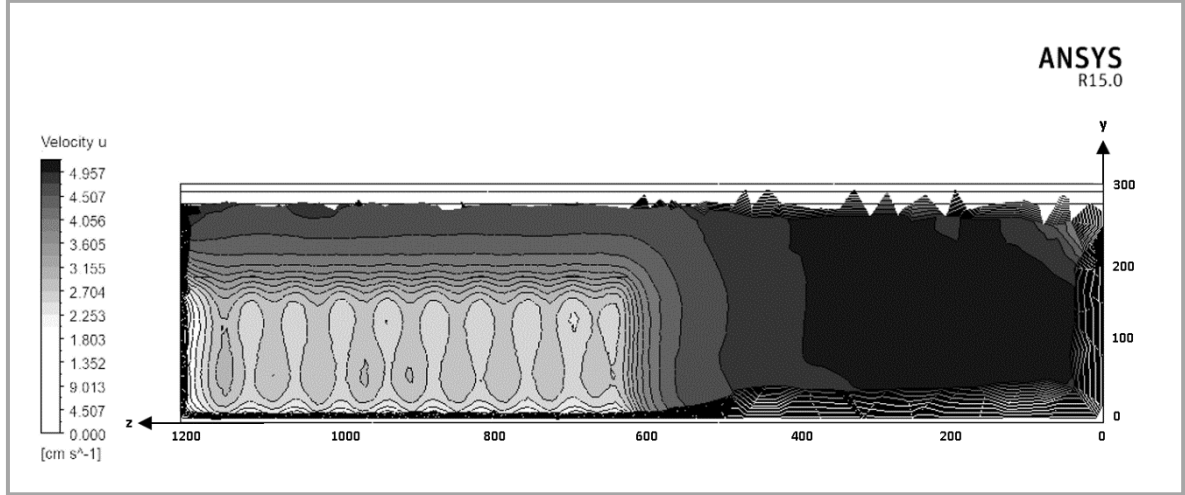


Resim 7.64. Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda kanal geometrisi:
 a) Kanal genel görünüşü ile çubuklar bölgesi ayrıntılı görünüşü, b) Kanal en kesitinin önden görünüşü

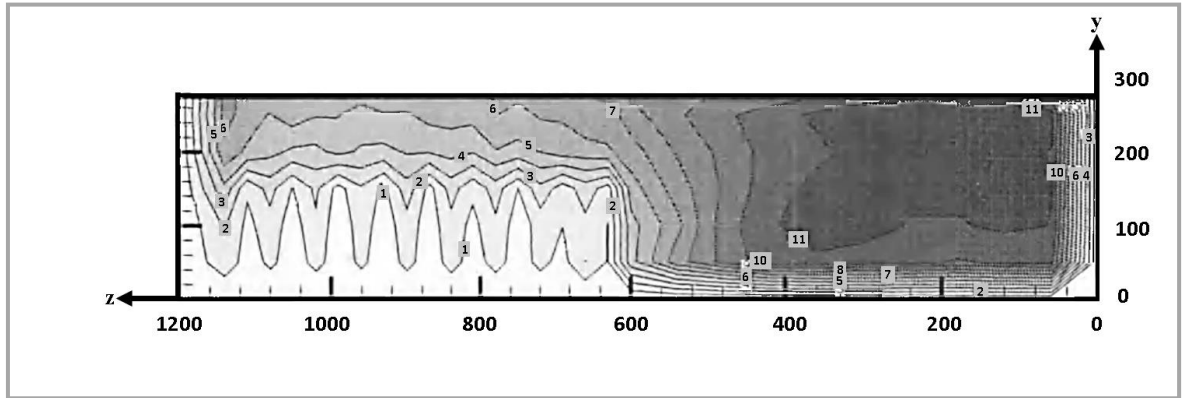


Resim 7.65. Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çözüm ağı

Analiz sonucunda çubuklar arası en kesitte hızların 0 cm/s ile 4,957 cm/s arasında değerler aldığı görülmüştür (Resim 7.66). Kanalin bitki örtüsü içeren kısmında hızların akımın çubuklara denk geldiği yerlerde yavaşladığı, çubuk araları ile çubukların üst noktalarından su yüzeyine doğru hızlandığı ve bitki örtüsü içermeyen tarafın kanal duvarına doğru hızlandığı görülmüştür. Genel olarak en kesitteki akım davranışının Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki aynı kanal geometrisi sonuçları ile uyumlu olduğu ancak ANSYS Fluent ile elde edilen hızların nispeten daha düşük olduğu belirlenmiştir (Resim 7.66 ve Resim 7.67).



Resim 7.66. Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar öncesi en kesitte boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

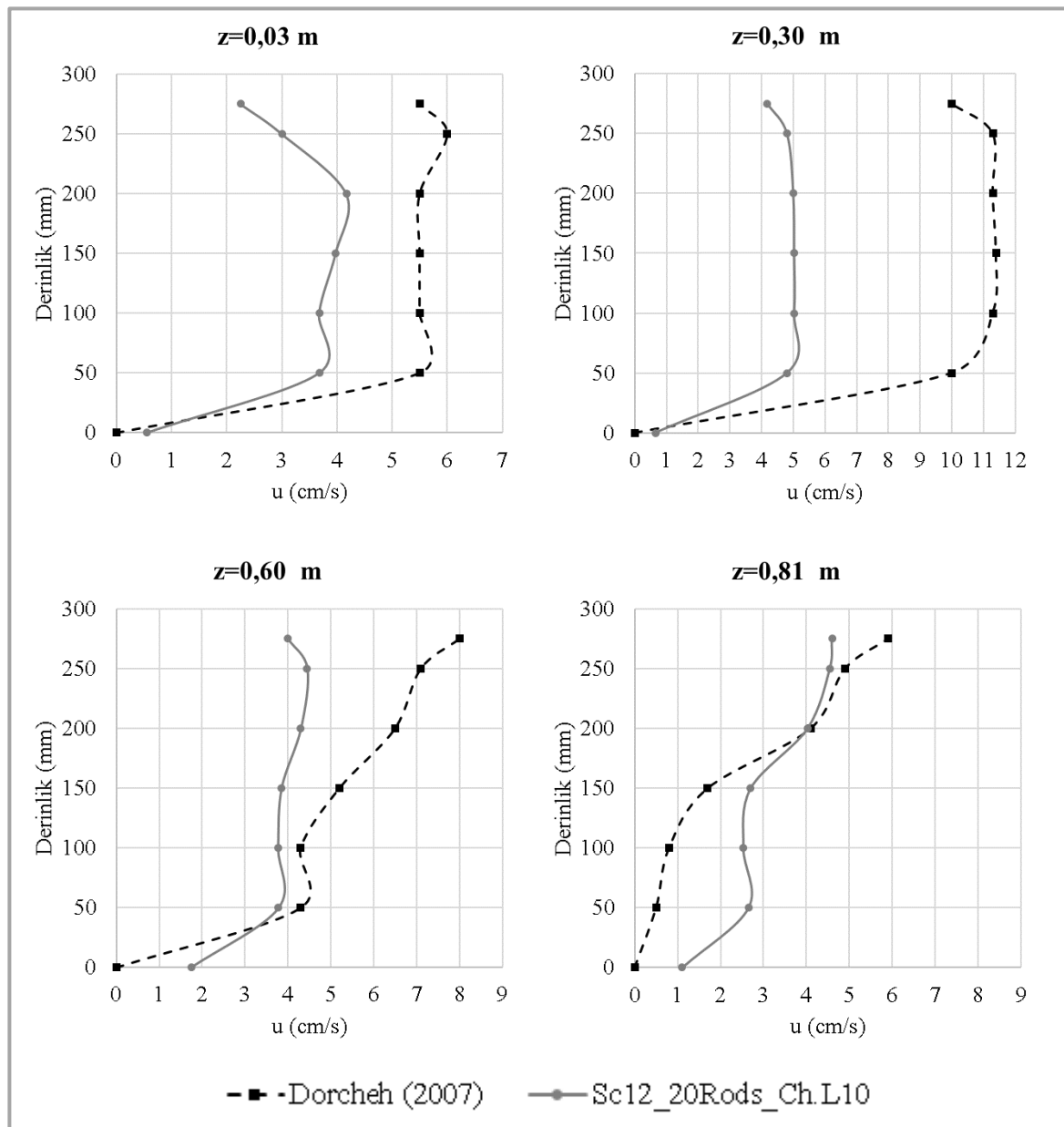


Resim 7.67. Dorcheh (2007) Yüksek yoğunluklu batmış bitki örtüsü içeren akımın çubuklar orta bölgesine denk gelen en kesitinde boyuna doğrultudaki hız dağılımı, u (cm/s)

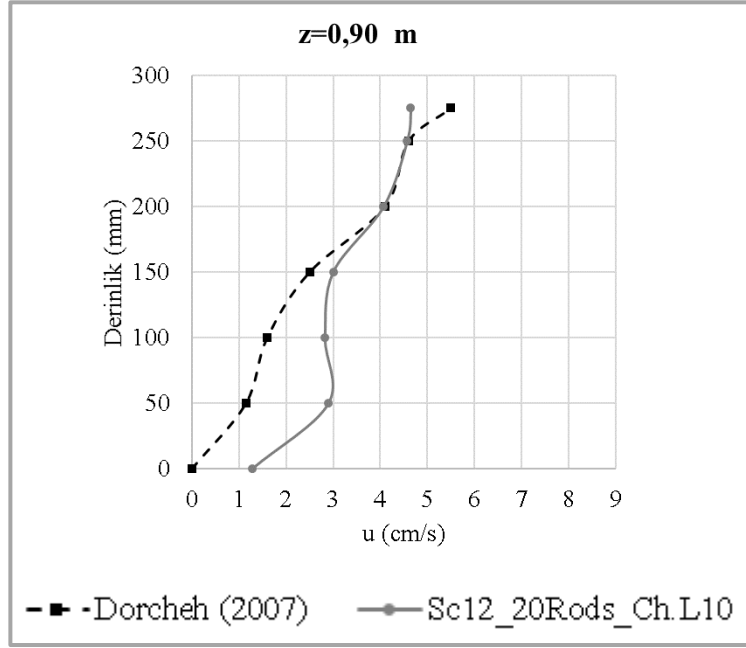
Sc12_01_Pv_Rh180_40rods_Ch.L10_Trk[k-ε] senaryosunda çubuklar arası en kesitte $z=0,03$ m, $z=0,30$ m, $z=0,60$ m, $z=0,81$ m ve $z=0,90$ m kesimlerinde hızın derinlik boyunca dağılımı Dorcheh'in (2007) aynı kesimlerdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7.16). Sonuçlar genel olarak akım davranışı açısından benzerlik göstermiştir. $z=0,03$ m'de ve $z=0,30$ m'de ANSYS Fluent ile elde edilen hız dağılımlarının Dorcheh'in (2007) çalışmasından okunan hızlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. $z=0,60$ m kesiminde çubuk üst noktasına kadar olan bölgede benzer hızlar elde edilirken $z=0,81$ m ve $z=0,90$ m kesimlerinde ise çubuk üst noktasına kadar olan kısımlarda nispeten yüksek, çubuk üst noktasından su yüzeyine kadar ise hemen hemen aynı hızlar elde edilmiştir.

Kanal kesitinin kısmi olarak batmış bitki örtüsü ile kaplı olduğu Sc10, Sc11 ve Sc12 analizlerinde genel olarak akım davranışı açısından Dorcheh'in (2007) çalışması ile uyumlu sonuçlar alınmıştır. Bazı kesimlerde ANSYS Fluent ile elde edilen akım yapısının deney sonuçlarına nazaran daha tutarlı olduğu düşünülmektedir.

ANSYS Fluent ile yürütülen analizlerde oluşturulan çözüm ağının karmaşıklığına bağlı olarak analizlerin 1 milyon civarında düğüm noktası olan modeller için yaklaşık 6-7 saat aralığında sürdüğü ve en uzun analizin ise 74 saat civarında sürdüğü görülmüştür.



Şekil 7.16. Sc12 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 7.16.(devam) Sc12 ile Dorcheh'in (2007) derinlik boyunca hız dağılımlarının karşılaştırılması

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında dikdörtgen kesitli bir kanalda bitki örtüsü varlığının akımın hız dağılımı üzerindeki etkileri ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak araştırılmıştır. ANSYS Fluent'te bitki örtüsünün rijit silindirik çubuklar ile temsil edildiği, bitki örtüsünün su içinde batmış ve batmamış olduğu durumlar için sayısal modeller oluşturulmuştur. Ayrıca batmış ve batmamış bitki örtüsü modellemeleri kanal en kesitinin tamamının kaplı olduğu ya da kısmi olarak kaplı olduğu durumlar için ayrı ayrı çalışılmıştır. Oluşturulan pek çok modelden bu çalışmada sonuçları paylaşılmış olan 28 modelin analizleri sonucunda boyuna doğrultudaki hızın belirli en kesitlerdeki düşey dağılımları Dorcheh'in (2007) çalışmasındaki deney sonuçları ve Koç'un (2016) tez çalışmasında ANSYS CFX yazılımı ile oluşturduğu sayısal model analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda Dorcheh'in (2007) çalışmasında geniş dikdörtgen kesitli kanalda yürüttüğü çalışmalardan kanal kesitinin tamamen bitki örtüsü ile kaplı olduğu senaryolar ile kanal kesitinin kısmi olarak bir yarısının bitki örtüsü ile kaplı olduğu senaryoların tamamı ANSYS Fluent yazılımı ile modellenenilmiş ve bütün analizler sorunsuz tamamlanmıştır. Analiz sonuçlarının deney verilerine göre yetersiz görüldüğü durumlarda, mevcut parametre değerlerinde ya da kanal geometrisinde iyileştirmeler yapılarak sayısal model yeniden kurgulanmıştır. Çalışma neticesinde genel olarak, Dorcheh'in (2007) laboratuvar deneylerinden elde ettiği akım davranışı ile uyumlu akım davranışları elde edilmiştir. Benzer kesitlerden elde edilen hız dağılımları karşılaştırıldığında bazı hız değerlerinde farklılıklar görülmüş olmakla birlikte genel itibariyle bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerde hızların azaldığı, çubuk aralarında, bitki örtüsü olmayan kısımlarda ve batmış bitki örtüsü içeren akımlarda bitki örtüsü üst noktalarından su yüzüne kadar olan kısımlarda hızların arttığı görülmüştür.

Dorcheh'in (2007) çalışmasında elde ettiği deney sonuçlarına benzer şekilde, tamamı bitki örtüsü ile kaplı olan batmış durumdaki bitki örtüsü senaryolarında bitki örtüsünü laboratuvar ortamında simgeleyen çubukların üst kısmındaki bölgede akımın daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Bitki örtüsü yoğunluğunun orta ve düşük olduğu senaryolarda ise çubuklar bölgesindeki hızların yüksek yoğunluklu duruma göre arttığı fark edilmiştir. Batmamış bitki örtüsü senaryolarında ise en yüksek hızların çubuk aralarında ve en düşük hızların

çubuk kenarlarında oluştuğu görülmüştür.

Kısmi olarak bitki örtüsü ile kaplı olan batmış durumdaki bitki örtülü senaryolarda, kanalın bir yarısındaki bitki örtüsü yoğunluğuna bağlı olarak, ana akım, bitki örtüsü içermeyen kısımda gerçekleşmektedir. Hem batmış hem de batmamış bitki örtüsü durumlarında bitki örtüsü içeren kısım ile içermeyen kısım arasında belirgin hız farkı oluşmaktadır. Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü durumunda çubuklar bölgesindeki hızlar en düşük değerlerini almaktadır. Batmış ve batmamış bitki örtüsü içeren akım durumundaki hızlar karşılaştırıldığında ise batmamış bitki örtüsü durumunda hızların batmış bitki örtüsü içeren durumdaki hızlardan daha düşük olduğu görülmüştür.

Genel olarak analizlerin tamamında akım davranışı açısından deney sonuçları ile program sonuçları arasında uyumlu neticeler elde edilmiş olmasına rağmen akım ana yönünde (kanal boyuna yönde) alınan kesitlerin bazı noktalarında analiz sonuçları ile deneysel sonuçları arasında farklılıklar gözlenmiştir. Aynı kesitin belirli noktalarında uyumlu hız sonuçları elde edilirken kesitin özellikle belirli noktalarında oldukça farklı hız sonuçlarının gözlenmesinin üç ana sebepten kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir:

(1) Laboratuvar kanalında gerçekleştirilen deneylerde ölçülen boyuna yöndeki en büyük hızların genellikle 6-7 cm/s mertebelerinde olması ve bu nedenle analiz sonuçları ile deney sonuçları arasında 1-2 cm/s'lik hız farklılıklarının dahi oransal anlamda yüksek görünmesine neden olmakla birlikte bu mertebede Dorcheh (2007) tarafından gerçekleştirilen akım hızı ölçümlerinde kullanılan ADV cihazının ölçüm sonuçlarına olumsuz anlamda etkilerinin olduğu da düşünülmektedir. Özellikle bitki örtüsünün çok sık olduğu orta ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren akım şartlarında bu hususun daha etkin olabileceği değerlendirilmektedir. ADV cihazı ölçüm uç noktasının hız ölçüm esnasında akım içerisinde stabil kalmasını sağlayan destek çubuğun kendisi akım içerisinde ek bir engel oluşturmakta ve bu mertebelerdeki hız ölçümlerindeki hassasiyet nedeniyle ölçüm sonuçlarında farklılıklar oluşmaktadır.

(2) Dorcheh (2007) çalışmasında, noktasal hız değerlerinden alansal hız değerlerine geçiş sağlamak amacıyla belirli noktalardan ADV cihazı ile elde edilen hız ölçümlerini ve özel bir grafik yazılımı (örneğin tecplot, surfer vb.) kullanarak eş-hız eğrilerini elde etmiştir. Bu türden yazılımların eş-hız eğrilerindeki ara değerlerin belirlenmesinde ölçüm alınan noktalardaki değerleri esas alan enterpolasyon yöntemine dayalı bir grafik oluşturduğu

bilinmektedir. Enterpolasyon yöntemi baz alınarak oluşturulmuş eş-hız eğrilerinden bu tez çalışması kapsamında okuma yöntemi ile elde edilen hız değerlerinin o noktadaki gerçek hız değerini yansıtamayabileceği matematiksel bir gerçektir.

(3) Bu tez kapsamında Dorcheh'in (2007) alansal eş-hız değerleri ile bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla çözünürlüğü düşük olan eş-hız grafiklerinin dijital tarama yöntemi ile bilgisayar ortamında çözünürlüğü yükseltilmeye çalışılmıştır. Fakat elde edilen en iyi çözünürlükte dahi düşük hız okumalarındaki çözünürlük etkisi sonuçlarda oransal anlamda büyük farklılıklara sebep olmaktadır.

Özetle, deneysel verilerin elde edilmesi aşamasında ADV cihazından kaynaklı, sonuçların eş-hız grafiğine dönüştürülmesi aşamasında enterpolasyon işleminden kaynaklı ve grafik çözünürlüğüne bağlı düşük hızların okunmasında çözünürlük etkisinden kaynaklı, özellikle çok düşük hızlarla çalışılmış olması da göz önüne alındığında, kesit içerisindeki bazı noktalarda önemli oranlarda farklılıkların çıkmış olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı türbülans modellerinin akımın hız dağılımı üzerindeki etkisini araştırmak üzere belirli kesitlerde o senaryo için bütün parametreler sabit kalmak şartıyla sadece türbülans modeli değiştirilerek Standart k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ ve k- ω türbülans modelleri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ilgili senaryonun analizinden elde edilen hız dağılımlarında bu türbülans modelleri arasında kayda değer farklılıklar kaydedilmemiştir.

ANSYS Fluent yazılımının simetrik çözüm özelliği, oluşturulan kanal geometrisinde belirlenen simetri eksenine esas alınmak suretiyle geometrinin sadece yarısı ile analiz gerçekleştirdiği için analiz açısından kolaylık sağlamakta ve analiz süresi ciddi oranda azalmaktadır. Bu çalışma kapsamında ANSYS Fluent'in simetrik çözüm özelliği sadece çubuk dizilimlerinin simetrik yapıda olduğu yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren senaryolarda çalıştırılmıştır. Az ve orta yoğunluklu bitki örtüsü içeren akımlarda çubuk dizilimleri simetrik yapıda olmadığından simetrik çözüm yapılması mümkün olmamıştır.

Windows 10 işletim sisteminin, kurulu olduğu bir bilgisayarda 2 GB mertebesinde bellek harcadığı bilinmektedir. Yaklaşık her 1 milyon düğüm noktası da analiz esnasında sistemdeki bellekten 1 GB mertebesinde alan işgal etmektedir. Bu genel bilgiler ve bu çalışma kapsamında edinilen tecrübeler ışığında ANSYS Fluent ile modelleme ve analiz

yapılacak sistemin asgari 8 GB belleği olması, analizlerin daha sağlıklı alınabilmesi ve değerlendirme sürecinde zaman kazanılası açısından ise 12 GB ve üzerinde olması tavsiye edilir.

Bu çalışmada edinilen tecrübeler ışığında herhangi bir problemin ANSYS Fluent ile çözümünde sürecin tamamına ve kullanılan parametrelere hakim olunması ve problemin tamamına uygulanabilecek örnek analizlerin öncelikle deneysel verilerle ya da doğruluğu kabul görmüş ampirik modellerle doğrulanması önerilir.

Daha ileri araştırmalarda bu çalışma kapsamındaki sayısal modellemelerde kullanılmamış olan türbölans modellerinin etkilerinin araştırılmasının ve ANSYS Fluent yazılımı ile çok katmanlı bitki örtüsü ile esnek bitki örtüsü varlığının akımın hız dağılımına etkilerinin araştırılmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- ANSYS Inc. (2011). Introduction to ANSYS Fluent, Training Manual.
- ANSYS Inc. (2013). ANSYS Fluent 15.0 Release Notes.
- ANSYS Inc. (2013). ANSYS Fluent Getting Started Guide.
- ANSYS Inc. (2013). ANSYS Fluent Theory Guide.
- ANSYS Inc. (2013). ANSYS Fluent User's Guide.
- Atay, B. (2016). *Ana Yatakta ve Taşkın Yatağında Bitki Örtüsü Bulunan Açık Kanal Akımlarının Sayısal Model ile İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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(1-2), 115-126.
- Blazek, J. (2001). *Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications* (First edition). Oxford: Elsevier, 225.
- Chanson, H. (2004). *Environmental Hydraulics of Open Channel Flows* (Second edition). Burlington: Elsevier, 3 .
- Chow, V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics* (International Student Edition). New York: McGraw –Hill, 5-9,13,14,25,101-104.
- Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M. *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları* (çev. Engin T., Öz H. R., Küçük H. ve Çeşmeci Ş.). İzmir: İzmir Güven Kitabevi (Eserin orijinali 2008’de yayımlandı), 692, 693.
- Date, A. W. (2005). *Introduction to Computational Fluid Dynamics* (First edition). New York: Cambridge University Press, 1, 2.
- Dorcheh, S. A. (2007). *Effect of Rigid Vegetation on the Velocity, Turbulence, and Wave Structure in Open Channel Flows*. Unpublished PhD Thesis, University of Cardiff, United Kingdom.
- Fischer, A. T., Stoesser, T., Bates, P., and Olsen, N. R. (2010). 3D Numerical Modelling of Open Channel Flow with Submerged Vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 39(3), 303-310.
- Gandhi, B. K., Verma, H. K., and Abraham, B. (2016). Mathematical Modeling and Simulation of Flow Velocity Profile for Rectangular Open Channel. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22(2), 193-203.

- Henderson, F. M. (1989). *Open Channel Flow* (Fifteenth edition). New York: Macmillan Publishing Co.Inc., 13.
- Hirschowitz, P. M., and James, C. S. (2009). Transverse Velocity Distribution in Channels with Emergent Bank Vegetation. *River Research and Applications*, 25(9), 1177-1192.
- Hu, Y., Huai, W., and Han, J. (2013). Analytical Solution for Vertical Profile of Streamwise Velocity in Open-Channel Flow with Submerged Vegetation. *Environ Fluid Mech*, 13(4), 389-402.
- Huai, W., Hu, Y., Zeng, Y., and Han, J. (2012). Velocity Distribution for Open Channel Flows with Suspended Vegetation. *Advances in Water Resources*, 49, 56-61.
- İnternet: ANSYS Inc.. A Brief History of Fluent.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ccs.uky.edu%2FUserSupport%2FSoftwareResources%2FFluent%2F&date=2019-05-20>, Son Erişim Tarihi:20.05.2019.
- Järvelä, J. (2005). Effect of Submerged Flexible Vegetation on Flow Structure and Resistance. *Journal of Hydrology*, 307(1-4), 233-241.
- Koç, S. (2016). *Bitki Örtüsü İçeren Açık Kanal Akımının ANSYS Cfx Programı ile Sayısal Modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Liu, D. (2008). *Flow through Rigid Vegetation Hydrodynamics*. Master of Science Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- Lopez, F., and Garcia, M. (1997). Open-Channel Flow Through Simulated Vegetation: Turbulence Modeling and Sediment Transport, *Wetlands Research Program Technical Report*, US Army Corps of Engineers. Jackson, Mississippi.
- Luhar, M., and Nepf, H. M. (2011). Flow-Induced Reconfiguration of Bouyant and Flecible Aquatic Vegetation. *Limnology and Oceanography*, 56(6), 2003-2007.
- Moukalled, F., Mangani, L., and Darwish, M. (2016). *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics, An Advanced Introduction with OpenFOAM® and Matlab®* (First edition). New York: Springer, 4.
- Nepf, H. M. (1999). Drag, Turbulence, and Diffusion in Flow through Emergent Vegetation. *Water Resources Research*, 35(2), 479-489.
- Nuding A. 1991. *Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit Ufergebüsch: Entwicklung eines Fließgesetzes für Fließgewässer mit und ohne Gehölzufer, unter besonderer Berücksichtigung von Ufergebüsch*, A PhD Thesis. Wasserbau-Mitteilung der Technische Hochschule Darmstadt, Germany.
- Nuding A. (1994). *Hydraulic resistance of river banks covered with trees and brushwood*. Paper presented at the 2nd International Conference on River Flood Hydraulics, 22–25 March 1994, York, England.

- Özbek, T. (2009). *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar* (Birinci baskı). Ankara: Teknik Yayınevi, 2-4, 27.
- Piña, H. B., León, H. R., Cuevas, C. R., and Castañeda, C. C. (2014). Multilayer Numerical Modeling of Flows through Vegetation Using a Mixing-Length Turbulence Model. *Water*, 6(7), 2084-2103.
- Sonnonwald, F., Guymer, I., and Stovin, V. (2019). A CFD-Based Mixin Model for Vegetated Flows. *Water Resources Research*, 55(3), 2322-2347.
- Stamou, A. I., Papadonikolaki, G., Gkesouli, A., and Nikolettopoulos, A. (2011). *Modeling the Effect of Vegetation on River Floodplain Hydraulics*. Paper presented at the 12th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece.
- 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.
- Tsujimoto, T., and Kitamura, T. (1990). Velocity Profile of Flow in Vegetated Bed Channels, *KHL progress report 1*, Kanazawa, 43-55.
- Tu, J., Yeoh, G.H., and Liu, C. (2018). *Computational Fluid Dynamics A Practical Approach* (Third edition). Oxford: Butterworth-Heinemann, 1, 2.
- Wang, X., Yuan, D., He, Q., and Wang, X. (2014). Effects of Intertidal Wetland Vegetation and Suspended Sediment on Flow Velocity Profiles and Turbulence Characteristics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 146, 128-138.
- Wenxin Huai, W. W. (2014). Analytical Model of the Mean Velocity Distribution in an Open Channel with Double-Layer Rigid Vegetation. *Advances in Water Resources*, 69, 106-113.
- Zeng, C., and Li, C. W. (2014). Measurements and Modeling of Open-Channel Flows With Finite Semi-Rigid Vegetation Patches. *Environ Fluid Mech*, 14(1), 113-134.
- Zhaowei Liu, Y. C. (2012). Analytical Model for Vertical Velocity Profiles in Flows with Submerged Shrub-Like Vegetation. *Environ Fluid Mech*, 12(4), 341-346.
- Zhu, C., Hao, W., and Chang, X. (2014). Vertical Velocity Distribution in Open-Channel Flow with Rigid Vegetation. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-6.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDOS, Muhammed Raşit
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.06.1985, Kırıkkale
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 296 69 00
 e-mail : muhammed.rasit.aydos@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2009
Lise	Kırıkkale Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı	Uzman
2010-2011	Ayyıldızlar İnşaat / Libya	Şantiye Şefi
2009-2010	Al Habtoor Group-Murray&Roberts Jv. / BAE	Saha Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aydos M.R. (2015). *Üst Yapı İnşaatlarında Ön Tehlike Analizi (PHA) ile Risk Değerlendirmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.

Hobiler

Kitap okumak, yüzme.



GAZİ GELECEKTİR..