



**ANA YATAKTA VE TAŞKIN YATAĞINDA BİTKİ ÖRTÜSÜ BULUNAN
AÇIK KANAL AKIMLARININ SAYISAL MODEL İLE İNCELENMESİ**

Birol ATAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2016

Birol ATAY tarafından hazırlanan “ANA YATAKTA VE TAŞKIN YATAĞINDA BİTKİ ÖRTÜSÜ BULUNAN AÇIK KANAL AKIMLARININ SAYISAL MODEL İLE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği (MF) Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan : Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA

İnşaat Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

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

.....

Üye : Doç.Dr. Bahadır ALYAVUZ

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 15/01/2016

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

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

ETİK BEYAN

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

Birol ATAY

01/02/2016

ANA YATAKTA VE TAŞKIN YATAĞINDA BİTKİ ÖRTÜSÜ BULUNAN AÇIK KANAL
AKIMLARININ SAYISAL MODEL İLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Birol ATAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2016

ÖZET

Taşkın esnasında koruma amaçlı önemli bir rol üstlenen taşkın yataklarında ve ana yatakta bulunan bitki örtüsünün, akımı oldukça önemli derecede etkilediği değerlendirilmektedir. Taşkın yatağında ve ana yatakta bulunan bitki örtüsünün akımı hangi ölçüde ve değişik akım şartları altında nasıl etkilediği deneysel açıdan birçok çalışmada irdelenmiştir. Fakat deneysel çalışmalar bazı avantajlarının yanı sıra, ölçek, zaman ve maliyet açısından bazı sorunları içerebilmektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte yüksek hesaplama gücüne sahip bilgisayar modellerinin konu ile ilgili çalışmalara önemli katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Bu nedenle bu tezde literatürde mevcut deneysel çalışmaları destekleyici bir sayısal modelleme çalışması amaçlanmıştır. Bu amaç için taşkın yatağında ve ana yatakta bitki örtüsü içeren akım koşullarında Flow-3D programından elde edilen hız sonuçları ile literatürde mevcut bir deneyden elde edilmiş akım hızları karşılaştırılmıştır. Bitki örtüsü içeren açık kanal akımlarında elde edilen sayısal model sonuçlarının deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle farklı akım ve fiziksel şartlar için sayısal modellerin kullanımı ve araştırma geliştirme çalışmalarının devam ettirilmesi gerekmektedir.

Bilim Kodu : 911.1.125

Anahtar Kelimeler : Akım, Hız profilleri, Taşkın Yatağı, Bitki örtüsü, Modelleme, Flow-3D

Sayfa Adedi : 91

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT

A STUDY FOR NUMERICAL MODELLING OF VEGETATED MAIN STREAM
CHANNEL AND FLOODPLAIN OPEN CHANNEL FLOWS

(M. Sc. Thesis)

Birol ATAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2016

ABSTRACT

During a flood, the vegetation which land over main channel and flood plain that has a highly important role for protection is estimated to affect the flow very dramatically. To what degree and under various conditions how the vegetation which land over flood plain and main channel influence the flow has been experimentally researched in many studies. However, besides some advantages experimental studies can also include some problems in terms of scale, time and finance. Through the advances in computer technologies, it is expected that computers has a high capacity will contribute a lot to these studies. For this aim, flow velocity values obtained from Flow-3D programme for vegetated flood plain and main channel flow conditions are compared to flow velocities obtained from an experiment available in literature. It is seen that numerical model results obtained from vegetated open channel flows are highly compatible with the experimental results. For this reason, it is necessary to apply numerical models for various flow and physical conditions and to conduct new studies for research and development.

Science Code : 911.1.125

Key Words : Flow, Velocity profiles, Flood plain, Vegetation, Modelling, Flow-3D

Page Number : 91

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Önder KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmalarında beni yönlendiren, bilgi ve ilgisini esirgemeyen saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Önder KOÇYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışmalarım sırasında da bana desteklerini hiç eksik etmeyen eşim Burcu ATAY'a ve aileme teşekkür ediyorum. Katkılarından dolayı, İller Bankası Teftiş Kurulu Başkanı Mehmet BOLAÇ'a, Başkan yardımcıları Hakkı BİÇER ve Kemal Raşit YALÇIN'a, Başmüfettişler; Selahattin GÜVEN ve Fatih AKTÜRK'e, Müfettişler, Pınar Çekinmez, Gülşah AZAT, Muhammed ERCAN, Şenol PERGEL, Murat ÇAKIR, Mehmet BİLGİN ve Talha ALGAN'a ayrı ayrı teşekkürlerimi belirtmek isterim. Eski mesai arkadaşlarım şuanda Çalık Enerji bünyesinde iş hayatına devam eden Utku AKKAYA'ya ve KİK'te çalışan Harun ÖLMEZ'e desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarında teknik bilgi açısından desteğini esirgemeyen İOG Mühendislik çalışanları Ömer Faruk KORKMAZ ve Abdurrahman ÖZTÜRK'e de teşekkür ederim.

Bu çalışmayı varlığı ile hayatımızı daha da anlamlandıran kızım Vera'ya adıyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Bitki Örtüsü İçeren Kesitlerde Akım Yapısı.....	3
2.2. Yerel Bitkilerin Kullanımı.....	7
2.3. Hız Profilleri.....	8
2.3.1. Tek profil yaklaşımları.....	9
2.3.2. Çok-tabakalı yaklaşımlar.....	10
2.3.3. Tekil yaklaşımların süperpozisyonu.....	10
2.4. Türbülans.....	12
2.5. Bitki Örtüsü İçeren Kesitlerde Kapasite Tayini.....	13
2.6. Flow-3D Programı İle Yapılan Çalışmalar.....	17
2.7. Rijit Bitkinin Akış Parametrelerine Etkisi.....	18
3. DENEYSEL VERİLER.....	21
3.1. Kanal Yapısı.....	21
3.2. Hız Ölçüm Aleti.....	23

	Sayfa
3.3. Bileşik Kanal	23
3.4. Dikdörtgen Kanal	26
4. SAYISAL MODEL ÇALIŞMALARI	29
4.1. Flow-3D Program Yapısı	29
4.2. Hareket Denklemleri.....	31
4.2.1. Koordinat sistemleri.....	31
4.2.2. Süreklilik denklemleri ve varyasyonları	31
4.2.3. Momentum denklemleri	33
4.3. Türbülans Modelleri	35
4.3.1. Türbülans taşınım modelleri	35
4.4. Sonlu Hacim Yöntemi	40
4.5. Flow-3D Model Oluşturma.....	41
4.5.1. Çalışma alanı ve simülasyon oluşturma.....	41
4.5.2. Simülasyona ait karakteristikler ve birimler.....	43
4.5.3. Simülasyonda temel fiziksel koşulların belirlenmesi	44
4.5.4. Simülasyonda akışkanın tanımlanması	46
4.5.5. Simülasyonda çözüm ağı (mesh) ve geometri tanımlama	47
4.5.6. Simülasyonda başlangıç koşulları (t=0) girilmesi.....	57
4.5.7. Favor özelliği	57
4.5.8. Modelde çıktıların belirlenmesi.....	58
4.5.9. Sayısal koşulların belirlenmesi.....	58
4.5.10. Flow-3D programında analiz elde edilmesi.....	59
4.5.11. Flow-3D programında sonuçların izlenmesi	60
5. TARTIŞMA	61

	Sayfa
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Dört farklı yerleşime ait veriler	25
Çizelge 3.2. Bileşik kesitli ve dikdörtgen kesitli kanala ait deneysel veriler.....	27
Çizelge 4.1. Flow-3D programıyla modellenen simülasyonlara ait özet veriler.....	56
Çizelge 5.1. Flow-3D programıyla modellenen 8 deney seti.....	61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Farklı derinlik oranlarına karşılık gelen a ve C_D profilleri.....	5
Şekil 2.2. Üst boylamsal alan ile alt boylamsal alanın gösterimi	6
Şekil 2.3. Tek konsept yaklaşımları (a) BL(sınır tabakası) konsept temelli Logaritmik hız profili (b) düşük batıklık gösteren akımlar için MLA (karşım tabakası analogisi) temelli (HTP)hiperbolik tanjant profil (c) yüksek batıklık gösteren http	10
Şekil 2.4. Batmış esnek bitki örtülü akım için konsept model.....	11
Şekil 2.5. S-20, S-40, S-60, S-80 ve S-100 deneyleri için hesaplanan ve ölçülen değerlerdeki hız profillerinin kıyaslanması.....	13
Şekil 2.6. Bitki örtülü kısım ile ana yatak arası makrotürbülans	14
Şekil 2.7. Bitki örtülü ve örtüsüz kanatlardaki hız dağılımları	14
Şekil 2.8. Bitki örtüsü dağılımı a) Küçük bitki b) Orta bitki c) Büyük bitki.....	16
Şekil 2.9. Bitki örtüsünün geometrik olarak karakterize edilişi.....	17
Şekil 3.1. Bileşik kanalın plandan görünüşü.....	22
Şekil 3.2. Bileşik kanalın kesitten görünüşü	24
Şekil 3.3. Dört farklı çubuk yerleşimi (a) yüksek yoğunluklu (b) orta yoğunluklu (c) düşük yoğunluklu (d) bitkisiz	25
Şekil 3.4. Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren yarı kesitte hız ölçüm noktalarının gösterimi.....	26
Şekil 3.5. Batık bitki örtüsü içeren dikdörtgen kanalda düşey hız profili ölçüm noktalarının yerleşimi (a) çok yoğun (b) orta yoğun (c) düşük yoğun bitki örtüsü içeren ve (d) bitkisiz akım koşulları.....	28
Şekil 4.1. Sonlu hacim bileşenleri.....	41
Şekil 4.2. Hücre Sayısı - Hata Oranları gösterimi	54
Şekil 5.1. Dorcheh (2007) deney sonuçları ile Flow 3D hesaplarının kıyaslandığı nokta ve düzlemler	62
Şekil 5.2. Yüksek yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri ($y=4,40$ m)	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Orta yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri (y=4,40 m)	63
Şekil 5.4. Düşük yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri (y=4,45 m)	64
Şekil 5.5. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri (y=4,40 m)	64
Şekil 5.6. Yüksek yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=450 cm, x=18 cm)	65
Şekil 5.7. Yüksek yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=450 cm, x=21 cm)	65
Şekil 5.8. Orta yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=440 cm, x=24 cm)	66
Şekil 5.9. Orta yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=440 cm, x=15 cm)	66
Şekil 5.10. Düşük yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=445 cm, x=18 cm)	67
Şekil 5.11. Düşük yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=445 cm, x=24 cm)	67
Şekil 5.12. Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=450 cm, x=21 cm)	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. ADV cihazından bir görünüş	23
Resim 4.1. Flow-3D'de yeni çalışma alanı oluşturulması	42
Resim 4.2. Çalışma alanı içinde yeni simülasyon oluşturulması.....	42
Resim 4.3. Simülasyon genel koşullarının belirlenmesi.....	43
Resim 4.4. Model Setup içindeki Physics sekmesi.....	44
Resim 4.5. Yer çekimi etkisinin modele tanımlanması	45
Resim 4.6. Viskoz akış ile türbülans etkisinin modele tanımlanması.....	46
Resim 4.7. Akışkan tanımlanması	47
Resim 4.8. Eleman ekleme düğmeleri	48
Resim 4.9. Eleman boyutlarının girilmesi	48
Resim 4.10. Flow-3D programında kanal kesiti oluşturma	50
Resim 4.11. AutoCAD programında kanal kesiti oluşturma	50
Resim 4.12. Taşkın yatağına geçişte kullanılan çeyrek daire kesit yerleşimi.....	51
Resim 4.13. Yüksek yoğunlukta bitki örtüsünün katı modeli.....	51
Resim 4.14. *.stl girişinde transformasyon yapılması	52
Resim 4.15. Çözüm ağı (Mesh) penceresinin açılması.....	52
Resim 4.16. Mesh Block (çözüm ağı bloğu) oluşturma.....	53
Resim 4.17. Yüzeylerin sınır koşulları	55
Resim 4.18. Sınır koşullarının belirlenmesi.....	55
Resim 4.19. Bileşik kanalda sınır koşulları	56
Resim 4.20. Başlangıç koşullarının girilmesi	57
Resim 4.21. Flow-3D Çıktı seçimi	58
Resim 4.22. Flow-3D Sayısal koşulların belirlenmesi.....	59

Resim	Sayfa
Resim 4.23. Flow-3D Analiz ekranı	60
Resim 5.1. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	71
Resim 5.2. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	71
Resim 5.3. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=22 cm)	72
Resim 5.4. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=62 cm)	72
Resim 5.5. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	73
Resim 5.6. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	73
Resim 5.7. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=22 cm)	74
Resim 5.8. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=62 cm)	74
Resim 5.9. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	75
Resim 5.10. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	75
Resim 5.11. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=21 cm)	76
Resim 5.12. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=61 cm)	76
Resim 5.13. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	77
Resim 5.14. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=575 cm)	77
Resim 5.15. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=24 cm)	78

Resim	Sayfa
Resim 5.16. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=62 cm)	78
Resim 5.17. Yüksek yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=571 cm)	79
Resim 5.18. Yüksek yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=21 cm)	79
Resim 5.19. Orta yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=571 cm)	80
Resim 5.20. Orta yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=21 cm)	80
Resim 5.21. Düşük yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=572 cm)	81
Resim 5.22. Düşük yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=21 cm)	81
Resim 5.23. Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti (y=571 cm)	82
Resim 5.24. Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=21 cm)	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
$a(z)$	Birim yükseklikteki örtü yoğunluğu
a_x	Bitki elemanının akım doğrultusundaki mesafesi
a_y	Bitki elemanının akıma dik doğrultudaki mesafesi
A_{bi}	Bitki örtüsünün su içinde kalan ıslak alanı
A_T	Su yüzeyi genişliği
b_B	Bitki örtüsü genişliği
b_m	Etkili bitki örtüsü genişliği
b_o	Etkili genişlik
b_x	Gözenekli ortamdaki X eksenini yönündeki akış kaybı
b_y	Gözenekli ortamdaki Y eksenini yönündeki akış kaybı
b_z	Gözenekli ortamdaki Z eksenini yönündeki akış kaybı
b^*A	Eşdeğer ana yatak genişliği
B	Bitki örtüsü parametresi
c	Ses hızı
C	Kırılma noktasındaki kayma hızının sürüklenme hızına oranı
C_D	Direnç katsayısı
C_R	Bitki örtüsü ile ilgili bir katsayı
d	Logaritmik profil öteleme parametresi
d_{bi}	Bitki elemanının akıma dik doğrultudaki çapı
e	Euler sayısı
f	Darcy Weisbach sürtünme katsayısı
f_{bi}	Bitki örtüsü direnci
f_{gir}	Ayrım kısmında ortalama direnç katsayısı
f_{tab}	Taban direnci
f_x	X eksenini yönündeki viskoz ivmeler
f_y	Y eksenini yönündeki viskoz ivmeler
f_z	Z eksenini yönündeki viskoz ivmeler

Simgeler	Açıklamalar
F	Kuvvet
F_D	Bitki örtüsünün akıma karşı gösterdiği direnç kuvveti
g	Yer çekimi ivmesi
G_T	Kaldırma etkilerinden kaynaklanan türbülans
G_X	X eksen yönündeki cisim ivmeleri
G_Y	Y eksen yönündeki cisim ivmeleri
G_Z	Z eksen yönündeki cisim ivmeleri
h	Bitki boyu
h_A	Ana kanal su yüksekliği
h_{bi}	Bitki yüksekliği
h_c	Kırılma noktasındaki bitki yüksekliği
h_c	Askıda bitki boyu
h_i	İç bitki katman yüksekliği
h_g	Bitkisiz katman yüksekliği
h_{gir}	Ayrım alanındaki akış yüksekliği
h_T	Taşkın yatağı su yüksekliği
H	Akış yüksekliği
J	Eğilme rijitliği
k	Kinetik enerji
k	Von Karman katsayısı
k_{gir}	Ayrım alanındaki girişim direnci
k_s	Kumul pürüzlülük yüksekliği
k_T	Türbülans kinetik enerjisi
m	Kıvrımlı kanal için düzeltme katsayısı
n	Birim alandaki bitki sayısı
n	Manning pürüzlülük katsayısı
n_b	Pürüzlülük katsayısı baz değer
n₁	Yüzey düzensizlikleri için düzeltme katsayısı
n₂	Kanal kesitinin büyüklüğü ve şeklinin varyasyon değeri
n₃	Engellerin katsayısı
n₄	Bitki ve akım durumlarına ilişkin değer
Q	Debi
P	Basınç

Simgeler	Açıklamalar
P_s	Yatak kayması
P_T	Kayma etkilerinden kaynaklanan türbülans
P_w	Bitki örtüsü türbülans üretimi
r_m	Sabit referans yarıçapı
R	Hidrolik yarıçap
R_{DIF}	Türbülans difüzyon terimi
R_{SOR}	Kütle kaynağı
R_T	Taşkın yatağındaki hidrolik yarıçap
\sin	Sinüs
S	Eğim
S_c	Schmidt sayısına karşılık gelen sabit
\tanh	Hiperbolik tanjant
T_t	Düşey türbülans nakli
u	Akış yönündeki hız
u_{bi}^*	Bitki örtüsü sürüklenme hızı
u_{rms}	Türbülans yoğunluğu
u^*	Sürüklenme hızı
U_{ideal}	Ana yataktaki ideal hız
U_f	Zaman ve hacim ortalamalı boyuna akış hızı
U_{LL}	Logaritmik tabaka hızı
U_{ML}	Karışım tabakası hızı
U_{NB}	Sınır tabakası hızı
U_T	Islak yüzey uzunluğu
U_{UD}	Bitki örtüsü tabakasını içeren uniform hız dağılımı
U_{WF}	Çevrinti bölgesi hız etikisi
$U_{(Z)}$	Zaman ortalamalı hız
V_F	Akışa açık kısmi hacim
w	Z eksenindeki hız
w	Genişlik
W_{bi}	Ortalama bitki yoğunluğu
y	Y eksenindeki hız
z_0	Hidrodinamik pürüzlülük yüksekliği
α	Şevin yatayla yaptığı açı

Simgeler	Açıklamalar
ϵ_T	Türbülans yayılımı
Δf	Bitki ön yüzey alanı
Δz	Birim düşey mesafe
λ	Bitki örtüsü yoğunluğu
μ	Dinamik viskozite
μ	Momentum difüzyon katsayısı
ρ	Yoğunluk
τ_{bi}	Bitki örtüsü kayma gerilmesi

Kısaltmalar	Açıklamalar
ADV	Akustik doppler hızölçer
BL	Sınır tabakası
CFD	Hesaplama akışkanlar dinamiği
CGS	Santimetre, Gram Saniye birim sistemi
CSPRO	Varsayılan değeri 1,0 olan türbülans parametresi
DFG	Alman Araştırma Birliği
DVWK	Alman Su Kaynakları ve Yapıları Birliği
FAVOR	Kısmi alansal/hacimsel obje gösterimi
GMO	Genel hareketli obje
HTP	Hiperbolik tanjant profili
LDV	Lazer doppler hızölçer
LES	Geniş çevrinti simülasyonu
MLA	Karışım tabakası
PKW	Piyano tipi regülatör
RNG	Renormalizasyon grubu
TLEN	Türbülans uzunluğu ölçeği

1. GİRİŞ

Bitki örtüsü oluşumu doğal akarsularda sıklıkla karşılaşılan sorunlardan birisidir. Bu oluşum, kendiliğinden zamanla büyürken akarsudaki akımda bazı yapısal değişikliklere de neden olur. Örneğin, sulama veya enerji üretmek amacıyla kullanılan açık kanallarda iletilen suyun tabanından veya şevlerinden yetişen bitkiler kanalda taşınan suyun önünde engel teşkil ettiği için akışın hızını etkiler. Bu olumsuz etki ile açık kanalın öngörülen verimliliğinde bir miktar düşüş meydana gelebilmektedir.

Bir başka örnek ise; taşkın kontrolünü sağlayabilmek için yapılacak olan projelerde, akarsuyun ana yatağındaki, taşkın yatağındaki ve şevlerindeki debileri etkileyen bir faktör olarak bitki örtüsünün, taban direncinin, pürüzlülüğün, üniform olmayan çevrintili akımların, kısacası akıma rahatsızlık veren her türlü engelin debi üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekliliğidir (Altun, 2007).

Bu konuda yapılan çalışmalar ve doğada yapılan gözlemler, akarsu yatağında ağaçlık veya çalılık (büyük bitki örtüsü) içeren kesimlerde geometrik içerikli bileşik kanalların ayırım (girişim) alanında olduğu gibi, vorteks oluşumu ile etkili kütle ve momentum transferinin söz konusu olduğunu göstermiştir. Bu büyük türbülans hareketi, bitki örtüsü bulunmayan ana yatakta akımı önemli ölçüde engellemekte ve daha yavaş bir akım oluşumuna neden olmaktadır. Trapez kesitte ve diğer geometrik kesitlerde yapılan araştırmalar; aynı şartlar altında (aynı akım derinliği ve eğimde) bitki örtüsü bulunan doğal bir yatakta, bitki örtüsüz durumdaki debiye göre yaklaşık % 40 kadar azalma göstermiştir (Özbek, 2009).

Açık kanallarda doğal olarak oluşan bitkilerin önemli ekonomik etkileri bulunmaktadır. Örneğin, bitki örtüsü tarafından oluşan direnç kuvveti sebebiyle kanal için tasarlanan iletim hızından daha düşük hızların oluşması dolayısıyla aynı zaman dilimi için daha az su iletilmesi önemli bir ekonomik kayıptır. Bir diğer ekonomik etki örneği ise açık kanaldaki bitki büyüme hızına da bağlı olarak bakım/onarım masraflarının (bitkilerin temizlenmesi için) sıklığının artmasıdır.

Tüm bunların yanı sıra, bitki örtüsü kullanımı kanalda erozyonun önlenmesi açısından kullanılan biyomühendislik tekniklerinden birisidir. Erozyonu önlediği için sediment

kontrolünde diğer yöntemlere göre tercih edilebilir. Bitki örtüsü ayrıca, düşen yağmur sularının hızını kesmesi, yüzey akış hızını azaltması, zemine etki eden rüzgar ve zararlı güneş ışınlarını engellemesi nedeniyle de tercih edilebilir (Steven, 1986).

Düzgün kesite sahip olmayan, taşkın yatağında bitki örtüsü içeren menderesli yatakların akım hidrolöjisi, düzgün kesite sahip doğrusal yatakların hidrolöjine nazaran oldukça büyük farklılık göstermektedir. Doğal akarsu yatağının kesit şeklinin düzensiz olması, cidardaki pürüzlülüğün heterojen yapıda olması veya bitki örtüsü içermesi akım içerisindeki yapıyı daha da karmaşık hale getirdiğinden, bu konudaki araştırmalar iki boyutlu modellemelere yönelmiştir (Helmiö, 2002).

Birçok araştırmacı iki boyutlu modeller konusunda çalışırken (Hirschowitz, (2006); Krámer ve Józsa (2006) vs.) diğer yandan kullanıcı arayüzü gelişmiş iki-üç boyutlu programlar geliştirilmektedir. Örneğin; River2D, Flow-3D, ANSYS-CFX, FLUENT, HEC-RAS, MIKE, DIVAST vb. Bu modelleme programlarının avantajı kullanıcının kolaylıkla sınır şartlarını tanımlayabilmesi ve uygulanacak alana uygun farklı türbülans modellerinin sınanabilmesidir. Böylece kullanıcı akım üzerinde birden fazla parametrenin etkisini araştırabilmektedir. Bu nedenle bu tez kapsamında Flow-3D bilgisayar programı kullanılarak açık kanal akımı içerisinde yer alan bitki örtüsünün akım yapısına etkisi incelenmiştir.

Flow-3D modeli, literatürde bulunan mevcut deney seti için incelenmiş ve elde edilen program sonuçları deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bitki örtüsünün akıma olan etkisi incelenirken, diğer faktörlerin etkisini (örneğin, mendereslik etkisi) en aza indirmek açısından esnek olmayan bitki türü kullanılmıştır. Çalışmada, bitkilerin farklı konumları ve yoğunlukları ile kanal kesitleri (dar dikdörtgen veya bileşik kesitli) incelemenin ana hatlarını oluşturmaktadır.

Model sonuçları Dorcheh (2007) tarafından gerçekleştirilmiş doktora çalışmasından elde edilen deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Doktora tezinde bileşik kesitli, dar dikdörtgen ve geniş dikdörtgen olmak üzere üç farklı tipte kanal kesitleri kullanılmıştır. Tüm kesitlerde yoğun, orta derecede, az bitki örtüsü içeren ve hiç bitki örtüsü içermeyen dört farklı durum incelenmiştir. Tüm deneyler bitki örtüsünün sudaki batık olması/olmaması durumları için yinelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki Örtüsü İçeren Kesitlerde Akım Yapısı

1980'li yılların başında DFG (Alman Araştırma Birliği) tarafından bitki örtüsü içeren açık kanal akımları ile ilgili ilk temel araştırmalar başlatılmıştır (Özbek, 2009).

Suda yaşayan bitkiler kanallarda ve kıyı bölgelerinde ortalama ve türbülanslı akım yapısını kontrol ederler ve bu kirletici madde ve sediment taşınmasını etkiler. Bitkinin akıma nasıl etki ettiğini daha iyi anlamak için bitki modellenmiş açık kanalda bir çok deneyler yapılmıştır. Bitki örtülü akımın 3 yönünü (ortalama momentum, türbülans, ve değişim dinamikleri) de baz alan batık ve su yüzeyi bitki örtüsü arasındaki geçişine bakıldığında gözlemler; bitki örtülü akımların iki bölgede incelenebileceğini göstermiştir. “Dikey değişim alanı” olarak da adlandırılan üst bitki örtüsünde, yüzeyi kaplayan su ile olan dikey türbülans değişimi, momentum dengesi ve türbülansı için çarpıcı bir öneme sahiptir. Ayrıca bitki örtüsünün tepe noktasında ortalama kaymadan kaynaklanan türbülans da önemlidir. Alt bitki örtüsü “boyuna değişim alanı” olarak adlandırılır. Çünkü akımı çevreleyen suyla genelde boyuna adveksiyon aracılığı ile bağ kurar. Bu alanda türbülans, bölgesel olarak bitki örtüsünden dolayı oluşur ve momentum birikimi; bitki örtüsü direnci ve basınç gradyanının basit bir dengesidir. Bitki örtüsünün su üstünde kalması durumunda yalnızca boyuna değişim alanı mevcuttur. Bitki örtüsü batık duruma geçtiğinde, bitki örtüsünün üst tabakasında dikey değişim alanı meydana gelir ve batıklık derinliği arttıkça bitki örtüsünün derinliklerine doğru iner (Nepf ve Vivoni, 2007).

Literatürde bitki örtüsü içeren akım çalışmalarında, genellikle aşağıdaki özellikler kullanılmaktadır. Bunlar;

$$F = \frac{\rho u^2 h^3 w}{J} \quad (2.1)$$

Burada, F sürüklenme kuvvetlerinin sertliğe oranı olarak ifade edilmiştir.

Burada;

ρ : Yoğunluğu (kg/m^3),
 u : Akış yönündeki hızı (m/s),
 h : Bitki yüksekliğini (m),
 w : Genişliği (m),
 J : Eğilme rijitliğini (Nm^2) ifade eder.

Örtü yoğunluğunu veren ifade:

$$a(z) = nA_f(z)/\Delta z \quad (2.2)$$

Burada;

$a(z)$: Birim yükseklikteki örtü yoğunluğu (cm^{-1}),
 n : Birim alandaki bitki sayısı (adet/m^2),
 A_f : Bitki ön yüzey alanı (m^2/adet),
 Δz : Birim düşey mesafeyi (cm) ifade etmektedir.

Momentum eşitliğini veren ifade:

$$0 = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial \overline{(uw)}}{\partial z} - \frac{1}{2} C_D a u^2 \quad (2.3)$$

Burada;

g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
 H : Akış yüksekliği (m)
 $\overline{(uw)}$: Reynols gerilmesindeki hız korelasyonu (m^2/s^2)
 C_D : Direnç katsayısı
 a : Bitki örtüsü yoğunluğudur. (m^{-1})

Türbülansın toplam kinetik enerjisini veren ifade:

$$k = (u^2 + v^2 + w^2)/2 \quad (2.4)$$

Burada;

u : Akış yönündeki hız (m/s),
 v : y eksenindeki hız (m/s),
 w : z eksenindeki hızı (m/s) ifade eder.

$$\text{Düşey türbülans nakli: } T_t = \frac{\partial (wk)}{\partial z} \quad (2.5)$$

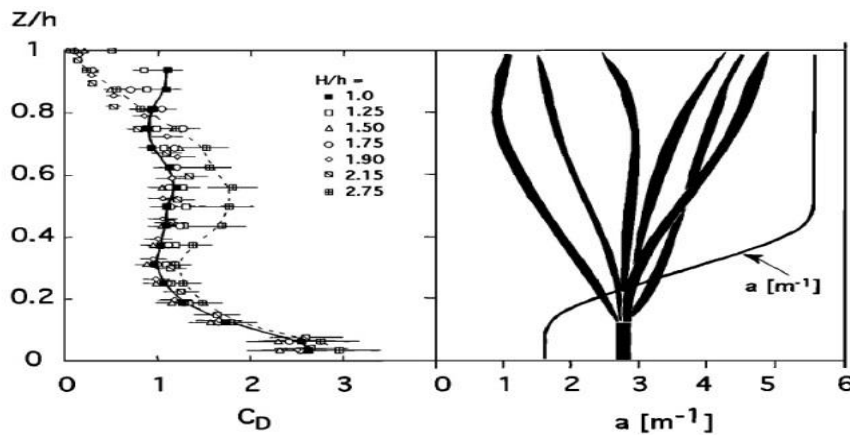
$$\text{Yatak kayma: } P_s = -(uw) \frac{\partial(U)}{\partial z} \quad (2.6)$$

eşitlikleri ile belirlenmektedir.

Burke ve Stolzenbach (1983), bitki örtüsünün türbülans üretimini (P_w) bitkisel sürtünmenin “iş” girişi olarak tanımlamışlardır:

$$P_w = \frac{1}{2} C_D a u^3 \quad (2.7)$$

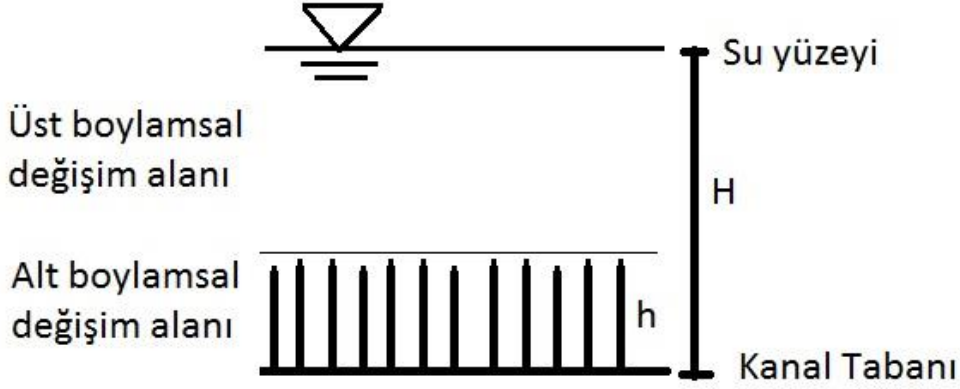
Buradaki C_D direnç katsayısı Eş.2.3'den elde edilir. Araştırmacılar ortalama akımdan bitki sürtünmesi tarafından çıkarılan enerjinin tümünün türbülans kinetik enerjisi olarak görüldüğünü varsaymışlardır. Nepf ve Vivoni (2000) tarafından gerçekleştirilen deneyler sonucunda, bitki örtüsünün yarısının üstünde, yükselen viskoz etki önemi ve düşen bitkisel Reynolds sayısına tepki olarak $C_D(z)$ 'nin yatağa doğru arttığı gözlenmiştir. Köke yakın yerlerde $C_D=1-3$ arasında belirlenmiş olup, Eş. 2.3'de. C_D hesabında yapıldığı gibi, yatak sürtünmesinin kök sürtünmesine göre ihmal edilebileceğini göstermiştir. Fakat bu sonuç deney düzeneğinde kullanılan malzemeye göre daha pürüzlü olan saha koşulları için geçerli olmayabilir. Bitki örtüsünün zirvesine doğru olan kısımda serbestleşmenin artmasıyla C_D katsayısında azalma görülür (Şekil 2.1) (Nepf ve Vivoni, 2007).



Şekil 2.1. Farklı derinlik oranlarına karşılık gelen a ve C_D profilleri (Nepf ve Vivoni, 2007)

Ölçekli laboratuvar deneyleri bitki örtüsü içeren akımlarda iki ayrı akım alanı olduğunu açıkça göstermektedir. Altta kalan “boylamsal değişim alanı” olarak adlandırılan kısım (Bkz.Şekil 2.2) suyla çevreleyen baskın boyuna adveksiyon sayesinde değişir. Bu kısımda, türbülans kökteki dalgalardan ve kök morfolojisindeki tartardan oluşur. Türbülans

seviyeleri kök dalga koşullarını belirleyen kök Reynolds sayısına güçlüce bağlıdır. Momentum yığını, bitkisel sürüklenme ve hidrodinamik basınç gradyanının (ve/veya yatak eğimi) basit bir dengesidir, düşey hız profilinin düşey bitkisel sürüklenme yapısı tarafından belirlendiği gibi. Bu yüzden hem ortalama hız hem de türbülans hızı örtü morfolojisinin detayları ile bağlantılıdır.



Şekil 2.2. Üst boylamsal alan ile alt boylamsal alanın gösterimi (Nepf ve Vivoni (2000)'den uyarlanmıştır)

Üstte kalan “boylamsal değişim alanı” (Şekil 2.2) çevrelediği suyun baskın düşey hareketi sayesinde değişir. Bu bölümde ortalama ve türbülans hızı karakteristikleri bitki örtüsünün üst kısmını şekillendiren kayma tabakası tarafından fazlasıyla etkilenir. Alt bölgenin aksine, örtü akımının özel detayları türbülans hızı ve ortalama hız açısından daha az önem taşımaktadır. Sadece örtü kayma tabakası meydana getirmek için yeterli sürüklenmeyi sağlamaktadır (Nepf ve Vivoni, 2007).

Her bir alanının uzunluğu, batıklık derinliği, örtü morfolojisi, yoğunluğu ve esnekliği tarafından belirlenir. Su yüzeyindeki bitki örtüsü için $H/h=1$ olması durumunda yalnızca boylamsal değişim alanı mevcuttur. Bitki örtüsü batık olduğunda bitki örtüsünün üst noktasında düşey değişim alanı ortaya çıkar ve batıklığın derinliği 1'den 2'ye doğru arttıkça sürekli olarak bitki örtüsünün içine doğru derinleşir. Unutulmamalıdır ki, a değeri hem kök yoğunluğuyla (n) hem de bireysel kök morfolojisi yani ön yüzey alanı (A_f) ile artış gösterir. Kök morfolojisi ve esnekliği sayesinde nüfuz derinliği artabilir. Örneğin, daha düz silindirik bir köke kıyasla dallı veya ağaçsı bir kök her bir ön yüzey alanı için daha fazla sürüklenme yani daha yüksek C_D oluşturur. Ayrıca kökler esnek olduğunda hem

a hem C_D hızın fonksiyonları olabilirler. Artan akış hızıyla esnek bitkiler dik bir duruştan içe doğru veya dalgalanma şekline geçerler. Örtünün eğilmesi örtünün üst noktasındaki a değerini etkin bir şekilde yükselterek bölgesel ön yüzey alanını artırır. Aşırı içe bükülme örtünün üst noktasında katı bir yaprak bariyeri oluşturarak düşey değişimi tamamen ortadan kaldıracaktır. Bazı esnek örtülerde yumuşak tek yönlü akımlar “monami” adı verilen tutarlı bir dalga üretirler. Ackerman ve Okubo'nun (1993) laboratuvar çalışmaları, monami durumları sırasında düşey değişimin artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

2.2. Yerel Bitkilerin Kullanımı

Nehirlerdeki bitki örtüsü, nehir çevresini restore etmekte ve geliştirmekte önemli rol oynar. Kaplamaya estetik bir değer katmasından öte çevre dostu bir set koruması gibi kullanılabilir. Açık kanal hidrolüğünde bitki örtüsü genellikle akım direncinde değişikliklere dolayısıyla da genelde sel seviyesinde artışa neden olur. Açık kanallardaki bitki örtüsünün akış direnci üzerinde hem deneysel hem sayısal araştırmalar yapılmıştır. Ancak, araştırmalar genellikle bölgede bulunan bitki örtüsüne dayanmaktadır bu da sonuçların genel geçerliliğini kısıtlamaktadır. Örneğin; Rhee, Woo, Kwon, Ahn, (2008) tarafından yapılan deneylerde, 3 farklı doğal Kore bitki örtüsü, (*Zoysia matrella*, *Pennisetum alopecuroides Spreng* ve *Phragmites communis Trin*) kullanılarak kanal bitki örtüsünün akım direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Her bir bitki için “n-uR” eğrisi belirlenmiştir. Rhee ve diğerleri (2008) tarafından bitkilere farklı akım ve yoğunluk koşulları altında test yapılmıştır. Araştırmacı tarafından örneğin; *Z. matrella* tamamen batık durumda, diğer ikisi hem batık hem de batık olmayan koşullarda deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, Manning (n) katsayısı olarak ifade edilen direnç katsayısı *Z.matrella* için uR arttıkça yaklaşık 0,027 (toplam pürüzlülük) değerine yakınsamakta olduğu görülmüştür. Diğer bitkiler için direnç katsayısının bitkilerin durumundan yani diri veya cansız olmasından etkilendiği tespit edilmiştir. Genellikle bitkiler diri iken cansız oluşuna göre direnç katsayısı daha yüksektir. Bunun sebebi, direnç katsayısının bitki kökünün yanı sıra nehir akımındaki bitki örtüsü yaprak kısımlarından da etkileniyor olmasıdır. Bitki örtüsünün bükülen kısmı ile su yüzeyi arasındaki etkileşim de direnç katsayısını artırır. Su derinliği açısından *Z.matrella* ve *P.alopecuroides Spreng*'a kıyasla *P. communis Trin*'in direnç katsayısının daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir (Rhee ve diğerleri, 2008).

Açık kanallarda hidrolik direnç temel olarak ıslak alandaki viskoz ve sürüklenme kuvvetlerinden meydana gelir. Bitki örtüsü içeren kanallardaki pürüzlülük temel olarak üçe ayrılır: zemin tane pürüzlülüğü, şekil pürüzlülüğü ve bitkisel pürüzlülük. Çoğu bitki içeren kanalda, bitki yoğunluğu tarafından karakterize olmuş bitkisel pürüzlülük, bitki yüksekliği ve bitki tipi kanaldaki akım direncinde baskınlık gösterir.

Pürüzlülük Arcement ve Scheinder (1984) tarafından aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir;

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (2.8)$$

Burada;

n_b = baz değer düz, uniform ve pürüzsüz kanal için,
 n_1 = yüzey düzensizlikleri için düzeltme katsayısı,
 n_2 = kanal kesitinin büyüklüğü ve şeklinin varyasyon değeri,
 n_3 = engellerin katsayısı,
 n_4 = bitki ve akım durumlarına ilişkin değer,
 m = kıvrımlı kanal için düzeltme katsayısıdır.

n - uR ile n - Re ilişkisi aslında benzer olduğu tespit edilmiş. Genel olarak uR yükseldikçe n değeri düşüyor. n değerindeki azalma bitki eğilmesi ve batıklığın artmasından kaynaklanmaktadır. En düşük Manning pürüzlülük değeri (n), uR çarpımının değerinin bitkileri tamamen düşey konuma gelmesi için gerekli olan büyüklüğe erişmesi ile oluşur. Bu durumun aksine, akımın laminer veya geçiş bölgesinde olması durumunda ($Re < 10^4$), Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı, f değeri uR düştükçe düşer (Chen, 1976; Green, 2005)

2.3. Hız Profilleri

Bitki örtüsü içeren kanaldaki ana akım ekseninde oluşan hızın düşey profili akım-bitki etkileşiminin karmaşık mekanizmasını yansıtır ve akımın büyük bir kısmının hızını ve debisini belirler. Ölçülmüş hız profilleri tüm muhtemel akım-bitki örtüsü etkileşim senaryolarıyla tamamen uyuşmasa da model yaklaşımları, teorik düşünceye ve veri yorumlamasını destekleyen tek fiziksel model esasına dayanır. Nikora, Nikora ve O'Donoghue (2013) yaptıkları bir araştırma ile bunun sonucu olarak, farklı konseptteki birçok model yeni geliştirilmiş farklı akım bölgelerine uygulamıştır.

Bitki örtüsü içeren kanallardaki düşey hız profilini, (1) homojen hız dağılımı, (2) karışım tabakası analogisi ve bir hiperbolik tanjant profili, (3) sınır tabaka yaklaşımı ve bir logaritmik profili, (4) çevrinti fonksiyonu yaklaşımı, gibi 4 farklı yaklaşımın doğrusal süperpozisyonu gibi modellenmeleriyle Nikora ve diğerleri (2013) yaptıkları bir araştırma ile yeni bir yaklaşım önerisi olarak sunmaktadır.

Genelde, hız profillerini tanımlamak için kullanılan son zamanlarda geliştirilen modeller iki ana kategoride gruplanabilir: tek profil yaklaşımı ve bölümlenmiş hız profilleri yaklaşımıdır. Söz konusu araştırmalarda tüm akım derinliğine uygulanan çeşitli geleneksel yaklaşımların doğrusal süperpozisyonunu temel alan üçüncü bir yol keşfetmek amaçlanmıştır (Nikora ve diğerleri, 2013).

2.3.1. Tek profil yaklaşımları

Sınır tabakası ve karışım tabakası analogisi bitki örtülü kanallardaki hız profillerini tanımlamakta kullanılan en genel fiziksel model yaklaşımlarıdır (Nikora ve diğerleri, 2013). Bu yaklaşımda, bitki örtüsü tabakasının yukarıdaki hız dağılımı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmıştır:

$$\frac{U(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{z}{h_c} \right) + C \quad (2.9)$$

Burada;

$U(z)$ = Zaman ortalamalı hız değeri (m/s),

u_* = Sürüklenme hızı (m/s),

z = Kanal yatağının merkezinden düşey yöndeki mesafe (m),

h_c = Kırılma noktasındaki bitki örtüsü yüksekliği (m),

$k = 0,4$ olup, Von Karman katsayısıdır.

$C = \frac{u_{hc}}{u_*}$ kırılma noktası yüksekliğindeki (h_c) kayma hızının, sürüklenme hızına oranıdır.

Dolayısıyla, bitki örtüsünün üzerindeki logaritmik hız profili şu şekilde tanımlanabilir:

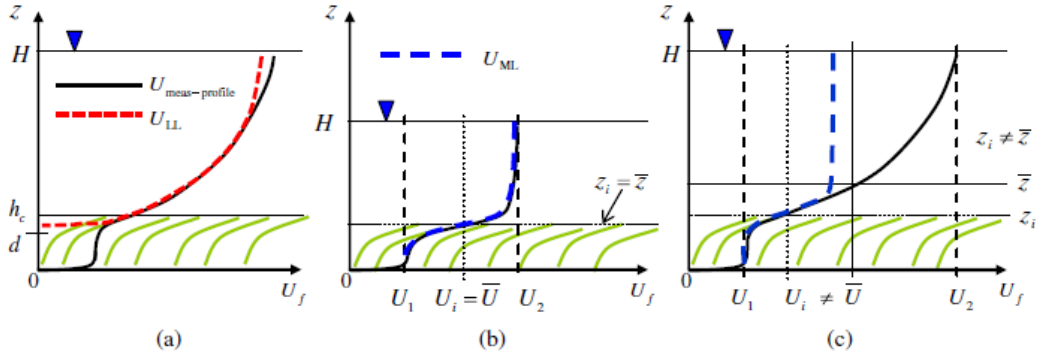
$$\frac{U(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{z-d}{k_s} \right) + C \text{ veya } \frac{U(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right) \quad (2.10)$$

Burada;

$z_0 = k_s e^{-kz}$ hidrodinamik pürüzlülük uzunluğu (m),

k_s = kumul pürüzlülük yüksekliği (m),

d = logaritmik profil öteleme parametresini (m) ifade eder.



Şekil 2.3. Tek konsept yaklaşımları (a) BL(sınır tabakası) konsept temelli Logaritmik hız profili (b) düşük batıklık gösteren akımlar için MLA(karşım tabakası analogisi) temelli (HTP)hiperbolik tanjant profil (c) yüksek batıklık gösteren http (Nikora ve diğerleri, 2013)

2.3.2. Çok-tabakalı yaklaşımlar

Akışın farklı katmanlara ve segmentlere bölünmesi ve her bir segmente özel mekanizmaların belirlenmesi mantığı ile çalışan bitki örtüsü özellikleri önemli rol oynar. Örneğin, araştırmacılar aynı kanalda seyrek bitki örtüsü üzerindeki akımlarla sınır tabakası yaklaşımına benzetirken, yoğun bitki örtülerinde karışım tabakası davranışı gösterdiğini belirtmiştir (Poggi ve diğerleri, 2004). Orta yoğunluklu bitki örtüsü içerenler içinse sınır tabakası yaklaşımı, karışım tabakası yaklaşımı ve Von Karman çevrinti yaklaşımının beraber uygulandığı bir model önermişlerdir.

2.3.3. Tekil yaklaşımların süperpozisyonu

Bitki örtüsü içeren akımlardaki türbülans yapısı, birbirleriyle doğrusal olmayan bir şekilde etkileşime girerek aynı akış alanı içerisinde meydana gelebilen çok sayıda türbülans oluşumunu ve momentum taşıma mekanizmalarını içerir (Nikora ve diğerleri, 2013). Hız, aşağıda verilen denklem ile ifade edilebilir:

$$U_f = U_{NB} + U_{UD} + U_{ML} + U_{LL} + U_{WF} \quad (2.11)$$

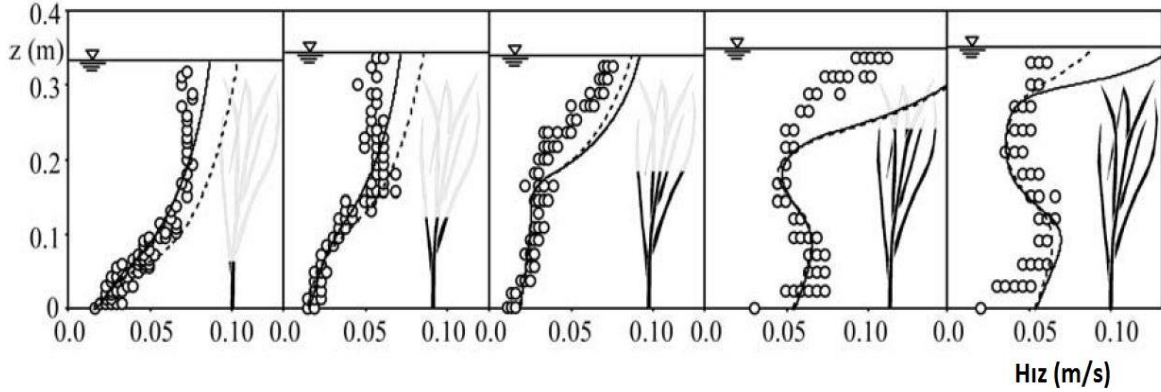
etkiler azalan S_b değeri ve artan H/h_c değeri ile artış gösterme eğilimindedir ki bu üst akım bölgesinde ölçülen hızların farklılaşmasına neden olmaktadır.

Eş. 2.11'ün pek çok parametresinin hidrolik karakteristikler (batıklık, en-boy oranı ve taban eğimi) tarafından etkilendiği gözlemlenmiştir (Nikora ve diğerleri, 2013). Bu durum model parametreleri arasında ilişkilerin olabileceğini sunmaktadır. Eş. 2.11'in toplam hız profiline en önemli katkı karışım tabakası ve logaritmik tabaka terimleri tarafından sağlanmaktadır.

2.4. Türbülans

Bitki örtüsü, ortalama ve türbülans akış yapısını etkiler bu da kirleticinin ve sedimentin yerel taşınım sürecine etki etmektedir. Defina ve Bixio (2005) tarafından yapılan çalışmada, akım iki farklı türbülans modeli ile ifade edilmektedir. Bunlar, Boussinesq eddy viskozitesi temelli uyarlanabilir $k-\epsilon$ modeli ve karışım uzunluğu modelleridir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmada, bitki örtüsünün içindeki ve üzerindeki türbülans yapısını tanımlamak için, bir türbülans enerji bütçesi denklemi önerilmiştir. Deneysel veriler ile modelin sonuçları kıyaslandığında, hız ve türbülans kayma gerilmelerinde iyi bir uyum olduğu gözlenmekle birlikte, eddy viskozitesi dağılımında, türbülans kuvvetinde ve türbülans enerji bütçesini kapsayan çoğu terimde ciddi farklılıklar tespit edilmiştir.

Rijit bitki örtüsü içinden geçen tek boyutlu akımları konu alan çalışmalara gelen eleştiriler de batık bitki örtüsü içindeki ve üzerindeki hız profilini belirlerken kullanılan iki farklı yaklaşım olduğu belirlenmiştir: birincisinde iki katmanlı yaklaşım incelenmiş, bitki örtülü akım ve üst tabaka ayrı ayrı değerlendirilirken (Klopstra ve diğerleri, 1997; Meijer ve Velzen, 1999; Righetti ve Armanini, 2002) ikincisinde, bitki örtüsünden kaynaklı sürtünmenin hem momentum eşitliklerine hem de k ve ϵ denklemlerine etki ettirildiği uyarlanmış türbülans $k - \epsilon$ modeli göz önünde bulundurulmuştur (Burke ve Stolzenbach, 1983; Shimizu ve Tsujimoto 1994).

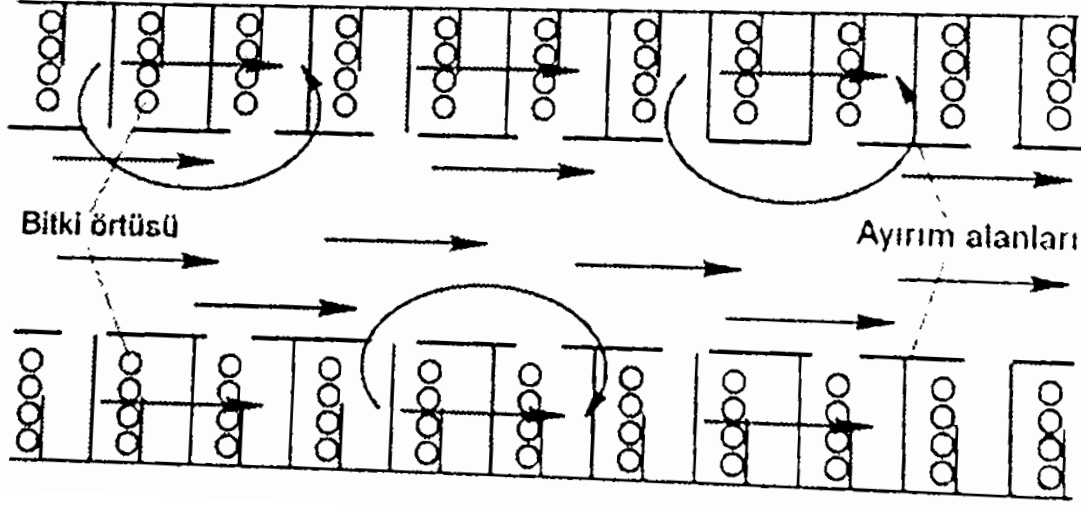


Şekil 2.5. S-20, S-40, S-60, S-80 ve S-100 deneyleri için hesaplanan ve ölçülen değerlerdeki hız profillerinin kıyaslanması (Defina ve Bixio, 2005)

$k - \varepsilon$ modeli ve iki-katmanlı modellerin rijit bitki içeren akımlardaki başarıları bir çok sayısal benzeşim ile denenmiş, deneysel veriler ile her iki modelin sonuçları kıyaslanmıştır (Şekil 2.5). Sonuçlar bu modellerin bitki örtülü kısımda ve üzerinde oldukça isabetli düşey hız profilleri ve kayma gerilmeleri oluşturulduğunu göstermiştir. Dolayısıyla bu modeller akımdaki bitkisel direnci değerlendirmek için kullanılabilir. Varsayılan sürtünme katsayısı değerinin hız profilini oldukça etkilediği görülürken, kayma gerilmesi üzerinde etkisinin az olduğu görülmektedir (Defina ve Bixio, 2005).

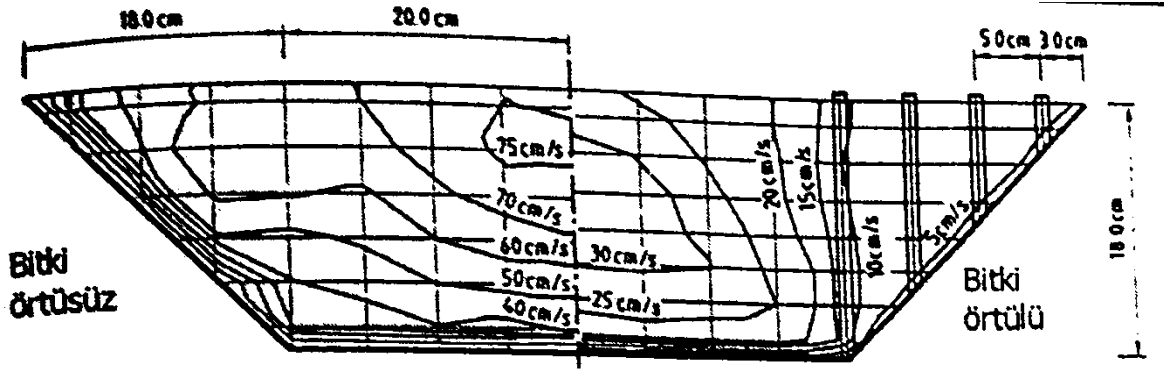
2.5. Bitki Örtüsü İçeren Kesitlerde Kapasite Tayini

Bu konuda yapılan çalışmalar ve doğada yapılan gözlemler, akarsu yatağında ağaçlık veya çalılık (büyük bitki örtüsü) içeren kesimlerde de, geometrik içerikli bileşik kanalların ayırım (girişim) alanında olduğu gibi, vorteks oluşumu ile etkili kütle ve momentum transferinin söz konusu olduğunu göstermiştir (Bkz. Şekil 2.6). Bu makrotürbülans, bitki örtüsü olmayan ana yatakta akımı önemli ölçüde frenlenmekte ve daha yavaş bir akım oluşumuna neden olmaktadır. Buna karşılık bitki örtüsü içeren kesimde hızların çok küçük olması nedeniyle, ayırım alanından bitki örtüsü bölgesine geri dönen su az da olsa bitki örtüsü içeren kesimdeki akımı hızlandırmaktadır (Özbek, 2009).



Şekil 2.6. Bitki örtülü kısım ile ana yatak arası makrotürbülans (DVWK, 1994)

Bir şevi bitki örtüsüz, diğer şevi bitki örtülü trapez bir kesitte yapılan simülasyon sonucu, girişimin hız dağılımına olan etkisi Şekil 2.7'de görülmektedir (DFG, 1987). Her bir ayırım kısmında ortalama direnç katsayısı f_{gir} ile hızlar hesaplanmaktadır.



Şekil 2.7. Bitki örtülü ve örtüsüz kanatlardaki hız dağılımları (Bertram, 1985)

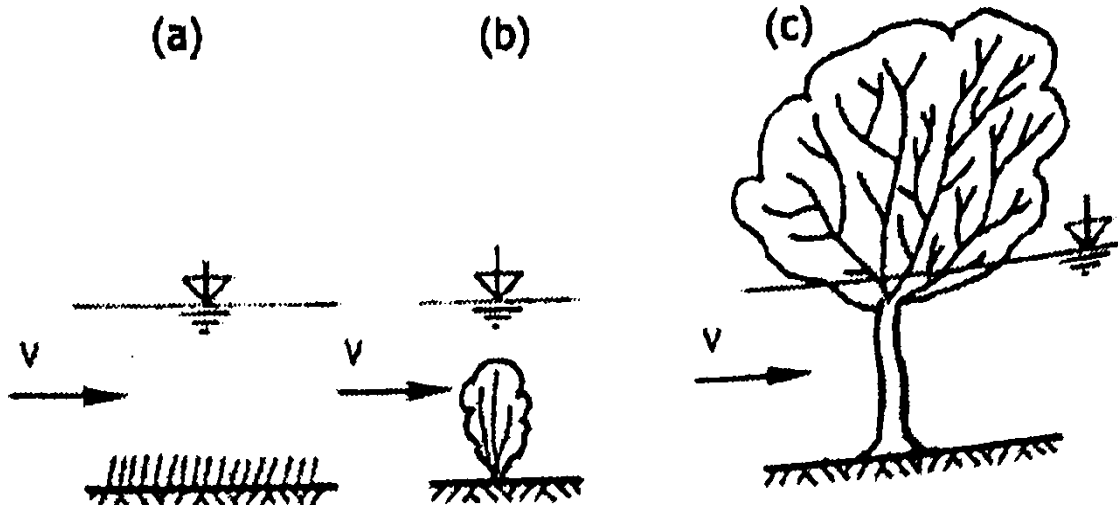
Trapez kesitte ve diğer geometrik kesitlerde yapılan araştırmalar sonucu aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Aynı şartlar altında (aynı akım derinliği ve eğimde) bitki örtüsü söğüt ağacı olan doğal bir yatakta bitki örtüsüz durumdaki debiye göre yaklaşık %60 kadar debi geçmektedir (Özbek, 2009).

Şevlerinde bitki örtüsü içeren akarsuların akım davranışı oldukça kompleks bir yapı göstermekte olup, hesabına deterministik olarak yaklaşmak oldukça zordur. Tüm bunlara rağmen araştırmalara dayanarak uygulamaya yönelik kullanımı kolay olan farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Bitki örtüsü adı altında çimenlik, otsu bitkiler, çalılık ve ağaç gövdesi anlaşılır. Bitkinin tamamen veya kısmen su içerisinde bulunmasına göre, tekil ya da grup olarak değerlendirilme zorunluluğu vardır. Bitki elemanı ile tek bir bitki çeşidi ya da tek bir bitki çeşidinin parçası (gövde, dal, filiz) ve bitki grubu tanımıyla tabanda ve kesit içerisinde birçok bitki çeşidinin (orta veya büyük bitkiler) bir arada grup şeklinde bulunması anlaşılmaktadır. Düşük, orta ve yüksek akım rejimine bağlı olarak dört ana bitki bölgesi tanımlanmaktadır. Bunlar su bitkileri, çalılık, seyrek bölge veya yoğun bölge olarak adlandırılmaktadır.

Bitkilerin ve akım davranışlarının farklılığı, farklı bitki örtüsü dirençlerini tanımlama açısından sınıflama zorunluluğu getirir. Akım formüllerinde kesitteki ortalama hız ile ya da belli bir hız dağılımı ile çalışıldığından, bitki örtüsü sınıflaması ile kesitteki beklenen farklı hız dağılımlarını konumlandırmak mantıklı olmaktadır. Bu konumlandırma akımın bitki örtüsü arasından veya üzerinden geçmesine bağlı olacaktır. Dolayısıyla akım derinliğine göre bitki örtüsünün yüksekliğine bağlı olarak üç farklı durum ortaya çıkar.

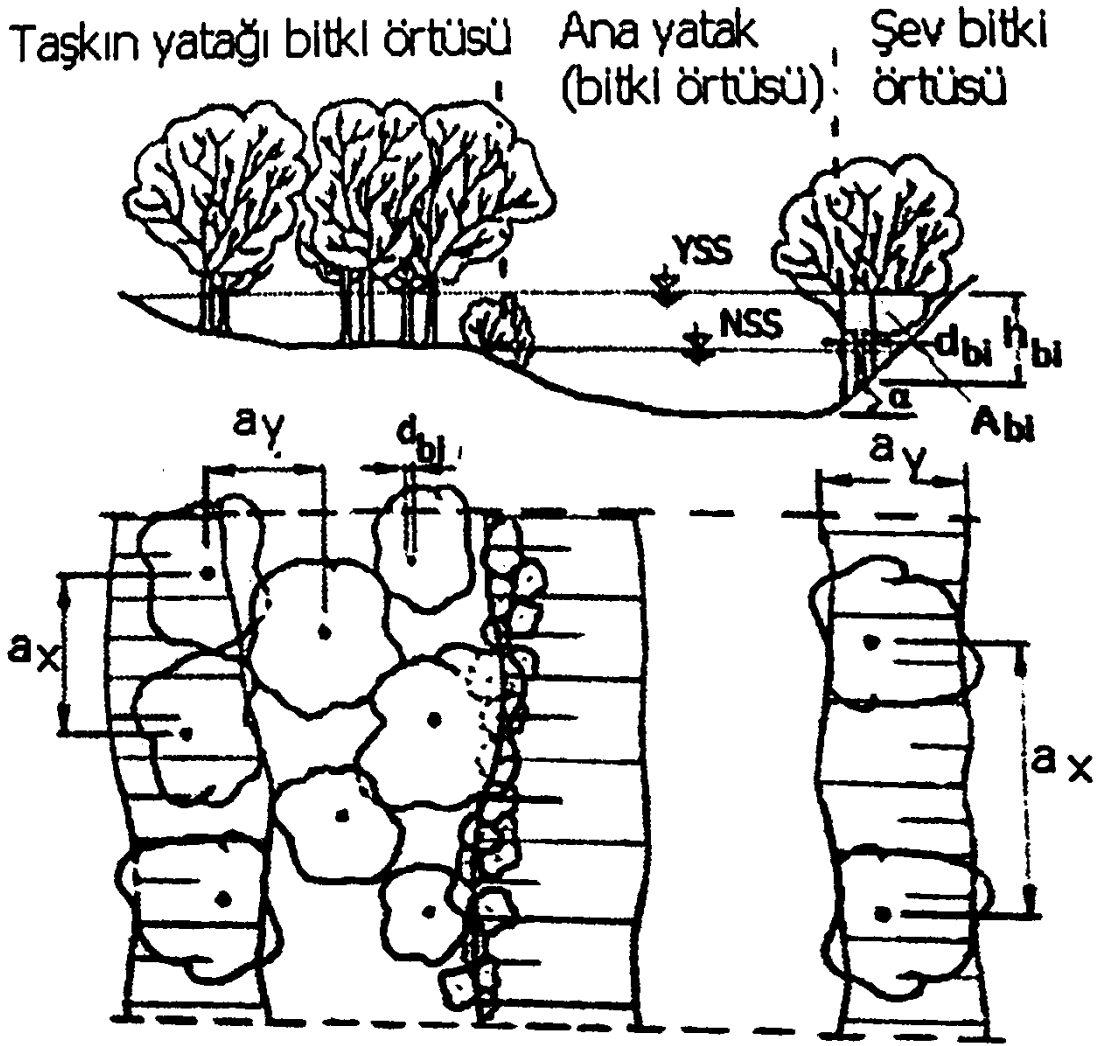
Küçük bitki örtüsü, yüksekliği su derinliğine göre oldukça küçük olan ve bir yüzey pürüzlülüğü şeklinde düşünülebilen bitki örtüsüdür. Bu bitkiler Şekil 2.8-a'da görüldüğü üzere tamamen batık durumdadır. Küçük bitki örtüsü içeren doğal yataklı kanallarda kumul pürüzlülüğü ile bitki örtüsünün karakteristiği tanımlanır. Yani hız dağılımı tabanı tamamen çim örtülü olan pürüzlülüğün etkisindeki hız dağılımı gibidir.



Şekil 2.8. Bitki örtüsü dağılımı a) Küçük bitki b) Orta bitki c) Büyük bitki (Özbek, 2009)

Orta büyüklükteki bitki örtüsü, yüksekliği akım derinliğine yakın olan bitki örtüsüdür. Bu durumda akım ya bitkinin arasından ya da tamamen üzerinden geçebilir (Bkz. Şekil 2.8-b). Taşkın durumunda orta büyüklükteki bitki örtüsü küçük bitki örtüsü şeklinde düşünülebilir ve k kumul pürüzlülüğü yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Küçük akım derinlikleri için büyük bitki örtüsü olarak kabul edilmesi tavsiye edilir (Özbek, 2009).

Büyük bitki örtüsü, bitki yüksekliği (h_{bi}) akım derinliğinden (H) her zaman büyük kabul olmaktadır. Akım yalnızca bitki örtüsü arasından geçer (Bkz. Şekil 2.8-c). Derinlik boyunca hız neredeyse sabittir. Bu tür bitki örtüsü için üç ana parametre söz konusudur; bitki elemanının akım doğrultusundaki mesafesi a_x , bitki elemanının akıma dik doğrultudaki mesafesi a_y bitki elemanının akıma dik doğrultudaki çapı d_{bi} . Bitki örtüsünün su içinde kalan ıslak alanı $A_{bi}=h_{bi} \cdot d_{bi}$ eşitliğinden bulunur (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Bitki örtüsünün geometrik olarak karakterize edilişi (Özbek, 2009)

2.6. Flow-3D Programı İle Yapılan Çalışmalar

Geçmiş çalışmalara bakıldığında Flow-3D programından bir çok farklı alanda modelleme çalışmalarında faydalandığı görülmektedir.

Bolin, Yue-ping, Shichang, Guangning, (2012) tarafından yapılan çalışmada, 3 geçit barajında rezervuar alanına düşen kayaların oluşturduğu dalgaların Zhaojun Köprüsüne etkileri analiz edilmiştir. Flow-3D programı ile oluşturulan simülasyondan, kaya düşmesiyle oluşan maksimum dalga boyu, genişliği, enerji transfer oranı gibi veriler elde edilmiştir. Bu verilerin yerinde gözlemlenen incelemelerle tutarlı olduğu görülmüştür.

Lefebvre, Vermeulen, Blancher (2014) tarafından yapılan bir araştırmada piyano tipi regülatörde, geometrik parametrelerin debiye etkisi sayısal model ile incelenmiştir. PKW'nin (Piano key weirs – Piyano tipi regülatör) yüksekliği, giriş-çıkış tuş genişlikleri, nozul ve parapet duvarlarının kullanımı ve iç duvarların eğimindeki değişimlerin detaylı sonuçları elde edilmiştir. Bazı sonuçlar tutarlı iken bir takım sonuçlarda (parapet duvarlarının etkisi) uyuşmazlıklar görülmüştür.

Nurul (2012) yaptığı çalışmada, silindirik dikey yuvarlak batık jetin doğrulama işlemlerini Flow-3D programından yararlanarak gerçekleştirmiştir. Doğrulama işlemi için deneysel veri aşamasında LDV (Laser Doppler Velocitimeter – Lazer Doppler Hızölçer) kullanmıştır. Araştırmacı türbülans modelleri arasında RNG modelin k-ε modeline göre akım davranışını daha iyi tanımladığını görmüştür.

2.7. Rijit Bitkinin Akış Parametrelerine Etkisi

Dorcheh (2007) tarafından, bileşik kesitli kanalın taşkın yatağında, dikdörtgen kanalda ve geniş kanalda, farklı batıklıktaki bitki örtüsü içeren çeşitli laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. ADV (Acoustic Doppler Velocimeter- Akustik Doppler hız ölçer) cihazı ile farklı noktalarda ölçümler elde edilmiştir.

Dorcheh, (2007) ölçümlerden, bileşik kanalda hızın en yüksek olduğu yerde, enine hızın en düşük değerde olduğunu gözlemlemiştir. Genel olarak da hız bileşenlerinden birinin artması durumunda diğerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Su yüzeyinde veya geçiş bölgelerinde (taşkın yatağı ile ana yatak arası) en yüksek hız dalgalanmaları ve Reynolds gerilme bileşenleri oluşmaktadır. Ana kanalda, bitki örtüsünün artması ile hız profilinde, hızın küçük dalgalanmalarında ve Reynolds gerilmelerinde düzensizlikler artmakta, en yüksek üniformluk ise bitkisiz kanalda gerçekleşmektedir. Bitkiyi temsil etmek için kullanılan çubukların tepesinden suyun yüzeyine doğru ani hız artması görülmektedir. Bitki sıklığı arttıkça, ana akış çubukların üstüne doğru kaymıştır. Dolayısıyla, yüksek yoğunlukta bitki örtüsü içeren akış için çubuklar ile su yüzeyi arasındaki hız farkı en yüksek olurken, düşük yoğunlukta bitki örtüsü içeren veya bitkisiz akışta ise bu farkın daha az olduğu dikkat çekmiştir.

Şaşırtmalı dizilmiş çubuklar; hızın, hız dalgalanmalarının ve Reynolds gerilmesi bileşenlerinin daha fazla alana dağılmasına sebep olurlar. Diğer yoğunluktaki değişim normalden, orta yoğunluktaki durumda, yüksek derecede difüzyon gözlenmiştir. Farklı noktalarda, türbülans yoğunluğunun büyük ölçüde değişebildiği gerçekleştirilen deneylerle gösterilmiştir. Türbülans yoğunluğu çubukların arasında en yüksek seviyedeysen, mansaba doğru gidildikçe düşüş göstermektedir (Dorcheh, 2007).

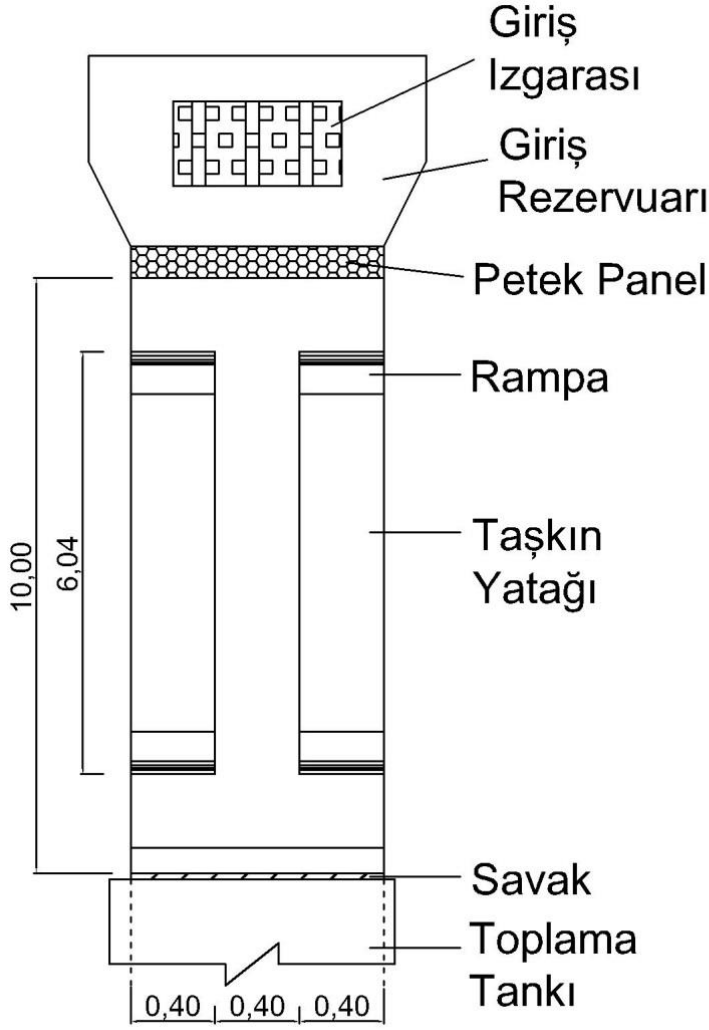
3. DENEYSEL VERİLER

Dorcheh (2007) tarafından doktora tezi kapsamında, rijit bitkinin akış parametrelerine etkisini konu alan deneyler Galler'in başkentinde bulunan Cardiff Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarlarında Ocak 2003 ile Nisan 2006 arasında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma için bileşik kanal, dikdörtgen kanal ve geniş dikdörtgen kanal olmak üzere 3 farklı kesit tasarlanmış ve bu kanalların içerisine, çok yoğunlukta, orta yoğunlukta, az yoğunlukta olmak üzere 3 farklı tipte bitki örtüsünü temsilen çubuklar yerleştirilmiştir. Ayrıca, aynı kanal kesitleri için bitki içermeyen akış koşulları da oluşturulmuştur.

Geniş dikdörtgen ve bileşik kesitli kanallarda hızı ölçümü tüm kesit genişliği boyunca yapılırken, dar dikdörtgen kanal kesiti için çeşitli noktalarda ölçümler yapılmıştır.

3.1. Kanal Yapısı

Laboratuvarda yapılan deneyler 1,2 m genişliğinde, 10 m uzunluğunda ve 0,30 m derinliğinde, 1/1000 yatak eğimine sahip suyun devridaim ettiği bir kanal ile test edilmiştir. Bileşik kanal ve geniş kanal duvarları ve tabanının tamamı camdan olmak üzere, kenar kısımları 10 mm kalınlığındaki cam ile güçlendirilmiştir. Dar dikdörtgen kanal ise ahşaptan oluşturulmuştur (Şekil 3.1).



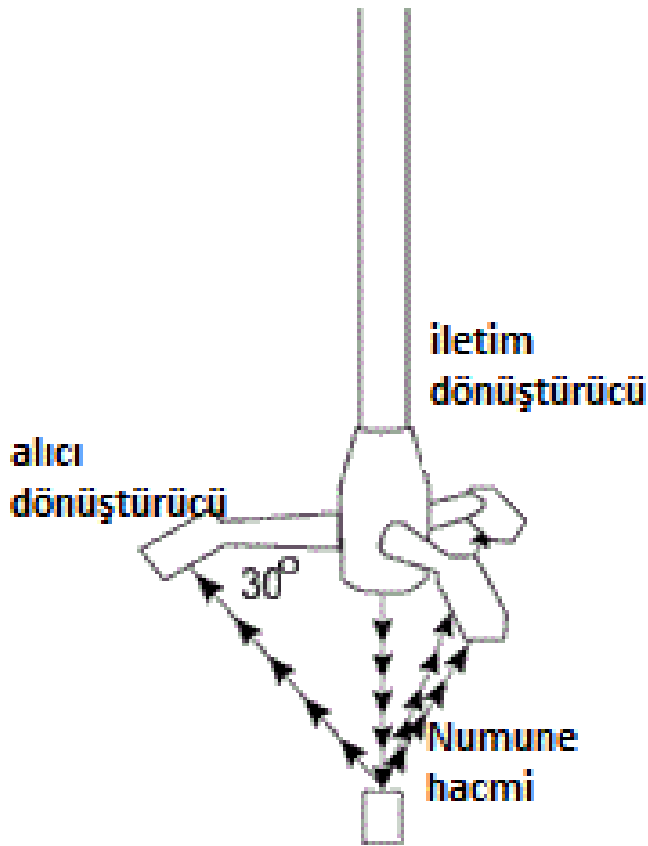
Şekil 3.1. Bileşik kanalın plandan görünüşü (Tüm ölçüler m cinsindedir) (Dorcheh (2007)'den uyarlanmıştır)

Kanalda devridaimi sağlamak için 0,8 l/s kapasiteli bir adet santrifuj pompası kullanılmıştır. Herhangi bir hava girişimi yetersiz su girişine veya kavitasyona sebep olabilecektir.

Su girişi ilk aşamada, kanalın membasındaki giriş rezervuarı içindeki ızgaraya kanalın altındaki besleme borusuyla gelen suyun pompalanmasıyla gerçekleştirilir. Ardından, suyun kanala girişinde petek panelden geçmesi sağlanarak, türbülans ve akıştaki düzensizliklerin azaltılması sağlanır. Akış rejimini ve deney süresince derinliği kontrol etmek için ayarlanabilir çelikten ince bir savak mansaba yerleştirilmiştir.

3.2. Hız Ölçüm Aleti

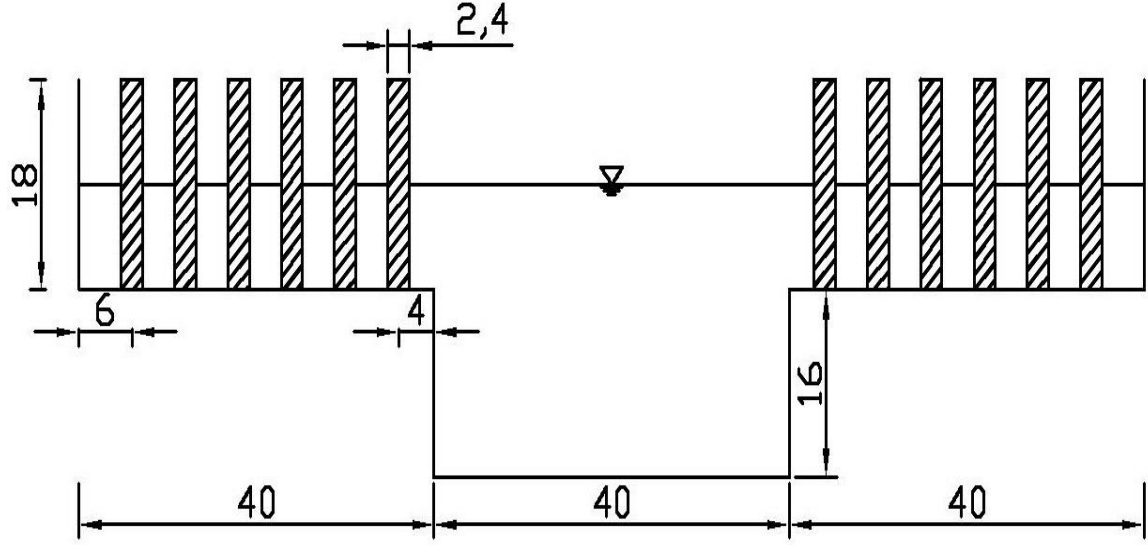
3 boyutlu akustik doppler hız ölçer (ADV) tüm kanal kesitindeki noktasal hızı ölçmek için kullanılmıştır (Resim 3.1). Akustik doppler hız ölçer doppler kayması prensibine göre işlemektedir. ADV cihazı hızın 3 yöndeki (x, y, z) bileşenini de ölçebilmektedir. Bir ölçüm süresi 3 dakika ve ölçüm frekansı 25 Hz'dir.



Resim 3.1. ADV cihazından bir görünüş (İnternet: Son erişim tarihi: 2015-12-24. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gulfofmaine-census.org%2Feducation%2Fresearch-technology%2Facoustical-instruments%2Fdoppler-based-velocimeters%2F&date=2015-12-24>)

3.3. Bileşik Kanal

Bileşik kesitte kanal, ana kanal genişliği 40 cm ve taşkın yatakları 40 cm olan simetrik bir yapıdadır.



Şekil 3.2. Bileşik kanalın kesitten görünüşü (Tüm ölçüler cm cinsindedir) (Dorcheh (2007)'den uyarlanmıştır)

2,4 cm çaplı ve 18 cm uzunluktaki ahşap çubuklar rijit bitki örtüsünü temsil etmesi için kullanılmıştır. Kesit genişliği boyunca boşluklu olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.2).

Diğer deney kesitinde (sabit genişlikteki dar dikdörtgen kanal) de aynı çaptaki çubuklar kullanılmıştır. Araştırmacının 18 cm uzunluğundaki çubuklara ek olarak 30 cm uzunluğundaki çubukları da batık durum için test etmesine rağmen bu tez kapsamında sadece 18 cm'lik çubukların deneye dahil olduğu durumlar dikkate alınmıştır. Dört farklı çubuk yerleşimi denenmiş ve bunlara ait özet veriler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Yoğunluğu bir başka şekilde ifade etmek gerekirse;

$$\text{Yoğunluk } \lambda = \frac{\text{kontrol hacimdeki bitki alanı}}{\text{kontrol hacimdeki toplam akış hacmi}} = \frac{\Phi}{a_x \cdot a_y} \quad (3.1)$$

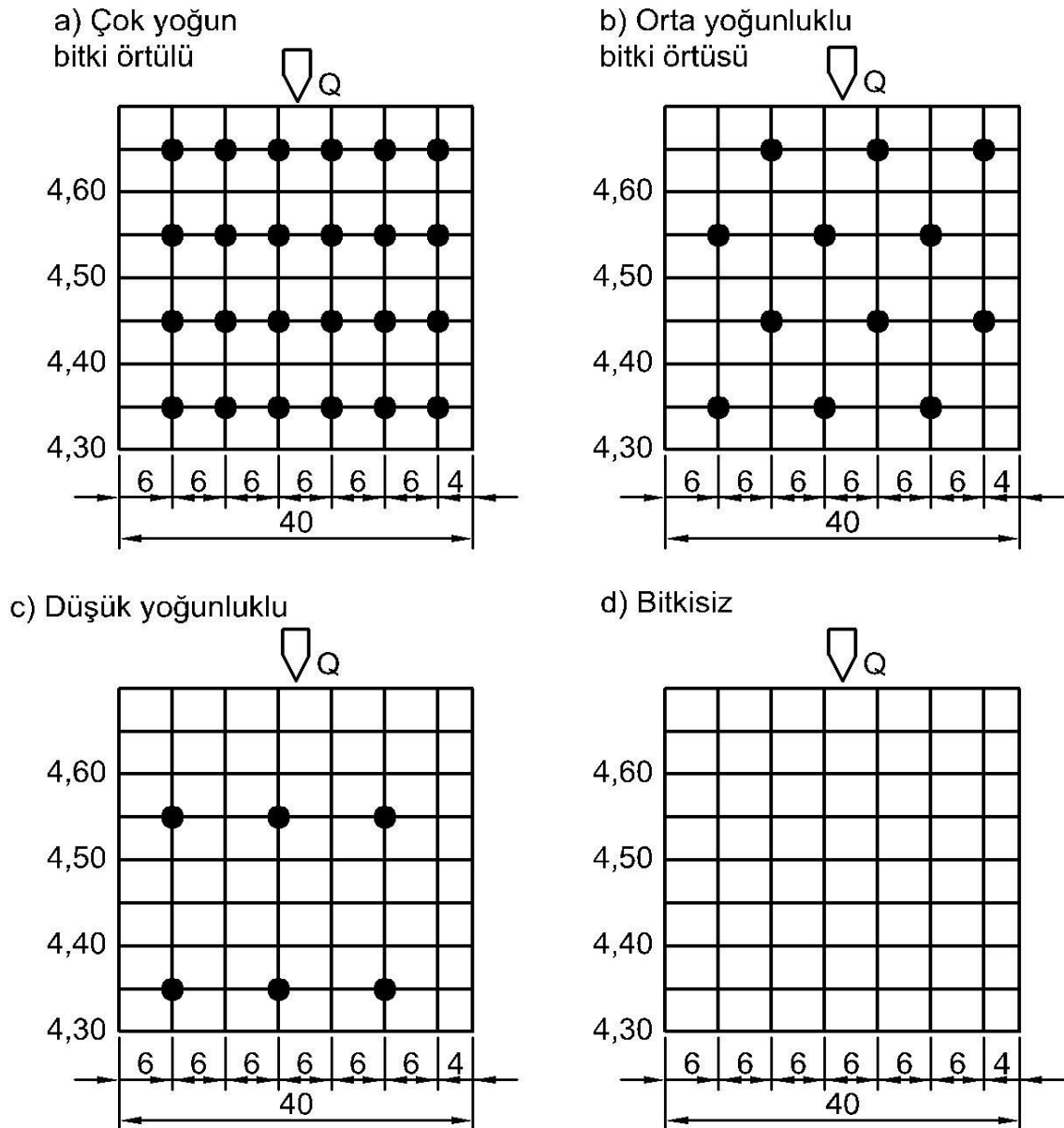
Burada;

- Φ , çubuk çapını (cm),
- a_x , akış yönündeki çubuklar arası mesafeyi (cm),
- a_y , akış yönüne dik çubuklar arası mesafeyi (cm)

ifade etmektedir.

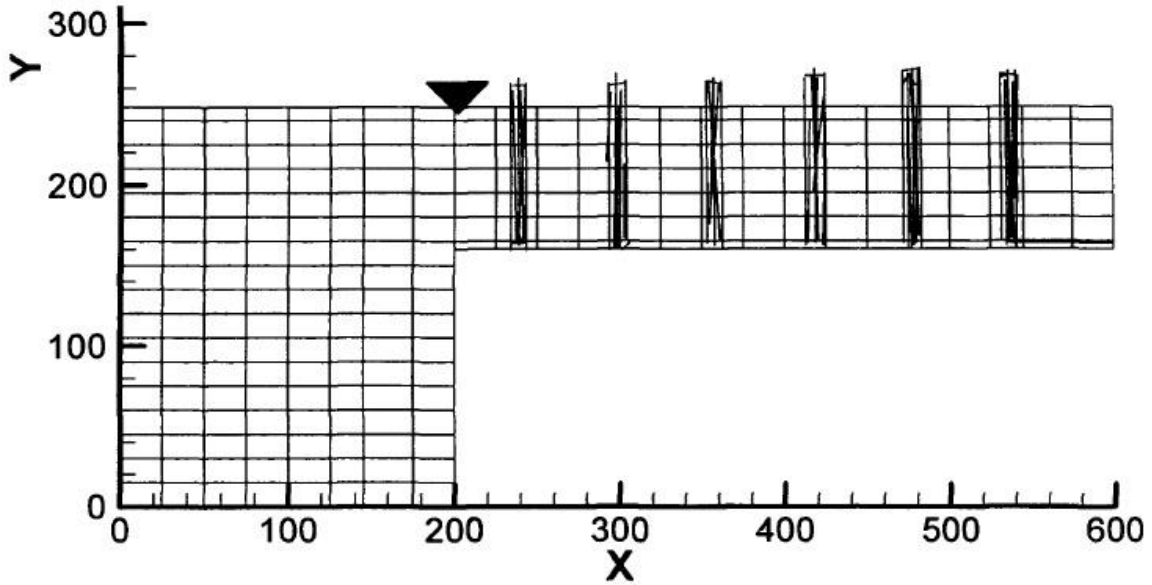
Çizelge 3.1. Dört farklı yerleşime ait veriler (Dorcheh (2007)'den uyarlanmıştır)

Yoğunluk	λ (cm ⁻¹)	a_x (cm)	a_y (cm)	Diziliş
Yüksek	0,04	10	6	Çizgisel
Orta	0,02	10	12	Şaşırtmalı
Düşük	0,01	20	12	Çizgisel
Bitki Örtüsüz	-	-	-	-



Şekil 3.3. Dört farklı çubuk yerleşimi (a) yüksek yoğunluklu (b) orta yoğunluklu (c) düşük yoğunluklu (d) bitkisiz (Tüm ölçüler cm cinsindedir) (Dorcheh (2007)'den uyarlanmıştır)

Farklı yoğunlukta bitki örtüsü içeren bileşik kesitli kanallarda oluşan akımlardaki tüm deney çalışmaları sırasında sabit 15 l/s debi kullanılmıştır. Çeşitli yoğunlukta farklı çalışmaları içeren bu deneyler göstermiştir ki yoğunluk değişimleri su yüksekliğinde kısmi etki (5 mm'den daha az) oluşturmaktadır. Uniform akım koşullarına ulaşıldığında, ana kanalda 25 cm, taşkın yatağında ise 9 cm akış derinliği gözlenmiştir. Her bir farklı yoğunlukta hız ölçümleri 2 kesitte (4,4. m ve 4,5. m) ve her kesit için 185 farklı noktada alınmıştır (Şekil 3.4). Bu iki ölçüm kesitinin memba girişi ve mansap çıkışının etkilerinden uzak kalmaları için orta noktaya yakın yerlerden seçilmiştir (Dorcheh, 2007).



Şekil 3.4. Yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren yarı kesitte hız ölçüm noktalarının gösterimi (Tüm ölçüler mm cinsindedir) (Dorcheh, 2007)

Kanaldaki ölçüm noktaları, taşkın yatağı duvarından 55 mm ötede başlayıp, 25 mm aralıklarla ana kanal merkezine doğru devam etmiştir. Düşey düzlemde ölçüm noktaları, ana kanal tabanından 15 mm, taşkın yatağı tabanından ise 5 mm öteden başlayıp su yüzeyine kadar devam etmiştir.

3.4. Dikdörtgen Kanal

Deneysel eğimi 1/1000 olan ve 40 cm derinliğe sahip dikdörtgen kanalda yürütülmüştür. Kanal taban ve kenar duvarları ahşaptan oluşmaktadır. Tüm dizilişler için ölçüm aleti ve bitki örtüsü yoğunlukları bir önceki bölümde anlatılan bileşik kesitli kanal ile aynı

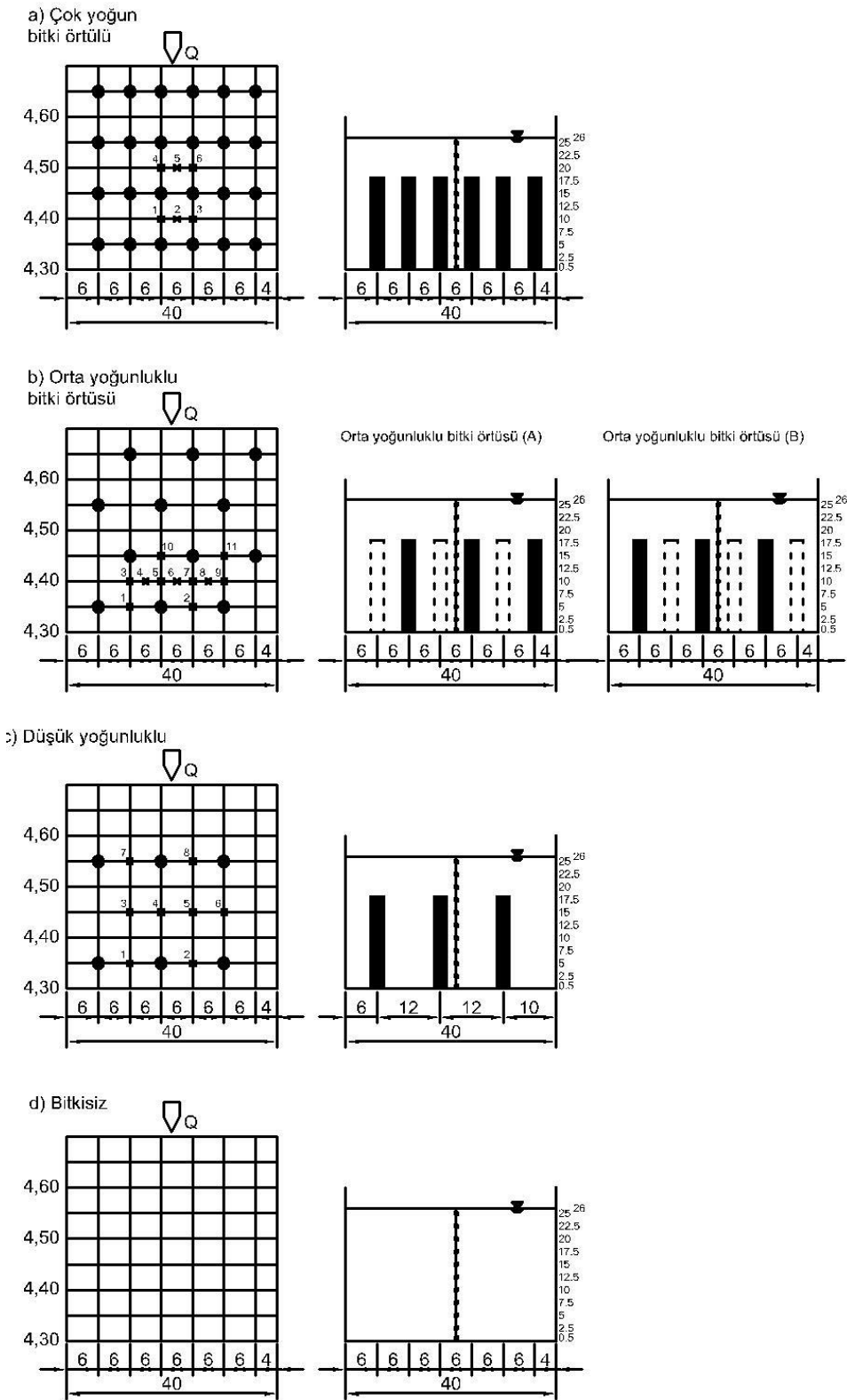
özelliğindedir. Yürütülen tüm deneyler için kanalda, sabit 6,5 l/s debi kullanılmıştır. Bileşik kesitli kanaldaki deneylerle benzer şekilde, her bir farklı bitki yoğunluğunun su yüksekliğini kısmi derecede etkilediği (5 mm'den daha az) dikdörtgen kanal için de gözlemlenmiştir. Tüm deneylerde hız, kanalın orta kısmındaki farklı noktalarda tabandan 5 mm yukardan başlayarak 25 mm aralıklarla su yüzeyine kadar (Örneğin, 5, 25, 50, 75, ..., 260 mm) ölçülmüştür. Araştırmacı deneylerinde 180 mm ve 300 mm uzunluğundaki iki farklı ahşap çubuk tipi kullanmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerden, tez kapsamında karşılaştırmanın yapılacağı deney verilerine ait özet verileri içeren bilgiler Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Bileşik kesitli ve dikdörtgen kesitli kanala ait deneysel veriler (çubuk çapı: 2,4 cm) (Dorcheh (2007)'den uyarlanmıştır)

Nu	Çubuk Boyu	Kanal Kesiti	Yoğunluk	λ (cm ⁻¹)	Q (l/s)	Akım Derinliği (cm)	
						Ana Kanal	Taşkın Kanalı
1	18 cm	Bileşik Kesitli Kanal	Yüksek	0,04	15	25	9
			Orta	0,02	15	25	9
			Düşük	0,01	15	25	9
			Bitkisiz	-	15	25	9
2	18 cm	Dikdörtgen Kanal	Yüksek	0,04	6,5	26	-
			Orta	0,02	6,5	26	-
			Düşük	0,01	6,5	26	-
			Bitkisiz	-	6,5	26	-

Dikdörtgen kanalda farklı noktalarda boyuna hız profilini çizdirebilmek için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçüm noktaları Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Dorcheh (2007) gerçekleştirdiği deneylerle yukarıda özellikleri belirtilen çalışmalara ek olarak, geniş dikdörtgen kanal içerisinde farklı dizilim ve yoğunluklarda bitki örtüsünün temsilen, 18 cm ve 30 cm uzunluğundaki çubukları kullanarak da veriler elde etmiştir.



Şekil 3.5. Batık bitki örtüsü içeren dikdörtgen kanalda düşey hız profili ölçüm noktalarının yerleşimi (a) çok yoğun (b) orta yoğun (c) düşük yoğun bitki örtüsü içeren ve (d) bitkisiz akım koşulları (Tüm ölçüler cm cinsindedir) (Dorcheh (2007)'den uyarlanmıştır)

4. SAYISAL MODEL ÇALIŞMALARI

Bu bölümde sayısal modelleme çalışmalarına ait bilgiler yer almaktadır. Bitki örtüsünün farklı kanal kesitlerine sahip açık kanal akımlarındaki hız profili üzerindeki etkisi Flow-3D adlı bilgisayar programı aracılığı ile modellenmiş ve sonuçlar Dorcheh (2007) tarafından yapılan deneylerin sonuçları ile kıyaslanmıştır.

4.1. Flow-3D Program Yapısı

Flow-3D genel amaçlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD/CFD) yazılımıdır. Büyük ölçekli, çok katmanlı akış problemlerine üç boyutlu çözüm elde etmek için hareket denklemlerinin çözümünde özel geliştirilmiş sayısal teknikleri uygulamaktadır (Flow-3D's User Manual, 2013).

Akışkan hareketleri doğrusal olmayan, ikinci dereceden diferansiyel denklemler ile tanımlanmıştır. Bu diferansiyel denklemler akışkan hareketlerini çözmek için uygulanmıştır. Bu denklemlerin sayısal çözümü, çeşitli matematiksel ifadeleri kapsamaktadır.

Genellikle bir sayısal model çözümünde çözüm ağı (mesh) oluşturulması ile başlanır. Bu yapı bir dizi birbirine bağlı elemanlardan veya hücrelerden oluşur. Bu hücreler, fiziksel mekanı çeşitli düğümlerle her biri birbiriyle ilişkili daha küçük hacimlere bölmektedir. Düğümler, basınç, sıcaklık veya hız gibi bilinmeyen değerleri depolamak için kullanılır. Çözüm ağı (örgü) orijinal fiziksel alanın yerine etkili sayısal alandır. Bu sayede farklı akış parametreleri tanımlanır, sınır koşulları düzenlenebilir ve ayrıca akışkan hareket denklemlerinin sayısal yaklaşımları geliştirilebilir.

Aynı fiziksel alan için örgü boşluklarını azaltmak veya örgüyü inceltmek, daha fazla elemana ve düğüm noktasına sebep olacaktır ve dolayısıyla sayısal modelin boyutunu büyütmektedir. Alanın büyüklüğü, tasarım döngüsü, çözüm yapılacak bilgisayarın donanımı gibi konular birlikte düşünüldüğünde tasarım yapanları makul örgü boyutları seçmeye zorlar.

Dikdörtgen çözüm ağırları düzenli yapıları sebebiyle depolanması çok kolaydır. Hesaplama hücreleri üç indeks kullanılarak birbirini takip eden bir şekilde numaralandırılmış olup, i , x - doğrultusunda, j , y - doğrultusunda, k , z - doğrultusundadır. Bu şekilde üç boyutlu her bir hücre fiziksel alandaki kartezyen koordinatlara benzer olarak (i, j, k) , özgün bir adresle tespit edilebilir (Flow-3D's User Manual, 2013).

Dikdörtgen çözüm ağlarının kullanımı orijinal fiziksel alan ile ilgili ilişkide, hız ve stabilite gibi konularda faydalar sağlar. En eski sayısal algoritmalar sonlu farklar ve sonlu hacimler yöntemlerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Bunlar Flow-3D programındaki sayısal yaklaşımın temelini oluşturmaktadır. Sonlu farklar yöntemi Taylor serisinin özelliklerini ve türevlerinin uygulamalarını temel alır. Diferansiyel denklemlere sayısal çözümler elde etmek için kullanılan bu en eski yöntemin ilk olarak 1768 yılında Euler tarafından geliştirildiği kabul edilir. Sonlu hacimler yöntemi, akışkan hareketindeki korunum kanununun integral formundan türetildiği için doğal olarak korunum özelliklerine sahiptir (Flow Science Inc, 2014).

Program genel akışkan denklemlerinin farklı sınır durumları için çeşitli yöntemlerle çalıştırılmasını içermektedir. Program sıkıştırılabilir ve sıkışmayan akışkan durumları için çalışabilmektedir. Ayrıca bir veya iki akışkan modu vardır. Bu şekildeki farklı seçimler için farklı hareket denklemleri gerekmektedir.

Programın inşaat mühendisliği ile ilgili birçok uygulamasında serbest yüzey akımı uygulamaları yer almaktadır. Yoğunluk, hız ve basınç gibi akış parametrelerindeki düzensizliklerden ötürü hesaplama ortamında serbest akış yüzeyini modellemek kolay olmamaktadır. Bu yaklaşım birçok durumda, çok daha ağır akışkan hareketine göre gazın hareketinin önemsiz olması sebebiyle hesaplama zahmetini azaltıcı niteliktedir. Serbest yüzey, sıvının dış sınırları olmaktadır. Serbest yüzeyde düzgün sınır şartları tanımlamak doğru serbest yüzey dinamiklerini elde etmek için önemlidir. Bu sebeple programda akışkan hacmi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin üç ana bileşeni; akışkan hacminin fonksiyonu, taşınım denklemlerinin çözüm metodu ve sınır koşullarını ayarlamadır.

4.2. Hareket Denklemleri

4.2.1. Koordinat sistemleri

Diferansiyel denklemler Kartezyen koordinatlarda (x, y, z) cinsinden yazılarak çözümlenir. Silindirik koordinatlarda (r, Θ , z) ile ifade edilir. Silindirik geometri için Kartezyen hareket denklemlerine ilave terimler eklenmek zorundadır. Bu terimler ξ katsayısını içerirler, örneğin $\xi=0$ ise Kartezyen geometriye, $\xi=1$ ise silindirik geometriye karşılık gelir (Flow-3D's User Manual, 2013).

Tüm denklemler alan ve hacim porozite fonksiyonlarıyla formüle edilmiştir. FAVOR denilen bu formülasyon geometrik modelleri modellemek için kullanılır. Örneğin sıfır hacimli poroz bölümler engelleri tanımlamak için kullanılabilir.

4.2.2. Süreklilik denklemleri ve varyasyonları

Flow-3D programında genel süreklilik denklemi (Flow-3D's User Manual, 2013):

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (4.1)$$

Burada;

V_F , akışa açık kısmi hacim
 ρ , akışkan yoğunluğu,
 R_{DIF} , türbülans difüzyon terimi
 R_{SOR} , kütle kaynağıdır.

(x, y, z) koordinat yönlerindeki hız bileşenleri (u, v, w)'dir. A_x x- yönündeki akışa açık kısmi alan, A_x ve A_z ise benzer olarak y ve z yönündeki kısmi alanlardır. R katsayısı aşağıdaki gösterildiği gibi koordinat sistemi seçimine bağlıdır. Silindirik koordinatlar kullanıldığında y türevi polar türeve dönüştürülmek zorundadır (Flow-3D's User Manual, 2013).

$$\frac{\partial}{\partial y} \rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} = \frac{r_m}{r} \frac{\partial}{\partial y} \quad (4.3)$$

- $y=r_m\Theta$
- r_m sabit referans yarı çapı

Eş. 4.3.'de verilen dönüşüm genel olarak uygundur çünkü bunun uygulaması orijinal Kartezyen koordinat denklemlerindeki her bir y için sadece $R=r_m/r$ çarpanına ihtiyaç duyar. Kartezyen koordinatlar kullanıldığında R bire ξ ise sıfıra ayarlanır (Flow-3D's User Manual, 2013).

Eş. 4.1'in sağ tarafındaki ilk terim olan türbülans difüzyon terimi;

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\rho A_y R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) + \xi \frac{\rho v_\rho A_y}{x} \quad (4.4)$$

- v_ρ katsayısı $S_c \mu / \rho$ 'na eşittir. Bu terimde μ katsayısı momentum difüzyon katsayısıdır,
- S_c , türbülans Schmidt sayısına karşılık gelen sabittir.

Bu tip kütle difüzyonları sadece homojen olmayan yoğunluklu akışkanlardaki türbülans karşım işlemlerinde anlam ifade eder.

Eş. 4.1'in sağındaki son terim R_{SOR} yoğunluk kaynaklı terimdir. Örneğin gözenekli engellerin yüzeylerine kütle enjekte etmek için kullanılabilir.

Eş. 4.1'in sağındaki son terim R_{SOR} kaynak terimidir. Eş. 4.1'de sıkışmayan akım varsa yani ρ sabitse Eş. 4.1 aşağıdaki eşitliğe indirgenebilir;

$$\frac{\partial}{\partial x} (u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (w A_z) + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (4.5)$$

Akışkanların sıkıştırılmaz durumu için, yoğunluğun zamana göre türevi aşağıdaki gibi belirlenebilir;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \approx \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (4.6)$$

Burada;

- c^2 ses hızının karesi,
- p , basınçtır.

Bu yaklaşım $\left| \frac{\delta \rho}{\rho} \right| < 0,1$ olduğu durumlarda geçerlidir. Bu yaklaşımla süreklilik denklemleri tekrar düzenlenirse;

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (4.7)$$

halini alır.

4.2.3. Momentum denklemleri

Bazı ilave terimler ile akışkanın üç boyuttaki hız bileşenleriyle (u , v , w) Navier-Stokes hareket eşitlikleri (Flow-3D's User Manual, 2013):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y u v}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial x} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)$$

- (G_x , G_y , G_z) cisim ivmelerini,
- (f_x , f_y , f_z) viskoz ivmeleri,
- (b_x , b_y , b_z) gözenekli ortamdaki akış kaybını ifade etmektedir.

Eş. 4.8'deki $U_w = (u_w, v_w, w_w)$ Genel Hareketli Objedeki (GHO/GMO) genellikle kütle kaynağı sıfırdan farklı kaynak bileşenin hızı terimi,

$U_s = (u_s, v_s, w_s)$ kaynak yüzeyindeki akışkan hızının kaynaktakine oranını ifade eder. Her bir hacim için değeri ise;

$$U_s = \frac{dQ}{\rho Q dA} n \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanır.

Sabit basınç kaynağında, akışkanın hızı debi ve kaynağın yüzey alanından hesaplanır. Bu durumda, akışkanı kaynağından uzaklaştırmak için ilave basınca gerek duyulmaz. Uzun düz bir borudan çıkan sıvı bu tür kaynak için örnek olabilir.

Değişken dinamik viskozite μ için viskoz ivmeler (Flow-3D's User Manual, 2013);

$$\rho V_F f_x = w s_x - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right\}$$

$$\rho V_F f_y = w s_y - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{xy}) \right\} \quad (4.10)$$

$$\rho V_F f_z = w s_z - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xx} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \\ \tau_{yy} &= -2\mu \left\{ R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\xi u}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \\ \tau_{zz} &= -2\mu \left\{ \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \\ \tau_{xy} &= -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi u}{x} \right\} \\ \tau_{xz} &= -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right\} \\ \tau_{yz} &= -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

şeklinde ifade edilir.

4.3. Türbülans Modelleri

Türbülans, akışkanın stabilize viskoz kuvvetlerinin yetersiz olması durumunda meydana gelen düzensiz hareketleridir. Yüksek Reynolds sayılarında, akış içinde meydana gelen bu istikrarsızlıklardan dolayı çeşitli büyüklüklerde çevrintiler oluşabilir.

Türbülans sayısal akış modellerinde mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Kütle denklemleri ve momentum korunumu ile türbülanslı dalgalanmaların tam spektrumlarını simüle etmek mümkündür. Bu da çözüm ağı yapısının bu gibi ayrıntıları yakalamak için yeterli olması durumunda mümkündür. Fakat, genel olarak bilgisayarın belleği ve işlem süresi kısıtlamaları nedeniyle bu durum bazen mümkün olmayabilir. Bu sebeple ortalama akış özelliklerine türbülansın etkilerini gösteren basitleştirilmiş modellere başvurmak gerekir (Flow-3D's User Manual, 2013).

Flow-3D programında, 5 farklı türbülans modeli bulunmaktadır:

- Tek denklem, türbülans enerji modeli
- İki denklem, k – ε modeli
- RNG modeli
- Prandtl karışım mesafesi modeli
- Geniş çevrinti simülasyonu (LES)

4.3.1. Türbülans taşınım modelleri

Tek denklem türbülans taşınım modeli, akımdaki türbülans hızı dalgalanmalarını da barındıran özgül kinetik enerji için taşınım denklemlerinden oluşur (Flow-3D's User Manual, 2013).

$$k_T = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (4.12)$$

u' , v' , w' x-,y-, z- yönlerindeki türbülans dalgalanma hızları bileşenleri.

Taşıyım denklemleri, çevrinti içindeki viskoz kaybindan kaynaklı yayılma, difüzyon ve kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerjisinin taşıyım ve difüzyonunu, da kapsar.

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + \text{Diff}_{k_T} - \varepsilon_T \quad (4.13)$$

V_F , A_x , A_y ve A_z Flow-3D FAVOR fonksiyonları, P_T türbülans kinetik enerji üretimi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$P_T = \text{CSPRO} \left(\frac{\mu}{\rho V_F} \right) \left\{ \begin{array}{l} 2A_x \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2A_y \left(R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} \right)^2 + 2A_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \\ + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{u}{x} \right) \left[A_x \frac{\partial v}{\partial x} + A_y \left(R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{u}{x} \right) \right] \\ + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} + A_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} + A_y R \frac{\partial w}{\partial x} \right) \end{array} \right\} \quad (4.14)$$

- CSPRO, varsayılan değeri 1,0 olan türbülans parametresi,
- R ve ξ daha önce kütle taşıyım denklemlerinde ve silindirik koordinat sistemlerinde bahsedilen katsayılar

Kaldırma etkisi;

$$G_T = -\text{CRHO} \left(\frac{\mu}{\rho^3} \right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial x} + R^2 \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial z} \right) \quad (4.15)$$

Burada;

- μ , dinamik viskozite,
- ρ , akışkan yoğunluğu,
- P, basınçtır.
- CRHO, varsayılan değeri 0,0 olan bir diğer türbülans parametresi, fakat termal kaldırma problemlerinde yaklaşık olarak 2,5 seçilmesi gerekir.

Difüzyon terimi;

$$\text{Diff}_{k_T} = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_k A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_k A_y R \frac{\partial k_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_k A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} \right) + \xi \frac{v_k A_x k_T}{x} \right\} \quad (4.16)$$

şeklinde hesaplanır. k_T 'nin difüzyon katsayısı olan ν_k 'nın hesabında türbülans viskozitesinin yerel değeri baz alınır. Kullanıcı tanımlı RMTKE parametresi türbülans difüzyon katsayısı (varsayılan değeri 1,0'dir.) hesabında kullanılan viskozite çarpanıdır.

Türbülans kinetik enerjisi ile ilgili tek-denklemler modelindeki türbülans enerji kaybı oranı ε_T ;

$$\varepsilon_T = CNU \sqrt{\frac{3}{2} \frac{k_T^{3/2}}{TLEN}} \quad (4.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

- CNU, varsayılan değeri 0,9 olan bir parametre,
- k_T , türbülans kinetik enerjisi,
- TLEN, türbülans uzunluğu ölçөгüdür.

Flow-3D programında, en küçük alan için varsayılan TLEN değeri %7 olarak seçilmiştir. Fakat Fard-Boyaghchi (2007), akıştaki karakteristik uzunluğu nitelediği için %7 değeri yerine hidrolik çapı kullanmayı önermektedir (Flow-3D's User Manual, 2013).

Biraz daha gelişmiş ve geniş kullanım alanına sahip k- ε türbülans modeli, türbülans kinetik enerjisi k_T ve onun kaybı ε_T için olmak üzere iki taşınım denkleminde oluşur. ε_T için aşağıdaki taşınım denklemi çözümlenir;

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + v A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z} \right\} \\ & = \frac{CDIS1 \varepsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G_T) + Diff_\varepsilon - CDIS2 \frac{\varepsilon_T^2}{k_T} \end{aligned} \quad (4.18)$$

CDIS1, CDIS2 ve CDIS3 varsayılan olarak 1,44; 1,92 ve 0,2 değerlerindeki boyutsuz ve kullanıcı tarafından ayarlanabilen parametrelerdir (Flow-3D's User Manual, 2013).

Difüzyon yayılımı;

$$Diff_\varepsilon = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\varepsilon A_y R \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} \right) + \xi \frac{v_\varepsilon A_x \varepsilon_T}{x} \right\} \quad (4.19)$$

eşitliğinden elde edilir.

Bir diğer türbülans modeli ise Renormalizasyon Grubu(RNG) yöntemini temel alır. Bu yaklaşım, türbülans kinetik enerji ve kayıp oranı gibi çıkarımlara istatistiksel yöntemler uygular (Flow Science Inc, 2014).

RNG modeli k-ε modelinkine benzer eşitlikler kullanır. Fakat, eşitlik sabitleri standart k-ε modelinde ampirik iken RNG modelde doğrudan türetilmiş durumdadır. Genel olarak, RNG modeli standart k-ε modeline göre daha geniş bir uygulama alanına sahiptir. RNG model özellikle, düşük yoğunluklu türbülanslı akımları ve yüksek kayma bölgeleri içeren akımlarda daha isabetli sonuçlar vermesiyle bilinir. Aynı zamanda, RMTKE, CDIS1 ve CNU'nun varsayılan değerleri k-ε modelinden farklı olarak sırasıyla, 1,39; 1,42 ve 0,085 değerini almaktadır. CDIS2 türbülans kinetik enerji (k_T) ve türbülans üretim (P_T) terimlerinden hesaplanır (Flow-3D's User Manual, 2013).

Tüm türbülans taşınım modellerinde kinematik türbülans viskozitesi;

$$\nu_T = CNU \frac{k_T^2}{\varepsilon_T} \quad (4.20)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada ν_T , türbülans kinematik viskozitesini ifade eder.

Hem k-ε, hem de RNG modelindeki sayısal zorluklardan biri, ε_T değerinin alt limitlendirmesidir. Eş. 4.2 ε_T değerini sıfıra çok yakın olarak çıkarmasına rağmen, k_T değeri fiziksel olarak sıfıra yaklaşmamaktadır. Bu durum sayısal nedenlerden ötürü olur ve büyük ν_T değerlerine sebep olmaktadır. Bu sorunu aşmak için ε_T 'nin alt sınır değeri olarak;

$$\varepsilon_{T,\min} = CNU \sqrt{\frac{3}{2} \frac{k_T^{3/2}}{TLEN}} \quad (4.21)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada TLEN, maksimum türbülans uzunluk ölçeği. Program içinde kullanıcı tarafından tanımlanabilir veya otomatik olarak sınırlandırılır.

Esasen bütün türbülans modellerinin amacı ortalama akış değerlerindeki türbülans dalgalanmalarının etkilerini öngörmek için bir mekanizma ortaya koymaktır. Bu etki genellikle, ortalama kütle, momentum ve enerji taşınım denklemlerine difüzyon terimlerinin eklenmesiyle ifade edilir. Çünkü türbülans momentum difüzyonunu artırmakta, bu da etkin bir şekilde viskoziteyi artırmaktadır. Eşitliklerde yer alan dinamik viskozitenin, moleküler ve türbülans viskozitelerinin toplamı olarak öngörülmüştür.

$$\mu = \rho(\nu + \nu_T) \quad (4.22)$$

En basit model ise Prandtl karışım mesafesi modeli. Bu model, sınıra yakın yerdeki gibi yüksek kayma bölgelerindeki türbülans karışım süreciyle geliştirilmiş akışkan viskozitesini varsaymaktadır. Fakat, bu sadece stabil konumdaki akışlarda geçerlidir. Daha genel ifade etmek gerekirse, türbülans yoğunluğunun zaman ve mekan dağılımlarını daha iyi benzeştirmek adına bazı taşınım süreçlerini dikkate almak gerekli olabilir. Prandtl karışım mesafesi modelinde, türbülans oluşumu ve yayılımının akışın her yerinde dengede olduğu varsayılmaktadır (Flow-3D's User Manual, 2013);

$$P_T + G_T = \varepsilon_T \quad (4.23)$$

Burada;

- P_T ve G_T , kayma ve kaldırma etkilerinden kaynaklanan türbülans,
- ε_T , türbülans yayılımıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon_T = CNU \sqrt{\frac{3}{2} \frac{k_T^{3/2}}{TLEN}} \quad (4.24)$$

CNU'nun varsayılan değeri 0,09. Eş. 4.23 ve 4.24'ün birleşiminden, k_T , TLEN, yerel kayma oranı ve basınç/yoğunluk gradyanları cinsinden hesaplanabilir. Daha sonra, k_T ve TLEN kullanılarak türbülans kinematik viskozitesi (ν_T) şu şekilde hesaplanabilir (Flow-3D's User Manual, 2013):

$$\nu_T = TLEN \sqrt{\frac{2k_T}{3}} \quad (4.25)$$

Geniş çevrinti simülasyon (LES) modeli ortam modelleme çalışmaları sırasında meydana çıkmıştır. Temel fikir olarak türbülanslı akış yapısındaki çok küçük parçalara bölünmüş sayısal çözüm ağı ile modellenmektedir. LES modeli üç boyutlu ve zamana bağlı bir modeldir. Dalgalanmalar giriş akım sınırlarında veya başlangıç koşullarında tanımlanmalıdır (Flow-3D's User Manual, 2013).

Hücre boyutlarının geometrik ortalaması;

$$L = (\delta x \delta y \delta z)^{1/3} \quad (4.26)$$

$$v_T = (cL)^2 \sqrt{2e_{ij} 2e_{ij}} \quad (4.27)$$

şeklinde hesaplanır. Burada c, tipik olarak 0,1 – 0,2 arasında değer alan bir sabit. Flow-3D programında kullanılan dinamik viskozitedeki kinematik viskozite türbülans taşınım modelleriyle tamamen aynı olarak;

$$\mu = \rho(v + v_T) \quad (4.28)$$

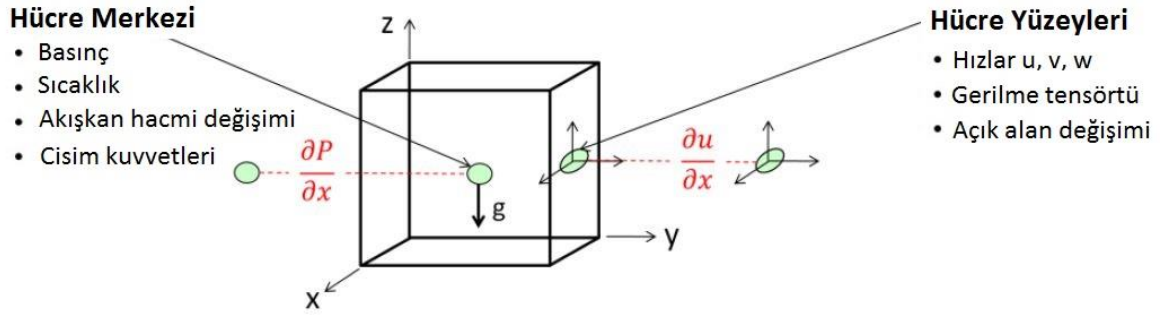
eşitliği ile hesaplanır.

4.4. Sonlu Hacim Yöntemi

Akış denklemlerini çözmek için sayısal bir yönteme ihtiyaç vardır. Flow-3D programı bu bağlamda, “aşamalı sonlu hacimler” yöntemini kullanmaktadır (Flow Science Inc, 2014). En önemli özellikleri;

- Hız ve basınç farklı (aşamalı) koordinatlarda hesaplanıyor,
- Skaler büyüklükler (ör. basınç, sıcaklık) hücre merkezlerinde tanımlı,
- Vektörler ve tensörler (ör. hız, kayma gerilmesi) hücre yüzeylerinde tanımlı,

olarak ifade edilebilir (Bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Sonlu hacim bileşenleri (Flow Science Inc, 2014)

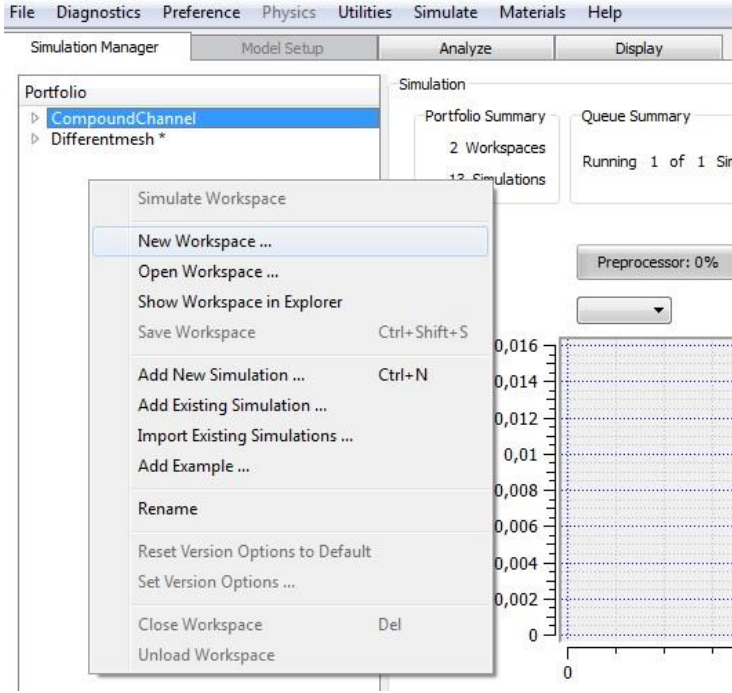
4.5. Flow-3D Model Oluşturma

Her modelleme programında olduğu gibi Flow-3D programında da sağlıklı veriler elde edebilmek için oluşturulacak modele ait veriler düzgün bir şekilde ve titizlikle girilmelidir. Başlangıç ve sınır koşullarının iyi belirlenmemesi sonuca etki eder.

4.5.1. Çalışma alanı ve simülasyon oluşturma

Program çalıştırıldıktan sonra, ilk iş olarak yeni bir çalışma alanı ve simülasyon oluşturma işlemidir. Modele ilişkin tüm verilerin saklı tutulacağı bu çalışma alanını oluştururken Türkçe karakterlerin kullanılmaması gerekmekte ve mümkün mertebe yapılan çalışmayı nitelendiren isimlerin tercih edilmesi önerilmektedir.

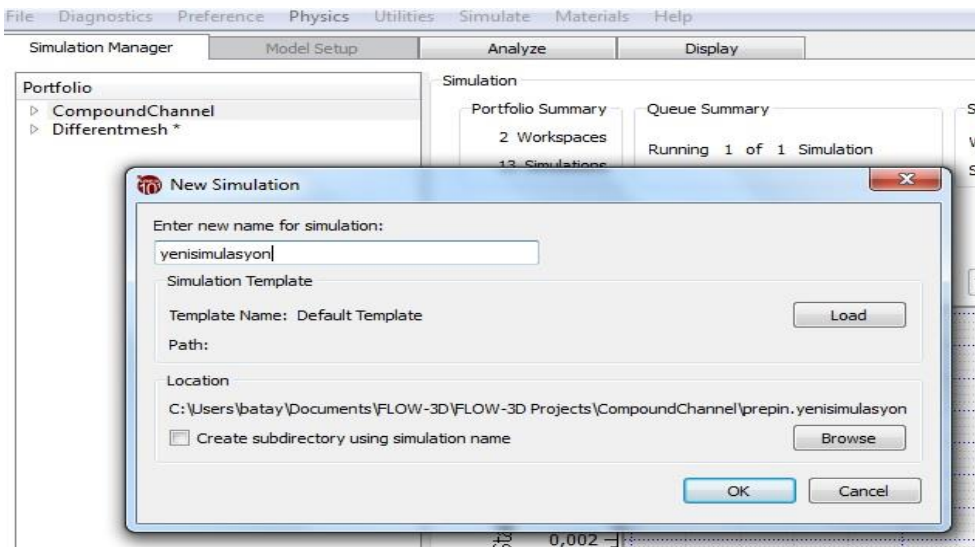
Yeni bir çalışma alanı oluşturmak için sırasıyla, “Simulation Manager” (Simülasyon Yönetimi) sekmesinde boş bir alanda farenin sağ tuşu tıklanıp açılan menüden, “New Workspace ...” (Yeni Çalışma Alanı) seçilir (Bkz. Resim 4.1).



Resim 4.1. Flow-3D’de yeni çalışma alanı oluşturulması

Oluşturulacak çalışma alanına isim verirken, istenmesi durumunda farklı klasörler altında depolama yapılmasına olanak sağlamak için değişiklikler yapılabilir.

Bu aşamadan sonra, çalışma alanının altında yeni simülasyon eklenmesi işlemine geçilebilir (Resim 4.2).



Resim 4.2. Çalışma alanı içinde yeni simülasyon oluşturulması

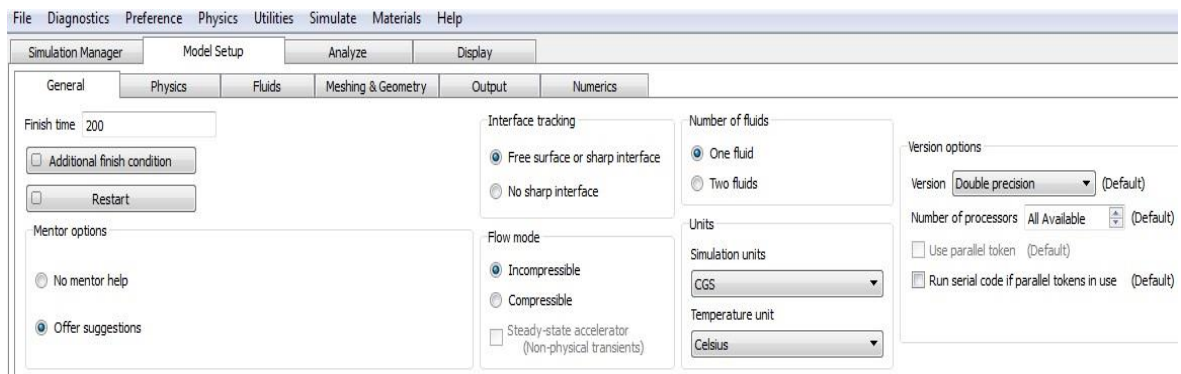
4.5.2. Simülasyona ait karakteristikler ve birimler

Çalışma alanı altında oluşturulan modelin simülasyonuna ait temel bileşenlerin oluşturulması ve programın bu koşullar altında çalışmasını sürdürmesi için bazı ilk bilgi girişlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgileri girebilmek için “Model Setup” (Model Kurulumu) sekmesinin altında bulunan “General” (Genel) sekmesi açılır (Resim 4.3). Modele ait ilk bilgiler arasında, birimlerin seçilmesi, hassasiyet derecesi, simülasyon süresi, tek veya çift akışkanın varlığı durumu, akışkanın sıkışabilir/sıkışmaz olması, bilgisayardaki işlemcilerin kaç tanesinin simülasyon süresince kullanılmasına izin verileceği sayabilir.

Bahsedilen bu seçeneklerden tez kapsamında kullanılmak için oluşturulan simülasyonlar için ilk etapta 200 saniye çalışma süresi, tek akışkan, 16 basamak hassasiyeti, CGS birimleri ile sıkıştırılmaz akışkan seçenekleri tercih edilmiştir.

Simülasyon süresi 200 saniye seçilmesine rağmen, altta bulunan “Additional finish condition” (İlave bitiş koşulları) butonuna basarak açılan pencereden seçilecek diğer opsiyonlarla simülasyonun sonuca bağlanması için farklı koşullar tercih edilebilir.

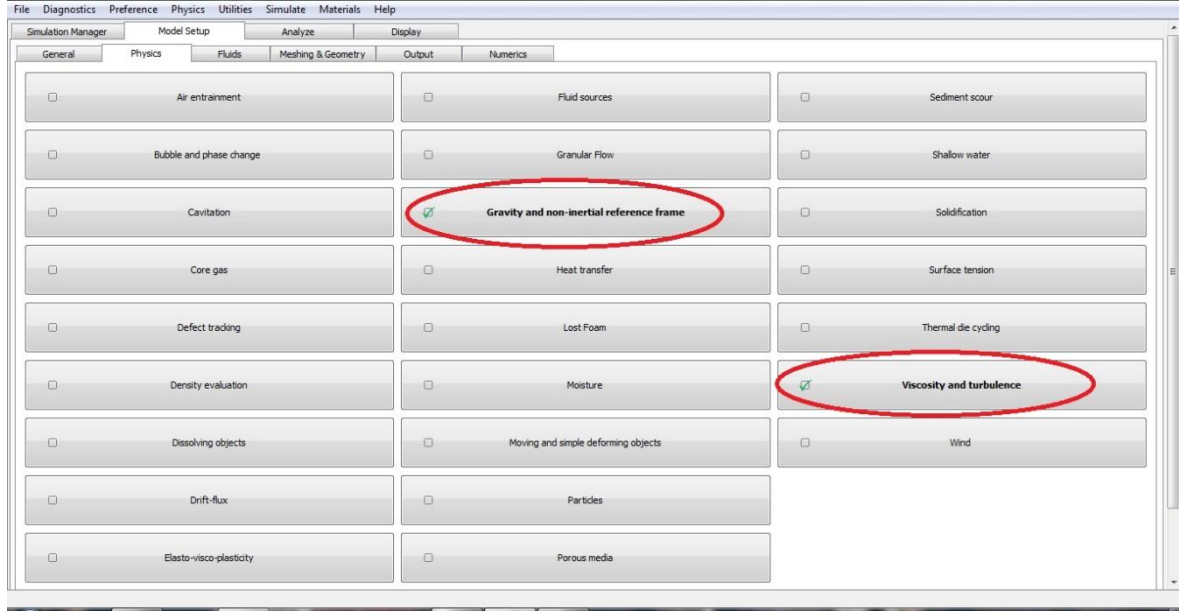
Ayrıca, “Restart” (Yeniden Başlatma) özelliği sayesinde önceden tamamlanmış bir simülasyon üzerine ilave süreler eklenerek önceki çalışmanın devamı niteliğinde yeni bir simülasyon oluşturulabilir. Bu tez kapsamında yapılan modelleme çalışmalarında, “Restart” özelliği kullanılmıştır.



Resim 4.3. Simülasyon genel koşullarının belirlenmesi

4.5.3. Simülasyonda temel fiziksel koşulların belirlenmesi

Bölüm 4.5.2’de bahsedilen işlemlere benzer şekilde, simülasyonun fiziksel çalışma koşullarının da girilmesi gereklidir. Bunun için yine “Model Setup” sekmesinin altındaki “Physics” (Fizik) sekmesinde gerekli düzenlemeler yapılabilir.

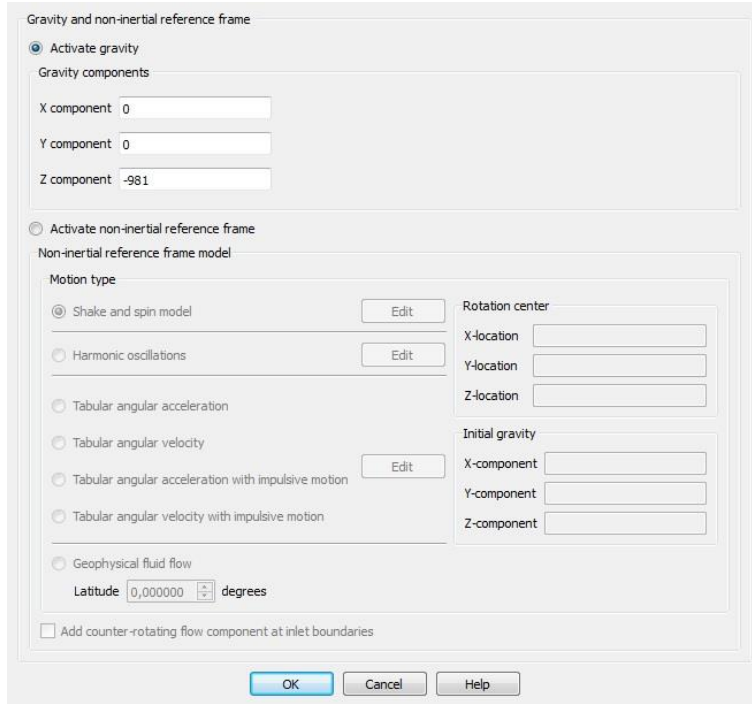


Resim 4.4. Model Setup içindeki Physics sekmesi

Bu sekme altında, tasarlanan modele etki eden fiziksel bileşenlerden, hava karışımı, rüzgar etkisi, nem, ısı transferi, gözenekli ortam, yer çekimi kuvveti, viskozite ve türbülans gibi etken koşullar girilebilir.

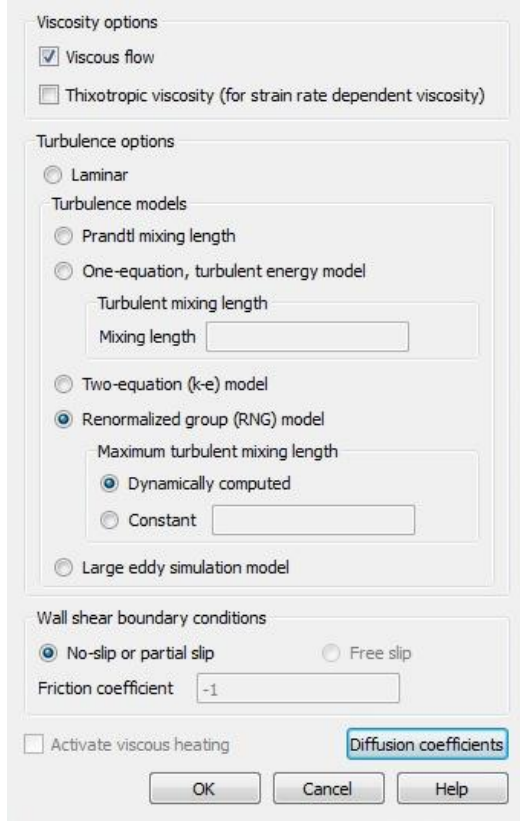
Bu tez kapsamında, yer çekimi ile viskozite ve türbülans kısımlarına modeli tanımlamaya ilişkin veriler girilmiştir (Resim 4.4).

Modellere ilişkin CGS birimler sistemi tercih edildiğinden (Bkz. Resim 4.3), yer çekimi etkisini tanımlarken buna dikkat edilmesi gerekir (Bkz. Resim 4.5).



Resim 4.5. Yer çekimi etkisinin modele tanımlanması

Tanımlanan bir diğer temel bileşen ise viskozite ve türbülans etkisidir. İlgili butona tıklandığında açılan pencereden, akışın viskoz akım olup/olmaması ile Bölüm 4.3’de bahsedilen türbülans taşınım modellerinden birisi tercih edilir. Resim 4.6’da görüleceği üzere simülasyonlarda, RNG (Renormalizasyon Grubu) modeli tercih edilmiş ve maksimum türbülans karışım boyu için sabit değer yerine dinamik hesaplamanın dikkate alınması seçilmiştir.



Resim 4.6. Viskoz akış ile türbülans etkisinin modele tanımlanması

4.5.4. Simülasyonda akışkanın tanımlanması

Flow-3D programında, akışkanı tanımlamak için öncelikle üst menüdeki “Materials” (Materyaller)’in altında bulunan “Fluid Database ...” (Akışkan Veri Tabanı) kısmına girilir. Açılan pencereden uygun olan akışkan seçilir ve alt kısımda bulunan “Load fluid 1” (Akışkan 1’e yükle) düğmesine tıklanarak işlem gerçekleştirilmiş olur. Şayet modelde ikinci bir akışkan varsa “Load fluid 2” (Akışkan 2’ye yükle) butonuna tıklanması gereklidir. Yapılan çalışmada akışkan olarak su kullanıldığından programın akışkan veri tabanında bulunan 293 K (20°C) sıcaklıktaki su seçilmiştir (Bkz. Resim 4.7).

Fluids Database

	Material Name	Units System	Temperature Unit
58	Steel, 1.0% Carbon	SI	Kelvin
59	Steel, 1.2% Carbon	SI	Kelvin
60	Steel, 1.5% Manganese	SI	Kelvin
61	Steel, 2% Si	SI	Kelvin
62	Steel, 2.0 % Carbon	SI	Kelvin
63	Steel, 4.0% Carbon	SI	Kelvin
64	Steel, AISI 1008	SI	Kelvin
65	Steel, AISI 1086 (Carbon Steel)	SI	Kelvin
66	Water at 293 K	SI	Kelvin
67	Zinc, Pure	SI	Celsius

Buttons: Load fluid 1, Load fluid 2, Add, Edit, Delete, Display, Create copy, Close

Resim 4.7. Akışkan tanımlanması

Veri tabanından modele tanımlanan akışkanın yoğunluğu ve viskozitesi gibi bazı özellikleri “Model Setup” sekmesi altında bulunan “Fluids” (Akışkanlar) bölümüne gidilerek istenen biçimde ayarlanabilir.

4.5.5. Simülasyonda çözüm ağı (mesh) ve geometri tanımlama

Bu bölümde, modelin geometrik yapısı ve bunun programdaki sayısal çözümlerde anlamlı hale getirilmesini sağlayan “mesh” (Çözüm ağı) yapısının kurgusundan bahsedilecektir. Program içerisinde tüm bunlar “Model Setup” sekmesi altındaki “Meshing & Geometry” (Çözüm Ağı ve Geometri) bölümünden yapılmaktadır.

İlk etapta modele ait geometrik elemanların tanımlanması ile başlanabilir. Oluşturulacak geometrik yapı aynı zamanda görsel olarak bu pencere altında izlenebilmektedir.

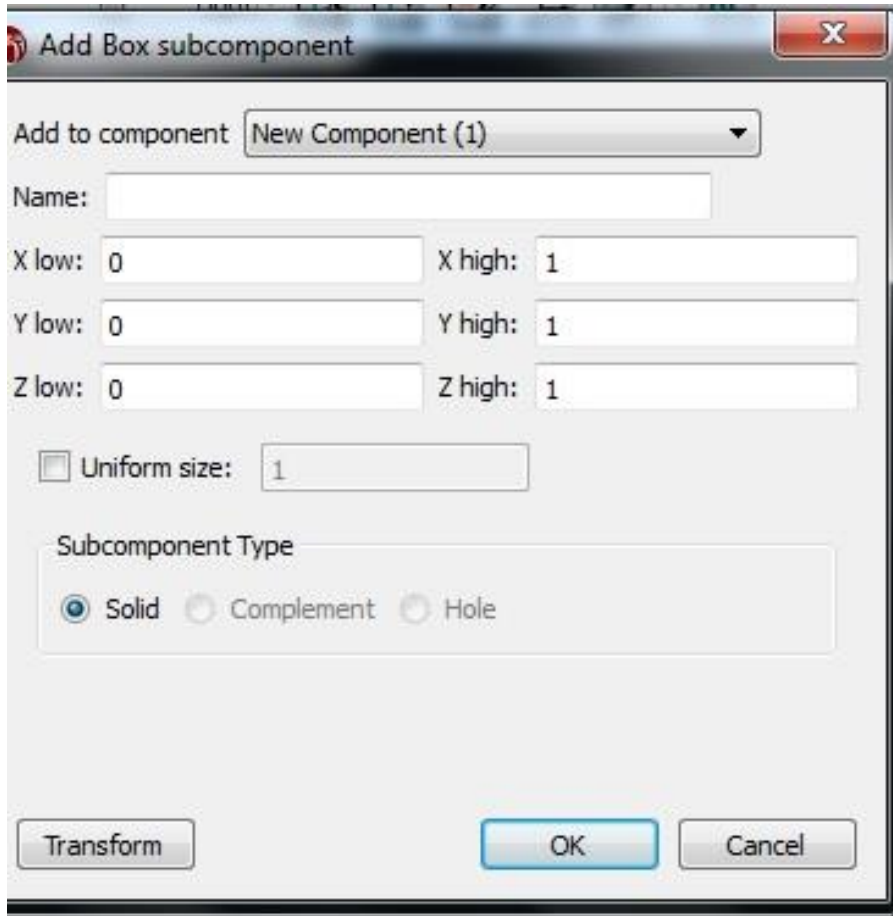
Eleman eklemek için programda kendi ikonlarının üzerine tıklayarak, aşağıda gösterildiği gibi küre, silindir, konik ve küp gibi elemanlar basitçe oluşturulabilir (Bkz. Resim 4.8).



Resim 4.8. Eleman ekleme düğmeleri

Oluşturulan yeni elemanlar, solda bulunan listede de aynı zamanda gösterilmektedir.

Bahsedilen düğmelerden istenilen geometriye ait ikona tıklandığında oluşturulacak elemanın (subcomponent) (alt bileşen) karakteristik boyutlarının girildiği yeni bir pencere açılır. Bu pencerede, boyutların girilmesinin (Örn. Küp için başlangıç ve bitiş x, y, z değerleri) yanı sıra elemana Türkçe karakter olmadan bir isim belirlenir. Elemanın katı (solid) mı olduğu veya boşluk (hole) mu olduğu yine buradan tayin edilebilir. Bu veri girişinin ardından açılan pencereden, oluşturulan elemanın hangi bileşende (component) olması isteniyorsa bunun tercihi yapılır (Resim 4.9).



Resim 4.9. Eleman boyutlarının girilmesi

Sol taraftaki listede bulunan “Component” (Bileşen) ve tıklandığında açılan “Subcomponents” kısmından da elemanlara ait özellikler değiştirilebilir.

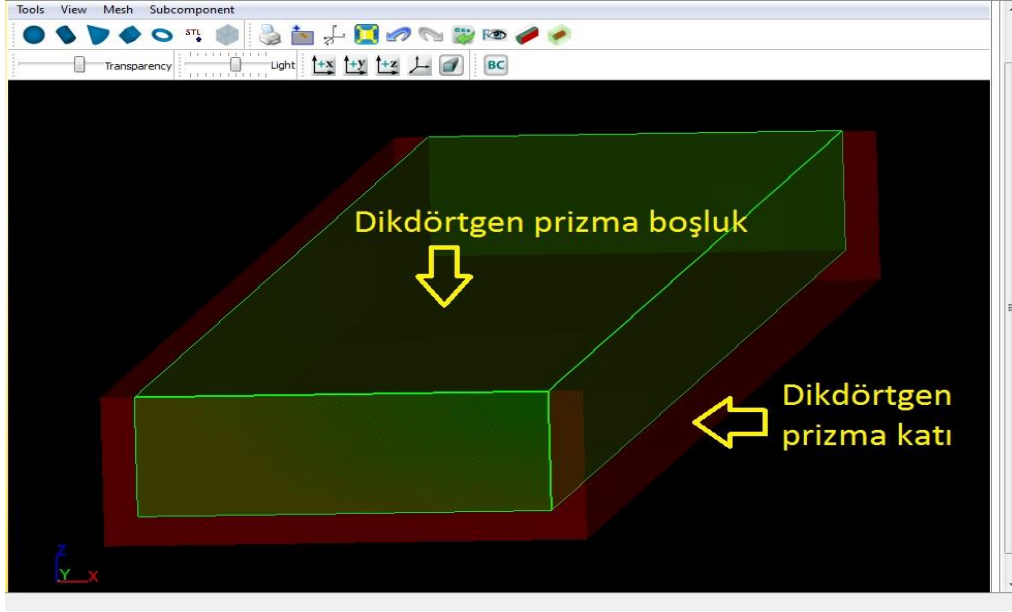
Resim 4.8’de bulunan standart elemanlara ek olarak stereolitografi (.stl) formatında öğeler de modele eklenebilir. Bunun için “stl” düğmesine tıklandığında açılan pencereden “add” (Ekle) düğmesine tıklanır ve öğenin bulunduğu dosya seçilir. Bu formatta öge eklemenin bir diğer yöntemi ise sol tarafta bulunan listedeki “component”e farenin sağ tıklanmasıyla açılan menüden sırasıyla “add subcomponent” ve “STL Library” tıklanması ile mümkün olabilmektedir.

Bu tez kapsamındaki modellerde, farklı sıklıktaki bitki örtüsü ve bileşik kesitli kanalları tanımlamak için ayrı ayrı STL dosyası oluşturulmuştur. STL formatını oluşturmak için AutoCAD programından faydalanılmıştır. İlerleyen bölümde AutoCAD’de oluşturulan bu dosyalardan bahsedilecektir.

Simülasyon geometrisi

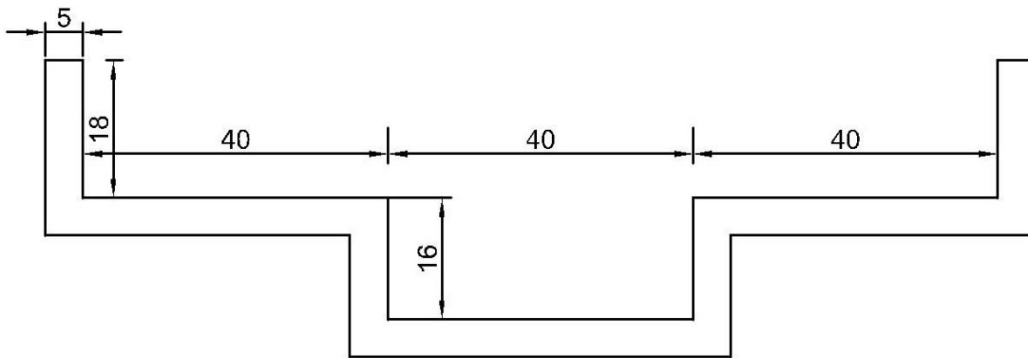
Dorcheh tarafından (2007) yapılan deney çalışmalarında kullanılan kanal ve bitki örtüsüne ait veriler Flow-3D programına tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu tez kapsamında kanal kesiti olarak bileşik kesitli kanal ve (dar) dikdörtgen kesitli kanal kullanılmıştır.

Bileşik kanalda akış, kanal boyunca en başta düz dikdörtgen kanal (1,2 m x 0,40 m) içerisinde başlamış ve yaklaşık iki metre devam etmiş ardından taşkın yatağı ve ana yatak içerisinde (toplamda 6,04 m) devam etmiş, nihayet tekrar başlangıç noktasındaki gibi dikdörtgen kanal içerisinde yaklaşık 2 m daha devam edip sonlanmıştır. Başlangıç ve bitiş kısmındaki dikdörtgen kanalı tanımlamak için öncelikle dikdörtgen prizma katı eklenmiş daha sonra yine dikdörtgen prizma bir boşluk tanımlanmıştır (Bkz. Resim 4.10).



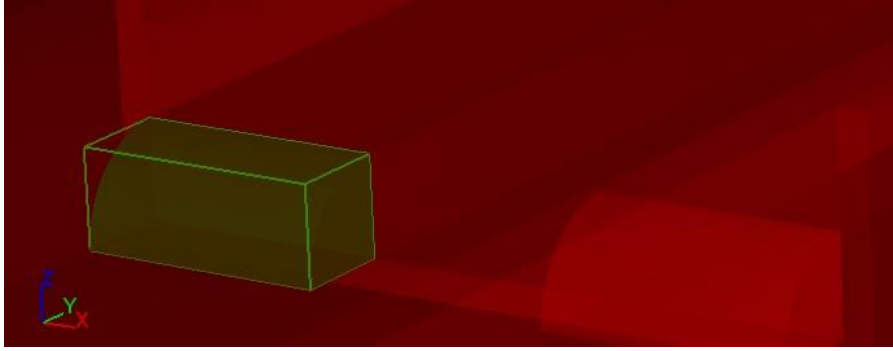
Resim 4.10. Flow-3D programında kanal kesiti oluşturma

Bileşik kesitli kanal, ana kanal genişliği 40 cm ve taşkın yatakları 40 cm olan simetrik bir yapıdadır. Ana yatak ve taşkın yatağını oluşturabilmek için programa dışardan katı model eklenmiştir. Bunun için AutoCAD programı ile kesit çizilmiş daha sonra bu kesite derinlik girilmiştir (Resim 4.11). Derinlik girilmesiyle artık katı model haline gelen tasarımı Flow-3D programında anlamlı hale getirebilmek için AutoCAD programında, seçili haldeyken File\Export menüsünden Lithography (*.stl) formatında kaydedilmiştir.



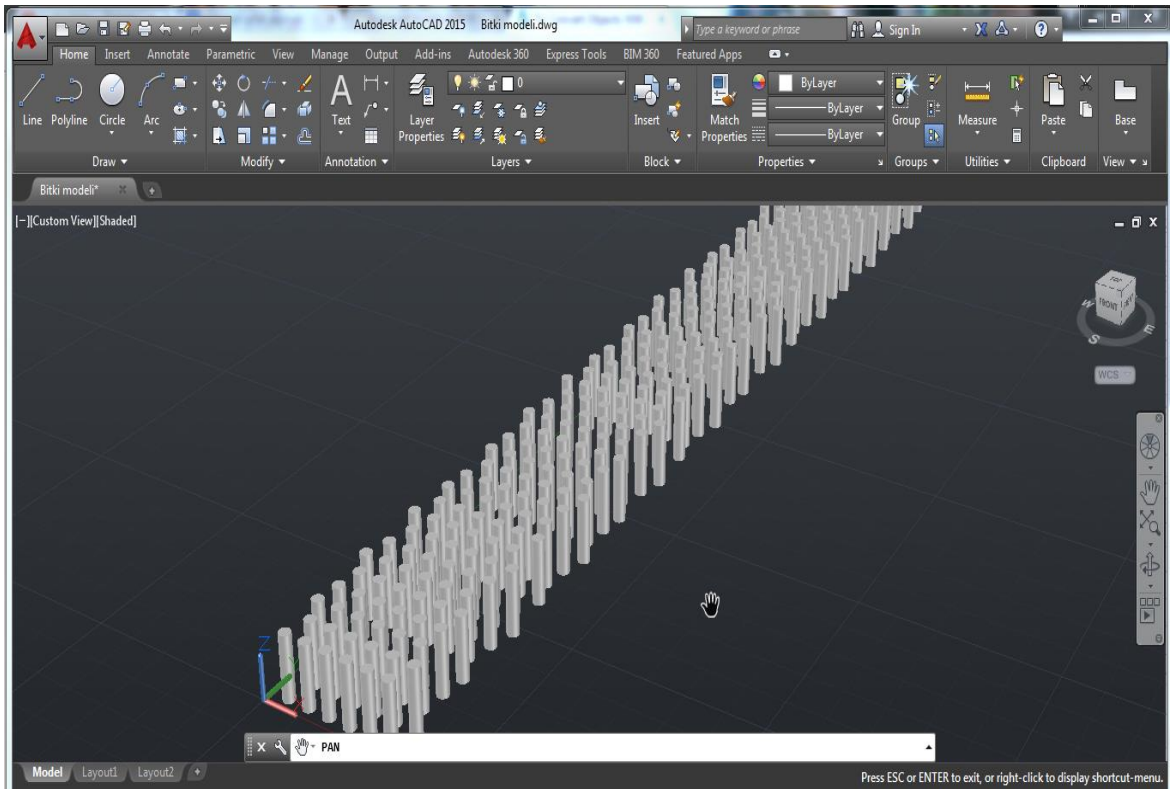
Resim 4.11. AutoCAD programında kanal kesiti oluşturma

Daha sonra kesitin dikdörtgenden bileşik kanala daraldığı kısımda akım iplikçiklerinin en düşük seviyede etkilenmesi veyahut düzgün geçişini sağlamak adına çeyrek daire kesitinde AutoCAD programı ile katı model oluşturulmuştur (Bkz. Resim 4.12).



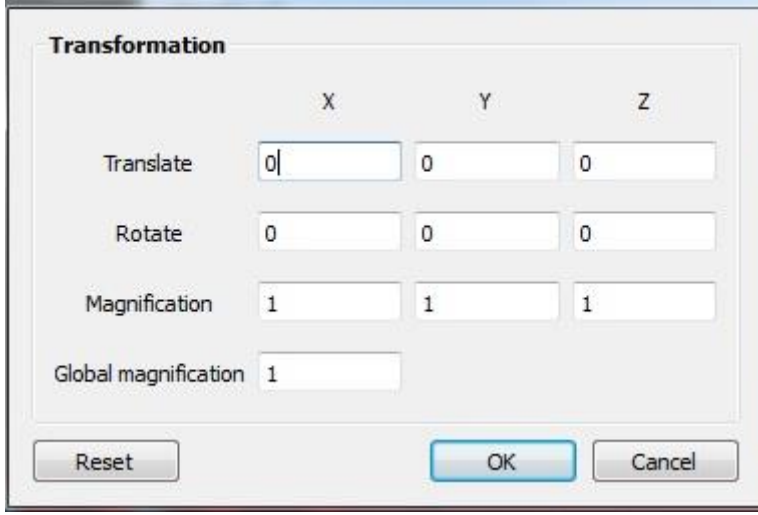
Resim 4.12. Taşkın yatağına geçişte kullanılan çeyrek daire kesit yerleşimi

Dorcheh (2007) deneylerinde, rijit bitki örtüsünü temsil etmesi için kesit genişliği boyunca boşluklu olarak yerleştirilen 2,4 cm çaplı ve 18 cm uzunluktaki ahşap çubuklar kullanmıştır. Bu çubukları Flow-3D programına tanımlayabilmek için bileşik kesitli kanaldakine benzer olarak AutoCAD programı ile katı model oluşturulmuştur. Şekil 3.3.'te belirtilen ölçülerde ve aralıklarda iki boyutlu daire kesitler çizilmiş ardından derinlik girilmesiyle 3 boyutlu katı formasyona getirilmiştir. Bu işlemlerin ardından *.stl formatında kaydedilmiştir (Resim 4.13).



Resim 4.13. Yüksek yoğunlukta bitki örtüsünün katı modeli

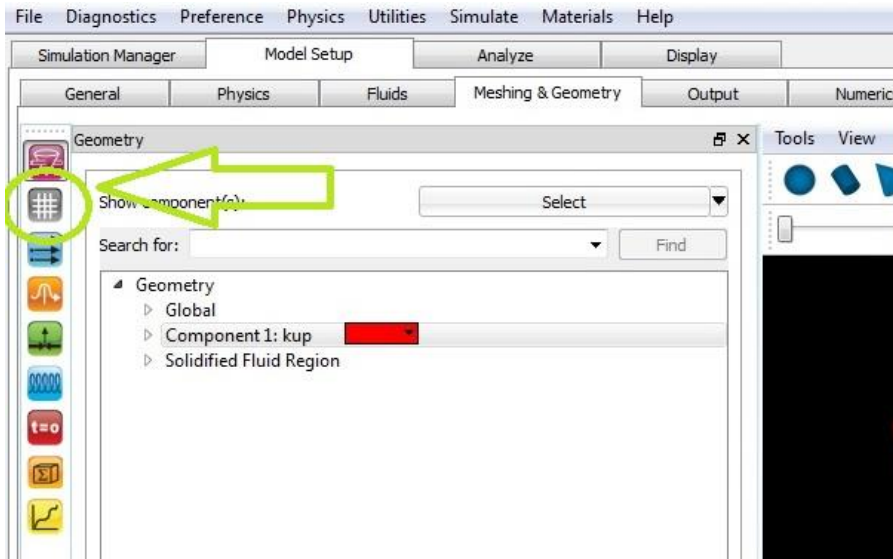
Kaydedilen dosya daha sonra giriş koşullarında da uyarlamalar yapılarak (başlangıç-bitiş koordinat değerleri, rotasyon, büyütme vs.) eklenmiştir (Resim 4.14).



Resim 4.14. *.stl girişinde transformasyon yapılması



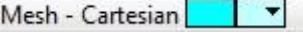
Çözüm ağı

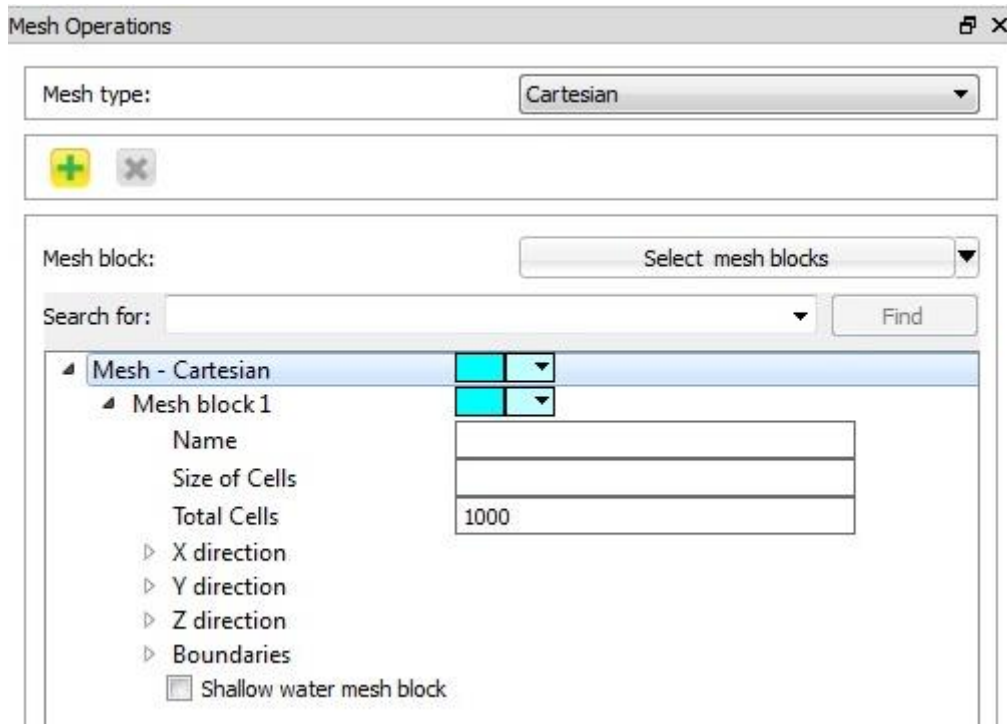
Modele çözüm ağını oluşturmak için “Meshing & Geometry” sekmesi altında, sol tarafta bulunan çubuk menüden “Show Mesh Window” (Çözüm Ağı Penceresini Göster) seçilir (Resim 4.15).



Resim 4.15. Çözüm ağı (Mesh) penceresinin açılması

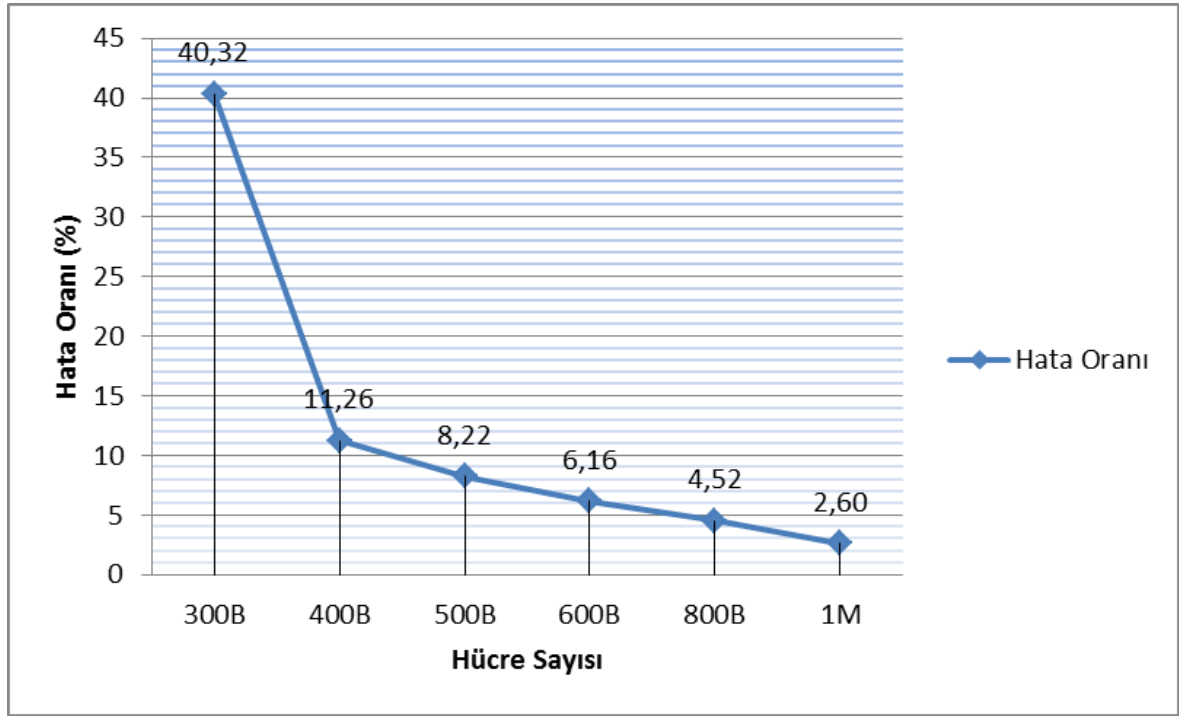
Yapılan bu işlemin ardından ekranın sağ tarafına “Mesh Operations” (Çözüm Ağı Operasyonları) penceresi gelir (Resim 4.16). Bu pencere içerisinde modele en uygun çözüm ağı yapısı oluşturulur. Bu çözüm ağını oluştururken Bölüm 4.1’de de bahsedildiği üzere, aynı fiziksel alan için çözüm ağı boşluklarını azaltmak (çözüm ağını inceltmek) daha fazla eleman oluşmasına ve düğüm noktasına sebep olacaktır. Dolayısıyla bu durum sayısal modelin boyutunu büyötmektedir. Akışkanın fiziksel davranışı, tasarım döngüsü, bilgisayarın donanımı gibi konular makul çözüm ağı boyutlarının seçilmesini zorunlu kılar. Bu sebeplerden ötürü modele en uygun çözüm ağı yapısını tanımlamak büyük önem arz etmektedir.

Çözüm ağı “Mesh Operations” penceresindeki  düğmesine veya ana ekrandaki araç çubuğunda bulunan  düğmesine tıklayarak, veya aşağısındaki listede bulunan  imgesi üzerinde farenin sağ tuşuna tıklanmasıyla açılan menüden, “Add a mesh block” seçilmesiyle oluşabilir (Resim 4.16). Bu şekilde modele uygun birden fazla blok eklenebilir. Eklenen her bir blok diğerlerinden farklı boyutlarda teşkil ettirilebilir.



Resim 4.16. Mesh Block (çözüm ağı bloğu) oluşturma

Resim 4.16’de gösterildiği gibi oluşturulan “mesh block” (çözüm ağı bloğu) için, x, y, z, yönlerindeki boyutları tayin edilebilir, hücre ölçüleri veya hücre sayısı ile yeni bir isim belirlenebilir. Farklı yönler için farklı hücre boyutları ile hücre sayısı kısıtlarından birisi tercih edilebilir. Bunun için ilgili yönün solunda bulunan oka tıklanarak açılan menüden istenilen değerler girilebilir. Oluşturulan çözüm ağı yapısına analiz süresi, bilgisayar performansı ve hata oranı gibi bileşenler dikkate alınarak karar verilmelidir. Bu sebeple problemde uygulanacak çözüm ağının boyutlarını belirlemek adına, çok yoğun bitki örtüsüne sahip dikdörtgen kanal kesitli akışta oluşan deneysel sonuçlar ile sırasıyla 300 000, 400 000, 500 000, 800 000, 1 000 000 hücreye sahip çözüm ağından elde edilen program sonuçlarının kıyaslanmasıyla hata oranları oluşturulmuştur (Şekil 4.2).

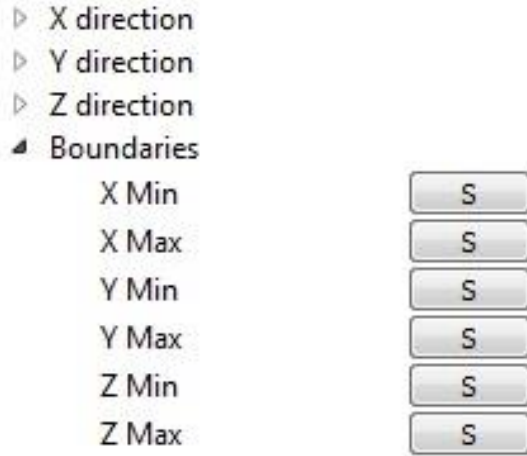


Şekil 4.2. Hücre Sayısı - Hata Oranları gösterimi

Sınır koşullarının girilmesi

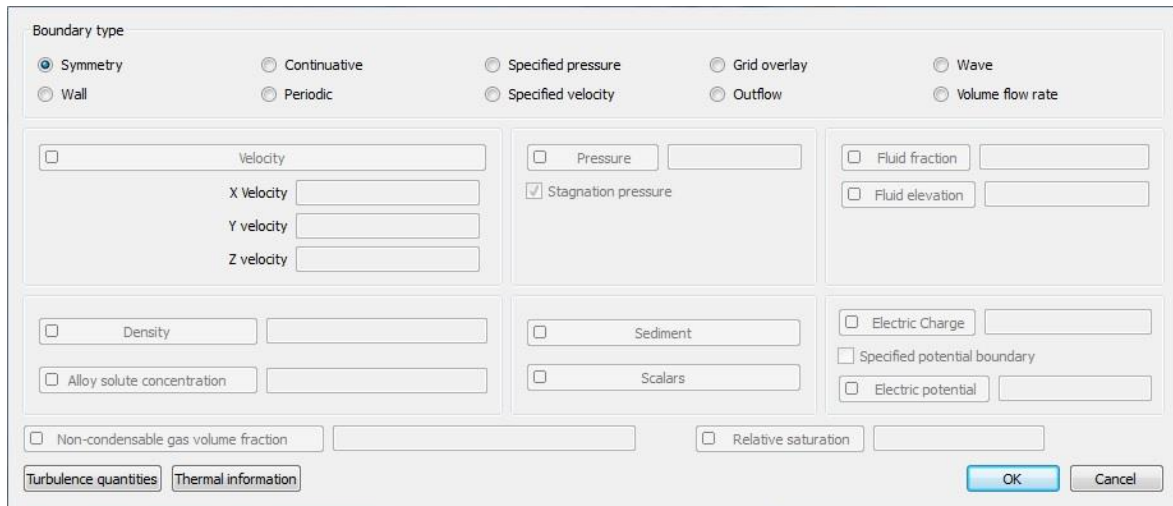
Sınır koşulları mesh bloklar hazırlanırken tanımlanması gereken fiziksel özelliklerdir. Bu nedenle istenen boyutlarda oluşturulan bir veya daha fazla “mesh block” için blok yüzeylerine sınır koşullarının atanması gerekir. Bu belirlemede gerçek sınır koşulları dikkate alınır. Bunun için “mesh block” altında açılan listeden, “Boundries” yanındaki oka

tıklandığında açılan listeden, ilgili yüzeylerde sınır koşullarının tayin edilmesi gerekmektedir (Resim 4.17)



Resim 4.17. Yüzeylerin sınır koşulları

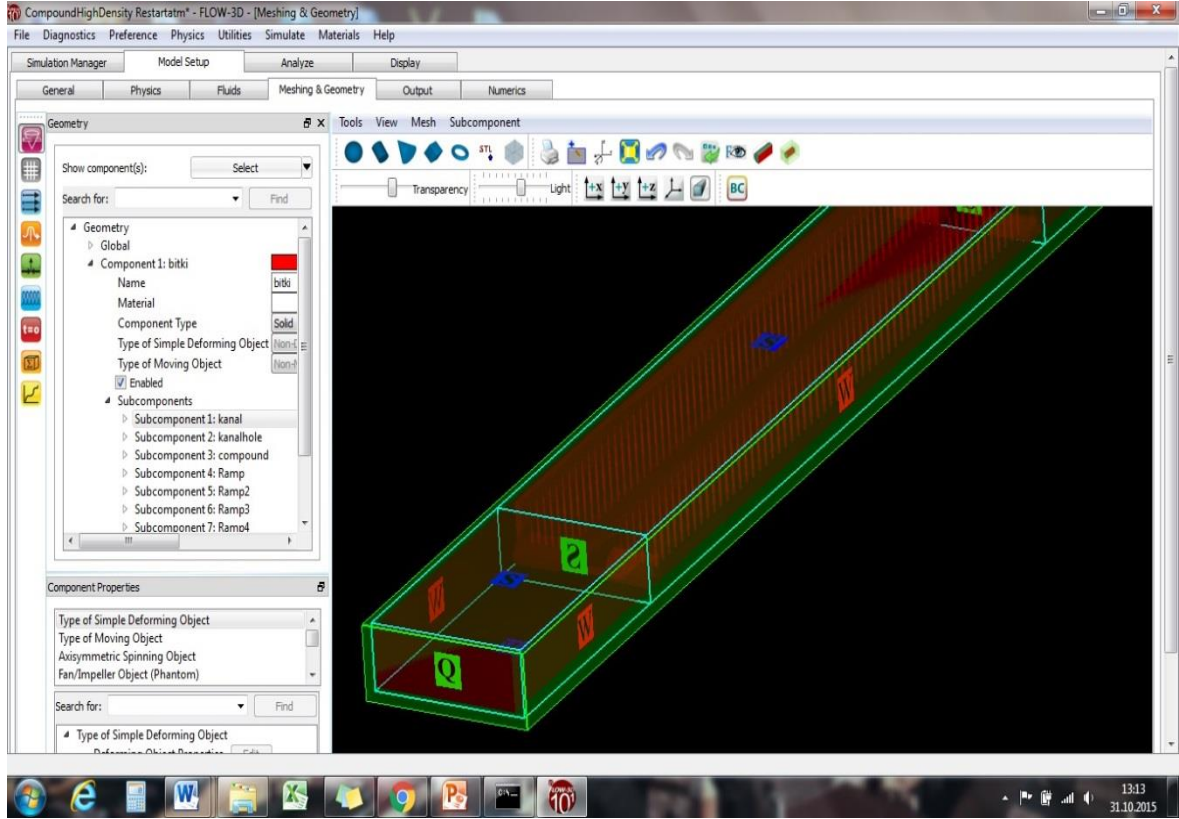
Oluşturulan modelin durumuna göre yüzeylere tanımlanacak sınır koşulları için yüzeyin yanındaki düğmeye tıklanır. Gelen pencereden istenilen sınır koşulu belirlenir (Resim 4.18)



Resim 4.18. Sınır koşullarının belirlenmesi

Resim 4.18'de de görüldüğü üzere sınır koşulu olarak simetri, duvar, dalga, belirli bir basınç veya hız, çıkış gibi koşullar belirlenebilir. Ayrıca, ana ekran üzerindeki araç çubuğunda bulunan **BC** düğmesine tıklanması ile de modelin yüzeylerinde sınır koşulları görünecek olup, istenilen yüzeye çift tıklanması ile sınır koşullarının belirlenmesi işlemi

yapılabilir. Modelleme işleminin en önemli basamaklarından birisi olan sınır koşullarının tayinine yeteri kadar özen gösterilmesi sonuçların sağlıklı çıkması açısından büyük önem taşımaktadır.



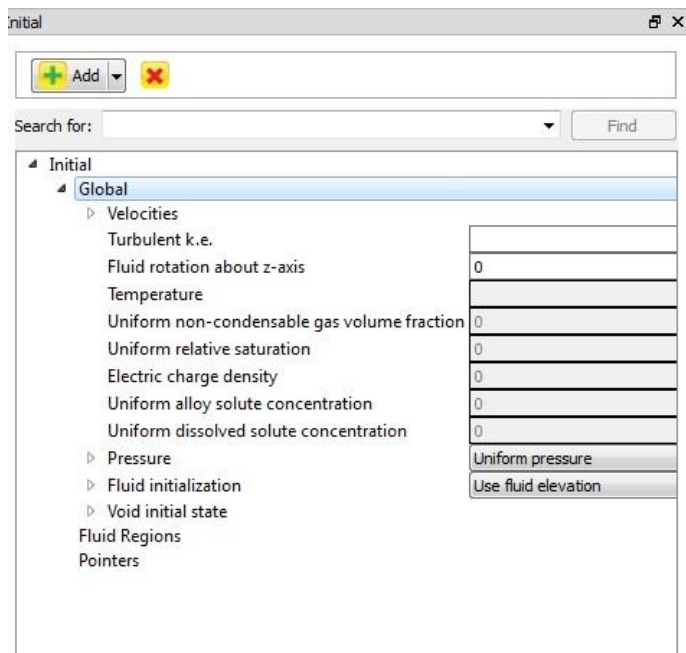
Resim 4.19. Bileşik kanalda sınır koşulları

Çizelge 4.1. Flow-3D programıyla modellenen simülasyonlara ait özet veriler

No	Çubuk boyu	Kanal Tipi	Yoğunluk	λ (cm ⁻¹)	Q (l/s)	Akım Derinliği (cm)	
						Ana Kan.	Taş. Yat.
1	18 cm	Bileşik Kanal	Yüksek	0,04	15	25	9
			Orta	0,02	15	25	9
			Düşük	0,01	15	25	9
			Bitkisiz	-	15	25	9
2	18 cm	Dikdörtgen Kanal	Yüksek	0,04	6,5	26	-
			Orta	0,02	6,5	26	-
			Düşük	0,01	6,5	26	-
			Bitkisiz	-	6,5	26	-


4.5.6. Simülasyonda başlangıç koşulları (t=0) girilmesi

Program içerisinde “Meshing & Geometry” bölümünde, modelin t=0 anına ait başlangıç koşullarını belirlemek için sol tarafta bulunan ikonlardan “t=0” olan seçilir. Ekranın sağ tarafına açılan “Initial” (Başlangıç) bölmesinden artık modele ait giriş koşulları girilebilir. Bu bölmede, hızlar, basınç, ilk akışkan yüklemesi gibi başlangıç koşulları oluşturulabilir. Bu tez kapsamındaki model çalışmasında, homejen basınç ve bileşik kanal için 25 cm, dikdörtgen kanal için ise 26 cm su yüksekliği girilmiştir (Resim 4.20).



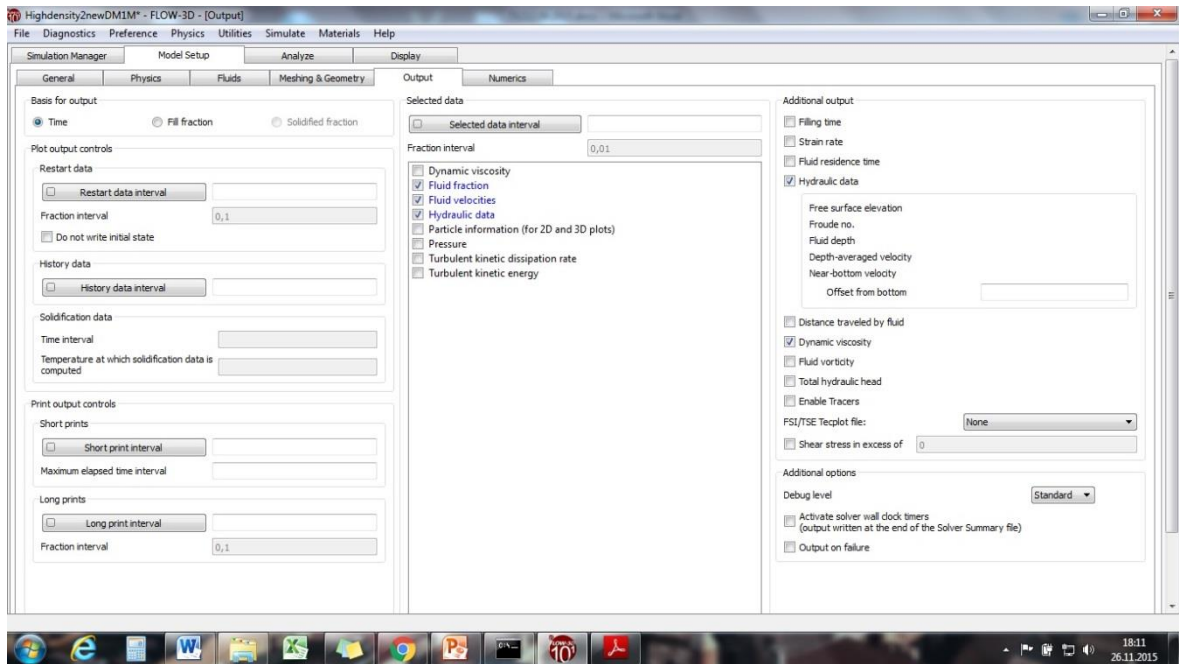
Resim 4.20. Başlangıç koşullarının girilmesi

4.5.7. Favor özelliği

Flow-3D programında, modellenen çalışmanın hesaplamaya esas görselini elde etmek “Favor” özelliği sayesinde mümkündür. FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) yani kısmi alansal/hacimsel engellerin gösterimi özelliği Flow-3D programına has bir özelliktir (Flow Science Inc, 2014). Geometrik tasarımın tamamlanması, uygun çözüm ağının tanımlanması ve başlangıç koşullarının girilmesi akabinde, “Meshing & Geometry” bölümünde bulunan “Favor” ikonuna  tıklanarak, modelin program için anlamlı olan ve hesaplarda dikkate alınan görüntüsü elde edilebilir. Bu görüntüde, çözüm ağının sıklığına göre daha iyi görseller elde edilebilmektedir.

4.5.8. Modelde çıktıların belirlenmesi

Tasarım aşamaları geçilmiş model çalışmasında, analiz edilmesi istenen verilere ait seçimler için Flow-3D programının “Output” kısmında yer alan “Filling time” (Dolum süresi), “Hydarulic data” (Hidrolik veri), “Dynamic Viscosity” (Dinamik viskozite) , “Fluid Vorticity” (Akışkan girdabı) gibi seçenekler arasından biri veya bir kaç tercih edilebilir. Bu çalışma kapsamında, model çıktıları olarak, “Hydarulic data” ve “Dynamic Viscosity” seçilmiştir (Resim 4.21).

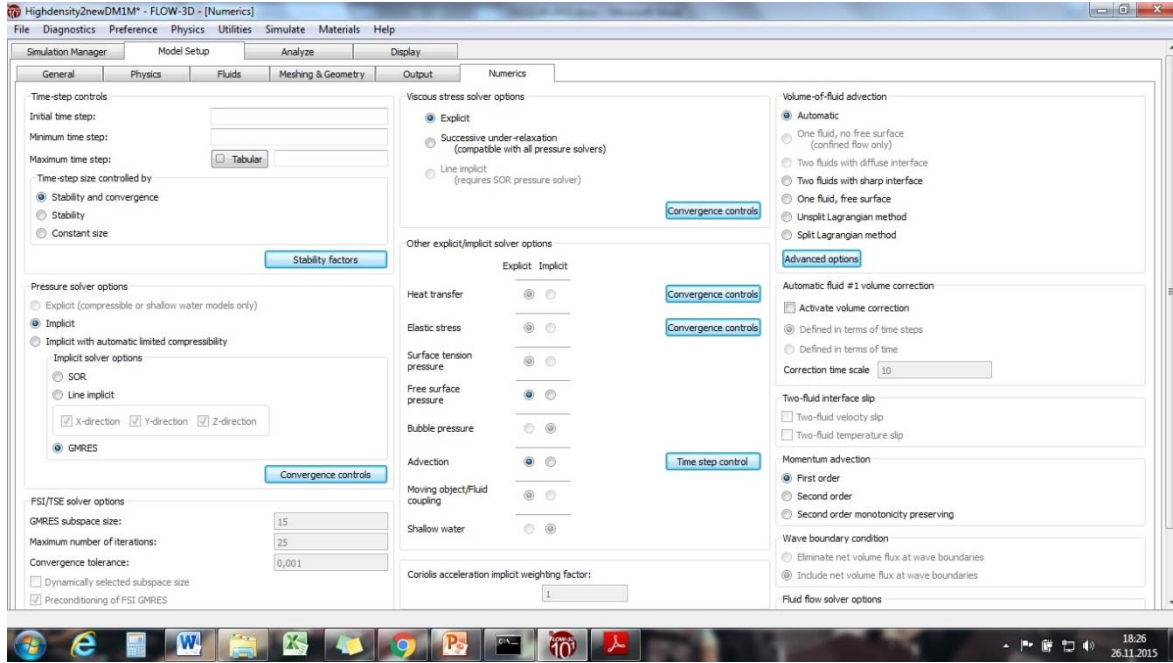


Resim 4.21. Flow-3D Çıktı seçimi

Programın bu sekmesinde, çekilecek verilere ait zaman aralığı da tercih edilebilir.

4.5.9. Sayısal koşulların belirlenmesi

Flow-3D programında, model hesaplamaları için farklı sayısal koşullar tercih edilebilir. Bunun için “Numerics” (Sayısal) bölümünde yer alan kutucuklardan istenen tercihler seçilebilir. “Volume of fluid”(akışkan hacmi), “Viscous stress solver options” (viskoz gerileme çözüm seçenekleri), “Initial time step” (başlangıç zamanı) koşullarda farklı seçimler yapılabilir (Bkz. Resim 4.22)



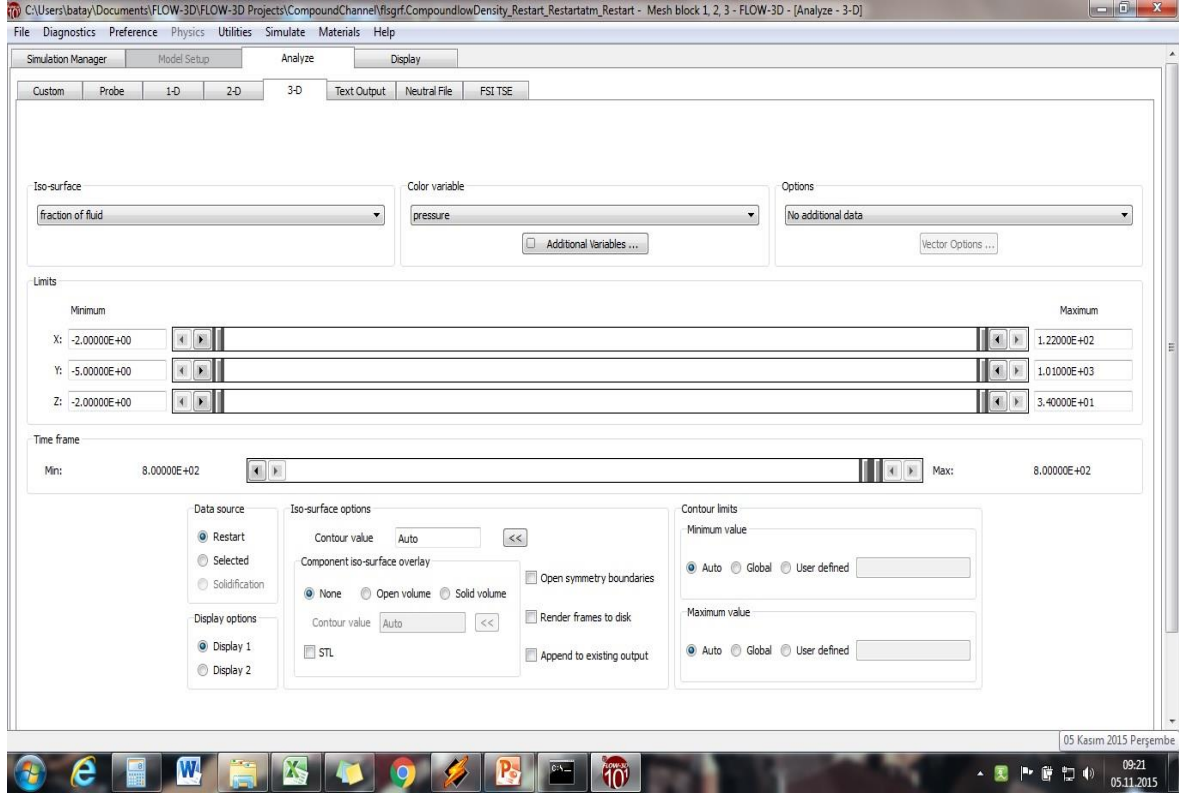
Resim 4.22. Flow-3D Sayısal koşulların belirlenmesi

Tüm bahsedilen bölümler aracılığı ile oluşturulan model çalışmasında, geometrik tasarım, çözüm ağı oluşturma, sınır koşulları, başlangıç koşulları, çıktı birimleri ve sayısal koşullara ait seçimlerin ardından “Simulate” (Simülasyon) menüsü altında yer alan “Run Simulation” (Simülasyonu Çalıştır) tıklanarak modelin durumuna göre zaman alacak çözüm başlatılmış olur. Bu tez kapsamında tasarlanan modellerin çözümü için geçen süre çözüm ağıda bulunan hücre sayısı ile alakalı olarak, 6 saat 43 dakika ile 35 saat 22 dakika arasında değişim göstermiştir.

4.5.10. Flow-3D programında analiz elde edilmesi

Çözümlemesi tamamlanmış modelde, ihtiyaç duyulan analizleri elde etmek için “Analyze” (Analiz) sekmesinden (çözümlemiş önceki çalışmalara da buradan ulaşılabilir) seçim yapılır. Bu sekmede analizden önce çözüm için “Output” (Çıktı) sekmesinde tercih edilen verilere göre 1, 2, 3 boyutta çıktılar alınabildiği gibi metin veya noktasal çıktılar da alınabilir. İstenilen koordinatlarda ve zaman aralığında, eksenlerdeki hız büyüklükleri, basınç değerleri, viskozite, tübülan enerjisi, akım derinliği, Froude sayısı gibi bir çok parametrelere ait sonuçların farklı renklerle ifade edilmesi için bu ekran üzerinden ayarlamalar yapılır. Şayet modelde birden fazla çözüm ağı kullanılmış ise alt kısımda

bulunan “Mesh block” (Çözüm ağı bloğu) tıklanarak, modelde kullanılan farklı çözüm ağı blokları arasından istenilen fiziksel alanı kapsayan blok seçimi yapılmalıdır.



Resim 4.23. Flow-3D Analiz ekranı

Kısıtların belirlenmesi neticesinde, “Render” (Canlandırma-Resmetme) tıklanarak sonuçlar elde edilir. Program aracılığı ile 3D kısımdan video oluşturulabilir.

4.5.11. Flow-3D programında sonuçların izlenmesi

“Display” (Görüntü) sekmesinde analizi yapılmış model için istenilen kısıtlardaki istenilen parametrelere ait sonuçlar görüntülenebilir. Bu aşamada görsel niteliklerde bir takım değişiklikler yapılabilir. Örneğin; “Transparency” (Şeffaflık) ile modelde şeffaflaştırma işlemi yapılabilir. Modele farklı eksenler üzerinden bakışlar izlenebilir. Farklı zaman aralıklarına ait analiz sonuçların aynı ekran içerisinde görüntülenmesi tercih edilebilir.

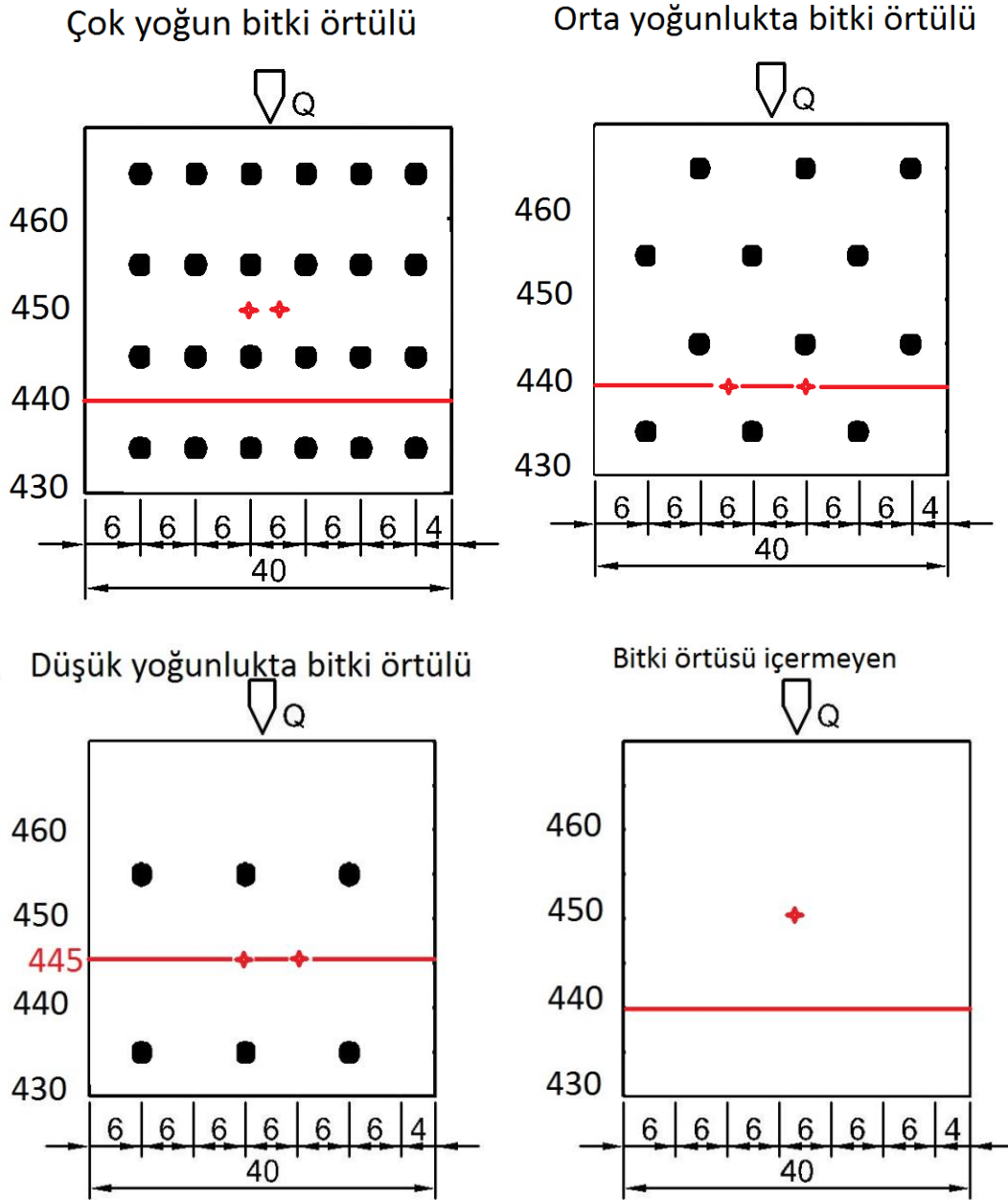
5. TARTIŞMA

Bu bölümde Dorcheh (2007) tarafından gerçekleştirilen deneylerden, 8 set için elde edilen hız ölçümleri (Çizelge 5.1’de belirtilen 4 adet bileşik kesitli kanal ve 4 adet dikdörtgen kesitli kanal) ve Flow-3D programından hesaplanan hız değerleri mukayese edilmiştir. Şekil 5.1’de gösterilen plan üzerindeki nokta ve düzlemlerde kaydedilen deney sonuçları ile Flow-3D programından elde edilen hız değerleri kıyaslanmıştır. Farklı yoğunluklarda bitki örtüsü içeren bileşik kesitli kanal için kesitin ekseninden kanal kenar duvarına doğru akış yönündeki hız değerlerinin derinlik ortalamalı profilleri (Bkz. Şekil 5.2.a-d) ile kıyaslama yapılırken, dikdörtgen kesitli kanalda akış yönündeki hızın akım derinliği boyunca elde edilen profilleri (Bkz. Şekil 5.3.a-g) ile karşılaştırma yapılmıştır.

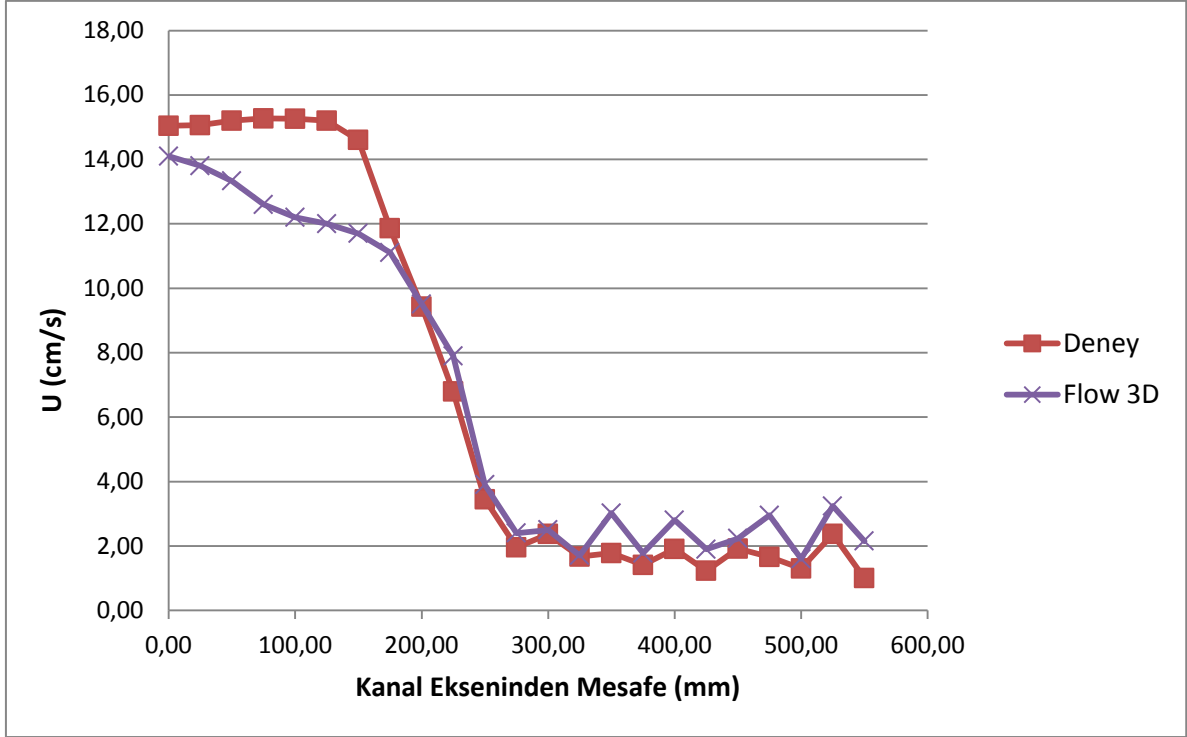
Çizelge 5.1. Flow-3D programıyla modellenen 8 deney seti

No	Çubuk boyu	Kanal Tipi	Yoğunluk	Q (l/s)	Akım Derinliği (cm)	
					Ana Kan.	Taş. Yat.
1	18 cm	Bileşik Kanal	Yüksek	15	25	9
			Orta	15	25	9
			Düşük	15	25	9
			Bitkisiz	15	25	9
2	18 cm	Dikdörtgen Kanal	Yüksek	6,5	26	-
			Orta	6,5	26	-
			Düşük	6,5	26	-
			Bitkisiz	6,5	26	-

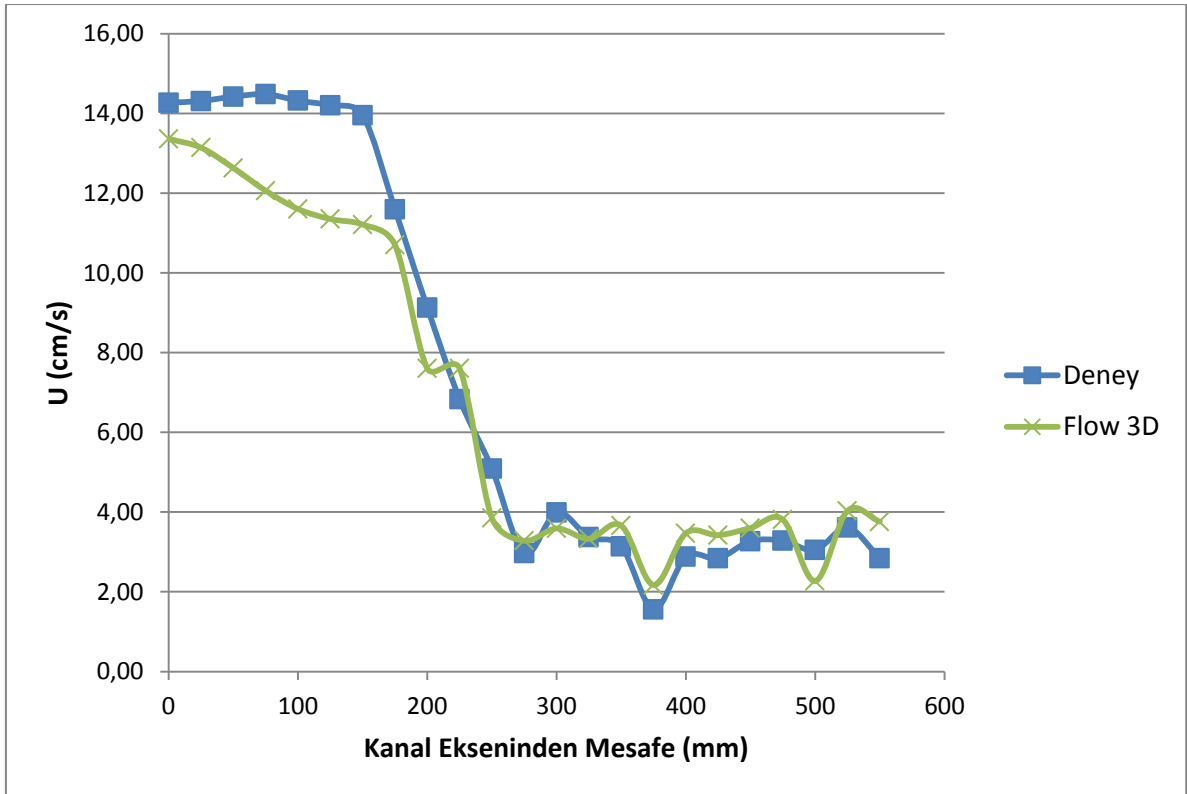
8 deney setinin Flow-3D programındaki nihai modellerinde, çözüm ağı yapısı 300 000 ile 2 388 317 arasında değişen hücre sayısına sahiptir. Bu yapıların çözümü için geçen süre ise 6 saat 43 dakika ile 35 saat 22 dakika arasında değişim göstermiştir. Modelleme için, 4 çekirdekli Intel Core i5 işlemciye sahip 8 GB RAM’i bulunan ortalama bir dizüstü bilgisayardan faydalanılmıştır.



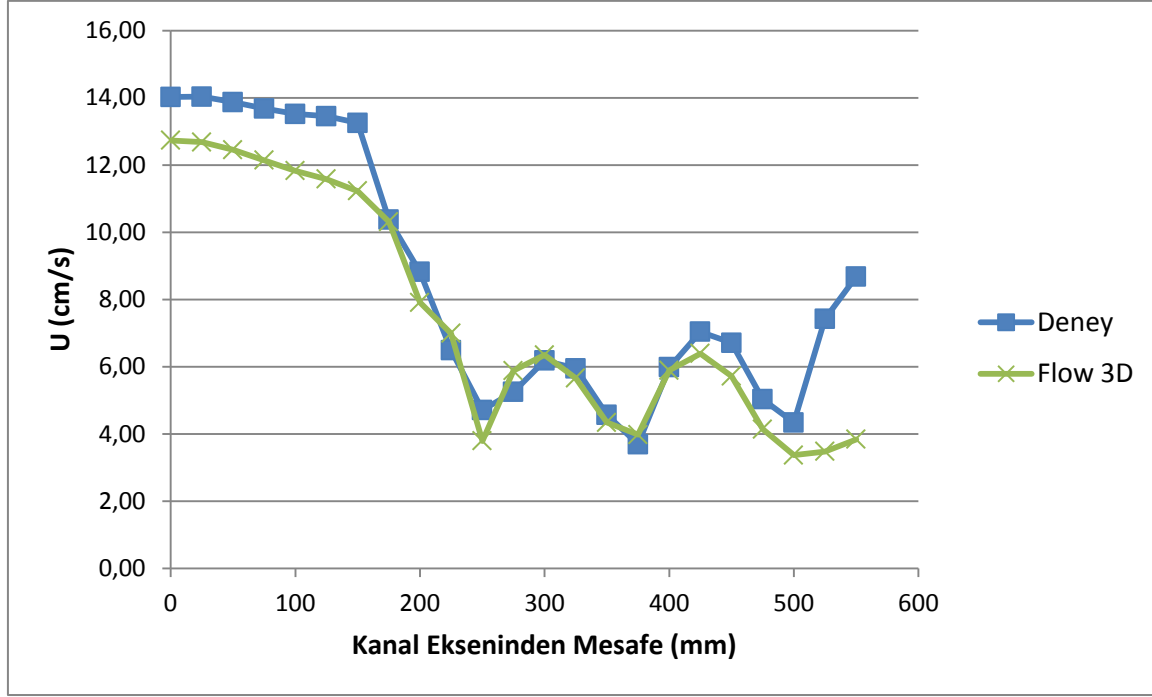
Şekil 5.1. Dorcheh (2007) deney sonuçları ile Flow 3D hesaplarının kıyaslandığı nokta ve düzlemler (Şekil üzerindeki ölçüler cm olarak verilmektedir)



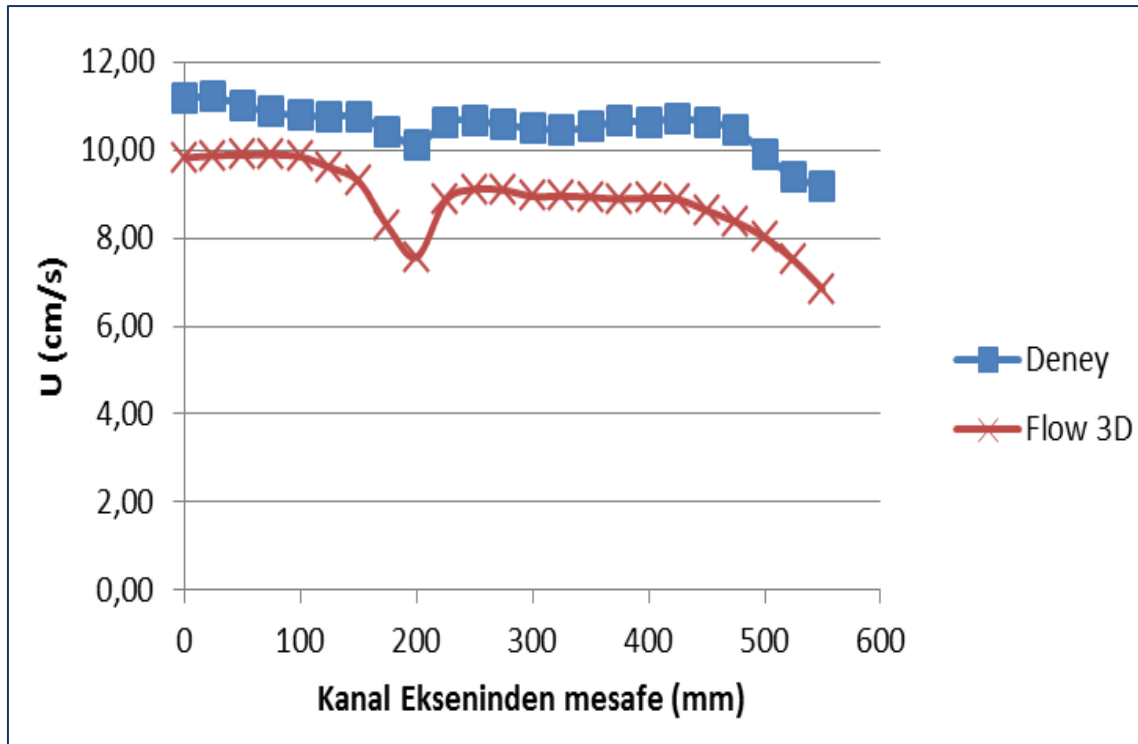
Şekil 5.2. Yüksek yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri ($y=4,40$ m)



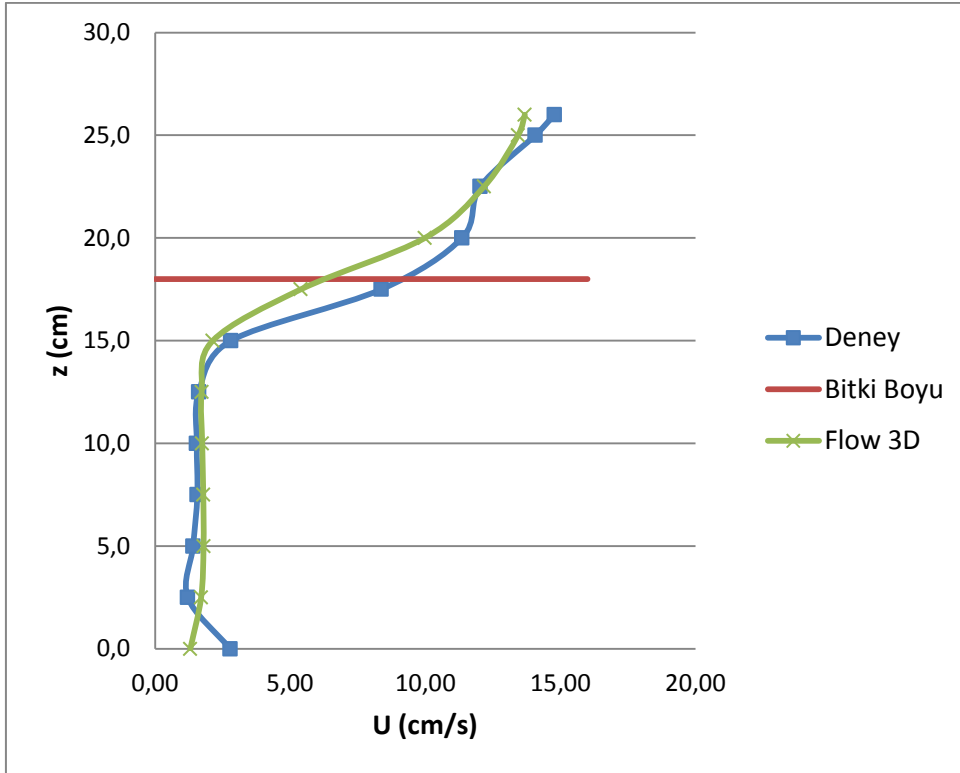
Şekil 5.3. Orta yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri ($y=4,40$ m)



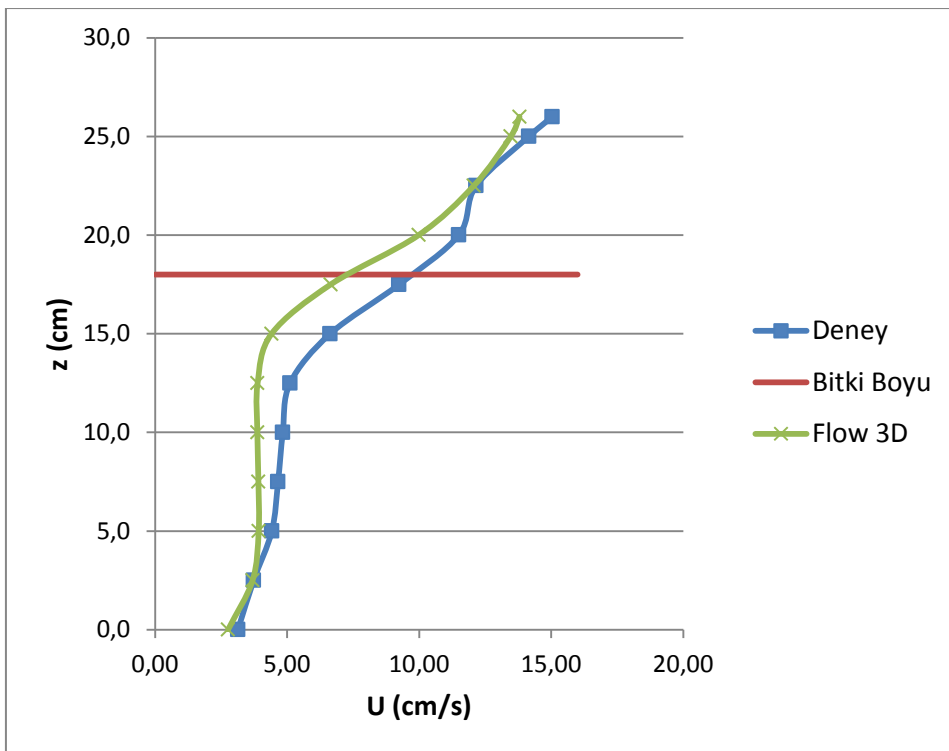
Şekil 5.4. Düşük yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri ($y=4,45$ m)



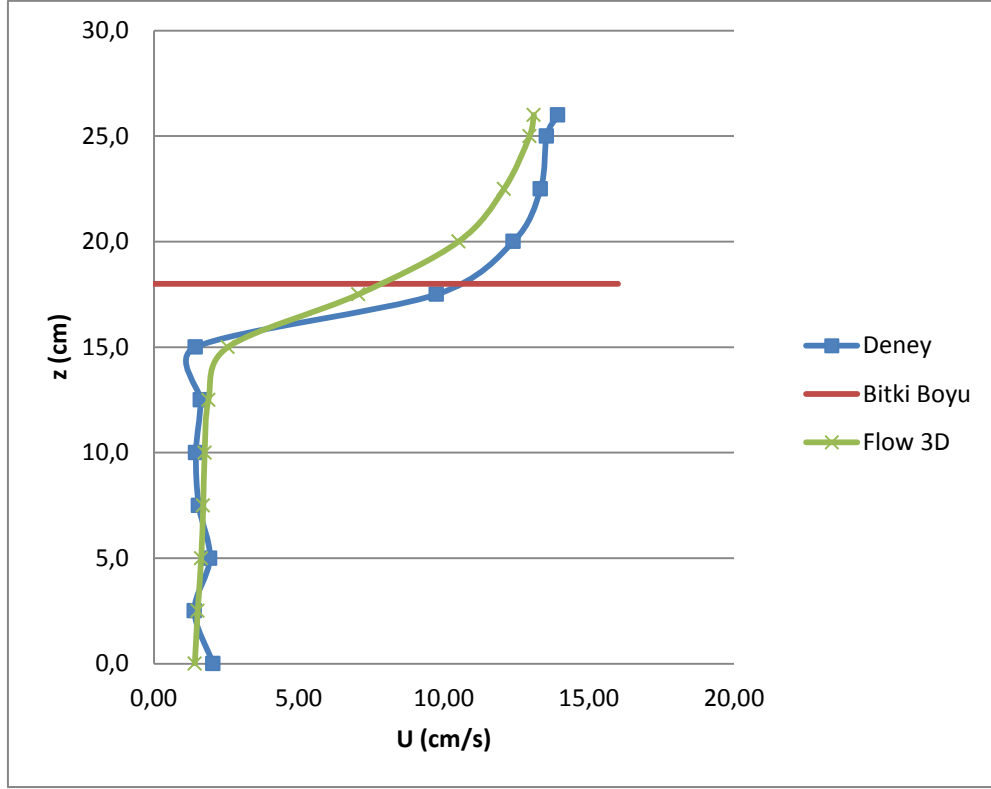
Şekil 5.5. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan derinlik ortalamalı hız profilleri ($y=4,40$ m)



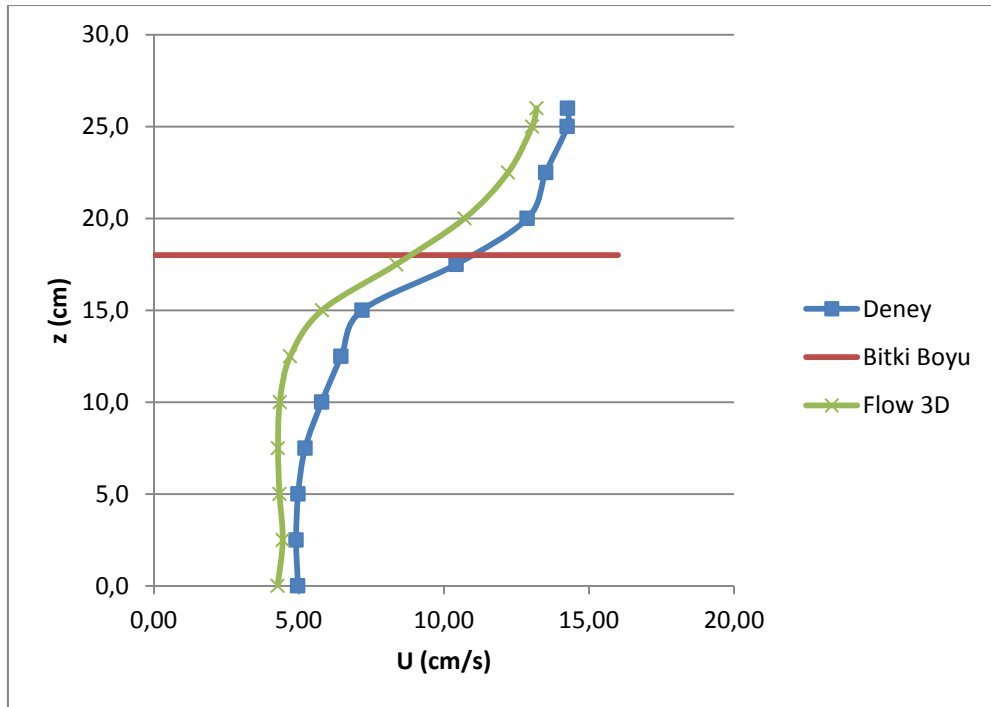
Şekil 5.6. Yüksek yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=450 cm, x=18 cm)



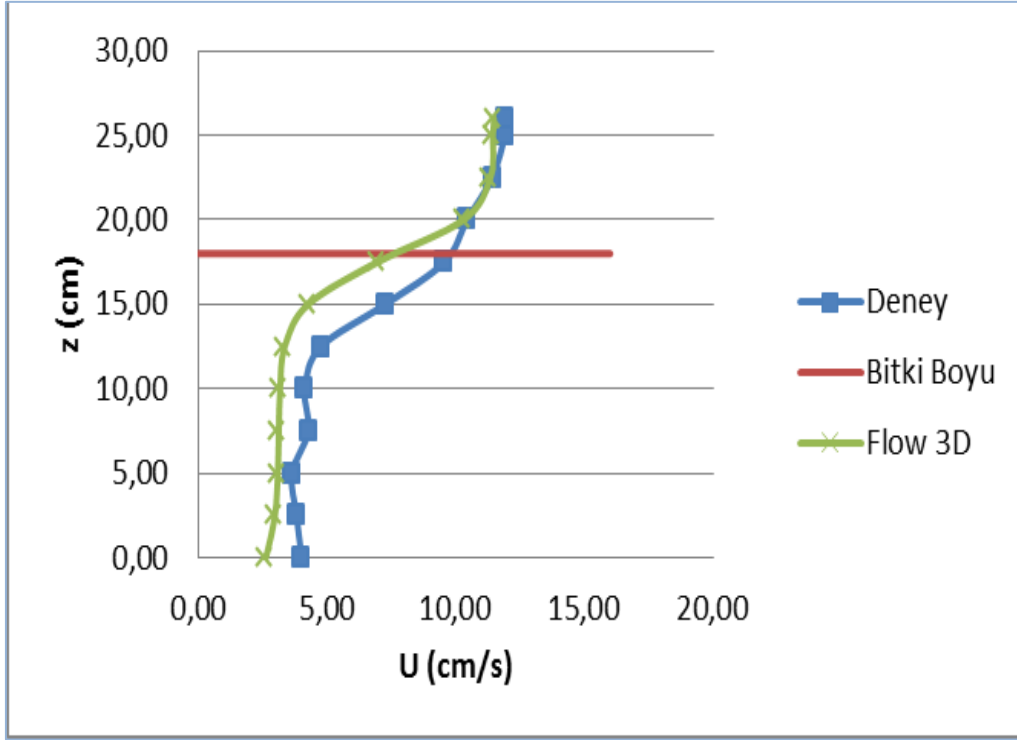
Şekil 5.7. Yüksek yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=450 cm, x=21 cm)



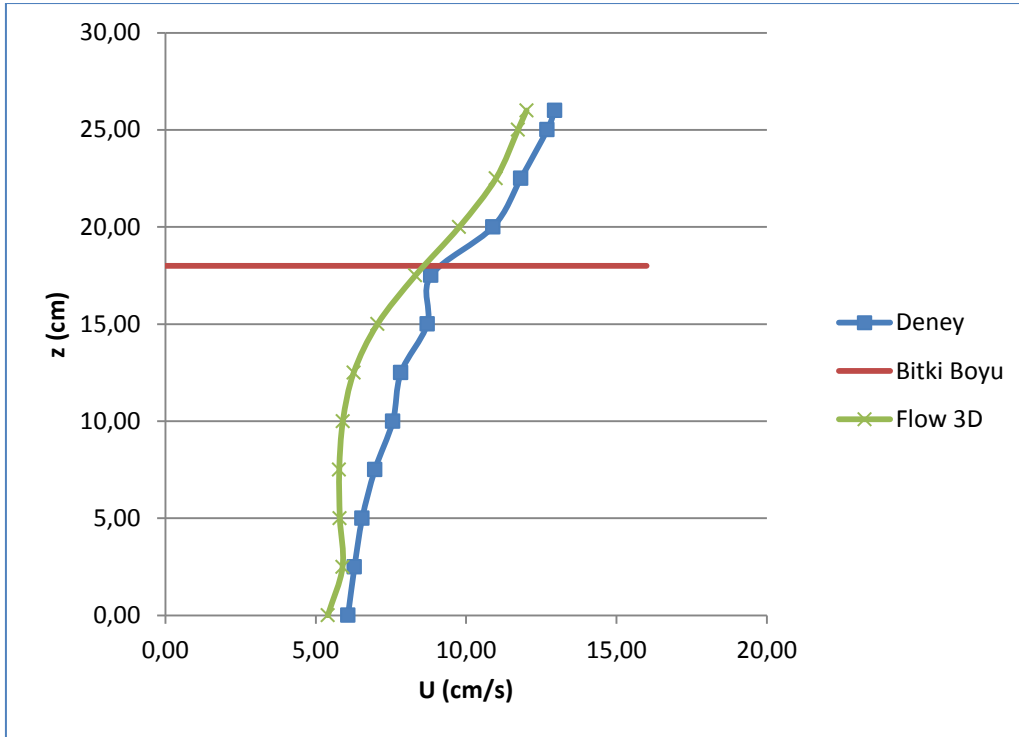
Şekil 5.8. Orta yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=440 cm, x=24 cm)



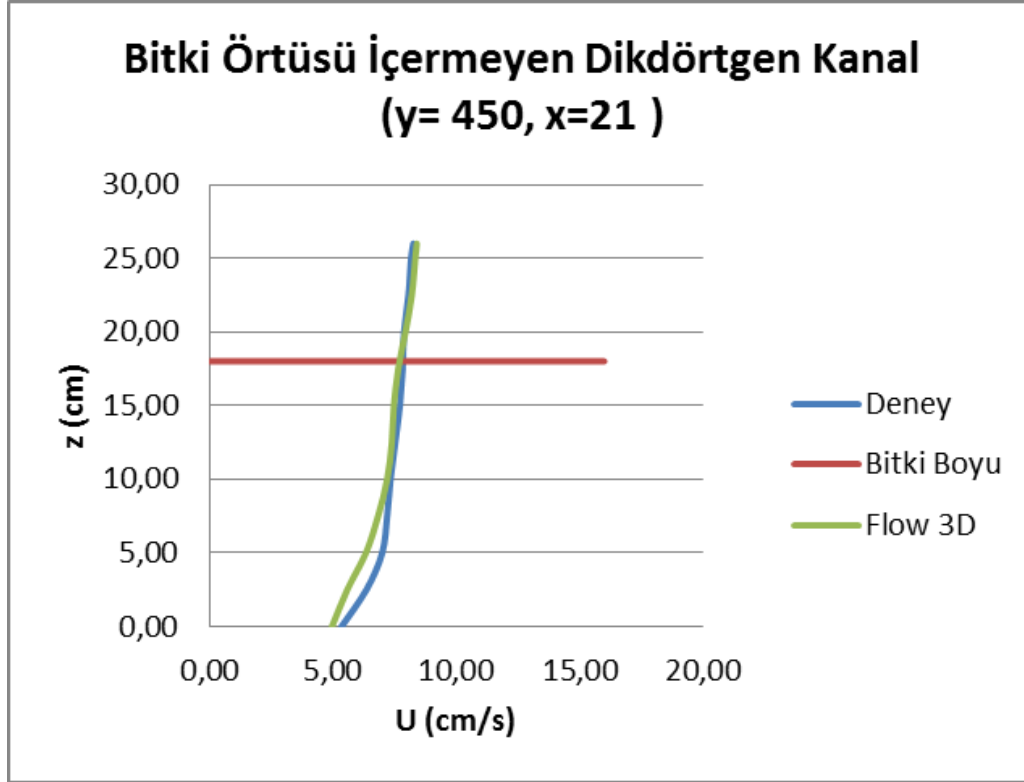
Şekil 5.9. Orta yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=440 cm, x=15 cm)



Şekil 5.10. Düşük yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=445 cm, x=18 cm)



Şekil 5.11. Düşük yoğunluklu bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=445 cm, x=24 cm)



Şekil 5.12.Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli kanalda deneysel ve sayısal model ile hesaplanan akış yönündeki hız profilleri (y=450 cm, x=21 cm)

Deneysel sırasında, ADV cihazı ile hız ölçümleri kanal derinliği boyunca 25 mm aralıklarla kaydedilmiştir. Hız ölçümlerinde kanal tabanına en yakın nokta olarak, ana kanal tabanından 15 mm, taşkın yatağı tabanından ise 5 mm uzaklıktan ölçümler elde edilebilmiştir. Bu noktadan sonra yapılan ölçümler 25 mm aralıklarla su yüzeyine kadar (Örneğin, 5, 25, 50, 75, ..., 260 mm) derinliklerde gerçekleştirilmiştir (Dorcheh, 2007).

Şekil 5.2-5’de bileşik kesitli kanaldaki farklı yoğunlukta bitki içeren akımlar ile bitki örtüsü içermeyen akımda boyuna yöndeki hızın derinlik ortalamalı değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Şekil 5.2 irdelendiğinde, ana yatak ile taşkın yatağı kesişim kısmında büyük hız farklılıklarının olduğu görülmektedir. Deneyselardan elde edilen sonuçlarda, ana yataktaki hız değerlerinin 15 cm/s civarında seyrettiği görülürken, taşkın yatağında hız değerleri 1,80 cm/s civarlarında dalgalanmıştır. Bu dalgalanma taşkın yatağında yüksek yoğunlukta rijit bitki varlığından ileri gelmektedir. Akım yüksek yoğunluklu bitki kısmından ana yatağa doğru yönelmekte ve bitkisiz ana yatakta hız artışına sebep olmaktadır. Flow-3D

programından elde edilen sonuçlar da benzer davranış biçimini göstermektedir. Fakat ana yataktan taşkın yatağına geçiş bölümünde Flow-3D programından elde edilen hız değerleri ile deneylerden elde edilen hız değerlerinin farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu farkın oluşmasında en büyük etken, ana yatak ile taşkın yatağı arasındaki momentum transferinin modelde iyi yansıtılmaması olarak düşünülmektedir.

Şekil 5.3'de gösterilen orta yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli kanal için elde edilen sonuçlar, bir önceki yüksek yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitten elde edilen sonuçlarla benzerlik içermektedir. Bu kısımdaki farklılık hızların şiddetindedir. Yüksek yoğunlukta bitki içeren kesite göre orta yoğunlukta bitki içeren açık kanalda; ana yatakta hızlar küçük bir oranda azalırken, taşkın yatağında bir miktar yüksek hız değerleri elde edilmiştir.

Yukardaki durum Şekil 5.4'de gösterilen düşük yoğunluklu bitki içeren bileşik kesitli açık kanalda elde edilen sonuçlar için de söylenebilir. Fakat deney sonuçları ile model sonuçları nispeten yakınlaşmıştır.

Şekil 5.5'de ise bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli açık kanal akımı için analiz yapılmıştır. Burada ortalama hızların deney sonuçlarına göre yaklaşık % 10'luk bir hata ile daha düşük değerlerde hesaplandığı görülmüştür.

Flow-3D model sonuçları, akışın dikdörtgen kesitli açık kanalda test edildiği deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmalarda, derinlik ortalamalı hız değerleri yerine düşey eksen boyunca bir noktadaki hız değerleri kıyaslanmıştır (Bkz. Şekil 5.6-12).

Örneğin, Şekil 5.6'da yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren dikdörtgen kesitli açık kanalda, kanal girişi ile kanalın ortası arasında kalan bir noktada ($y=450$ cm) ve kanal kesitinde orta noktaya yakın bir yerde ($x=18$ cm) alınan sonuçlara bakıldığında, hızlara ait sonuçların oldukça iyi bir uyum sergilediği görülmüştür. Benzer uyum, aynı kanalda alınan farklı noktada da görülmektedir (Bkz. Şekil 5.7).

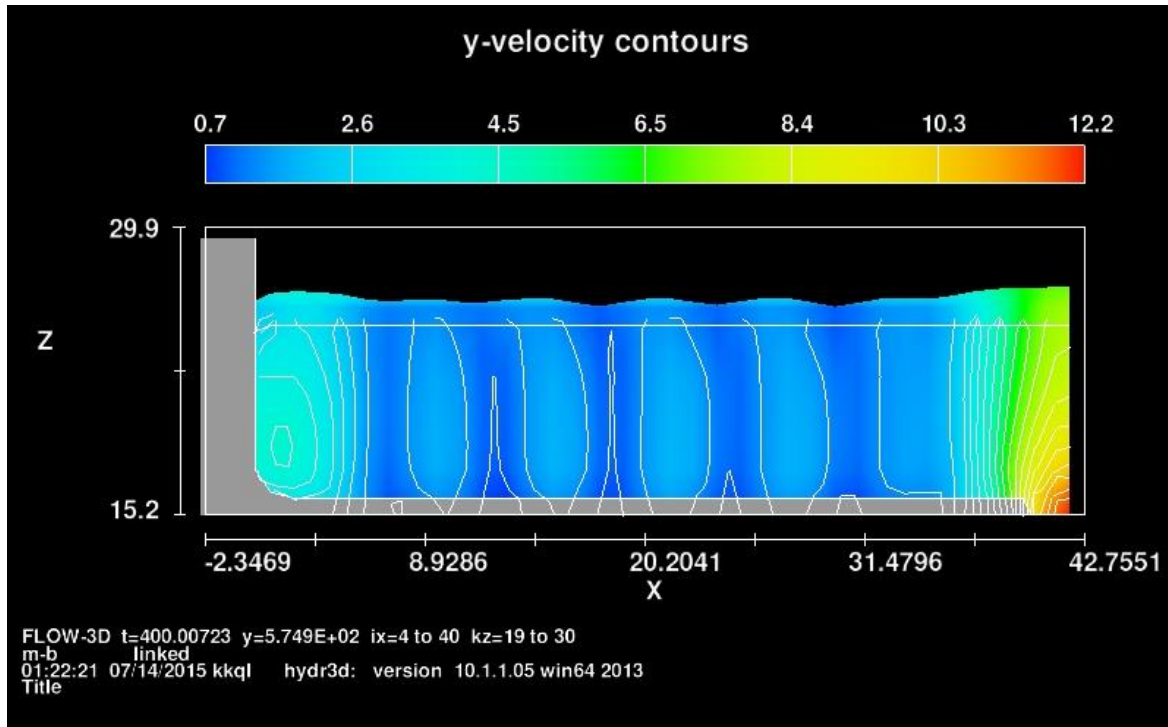
Dikdörtgen kesitli açık kanalda, orta yoğunluklu bitki örtüsü içeren akım koşullarında da hızların uyumlu oldukları görülmektedir (Bkz. Şekil 5.8-9). Burada, kanal başlangıcından aynı mesafede ($y=440$ cm) iki farklı noktadan ($x=24$ cm ve 15 cm) elde edilen hızlar kıyaslanmıştır. Bu kesitte, $x=24$ cm noktası iki rijit bitkinin arasında kaldığı için, $z=0$ 'dan

$z=15$ cm'e kadar olan akış derinliğinde hızın neredeyse düz bir hat üzerinde yaklaşık 1,8-2 cm/s değerlerinde seyrettiği görülmektedir. Ancak, hem deney hem de model sonuçlarında, kanal tabanına göre 15 cm'den su yüzeyine kadar olan bölgede hızın parabolik bir profil çizdiği görülmektedir. Bu kesitte, $x=15$ cm noktasında akımın daha serbest olması sebebiyle diğer noktadaki değerlere göre biraz daha yüksek hız değerleri elde edilmiştir.

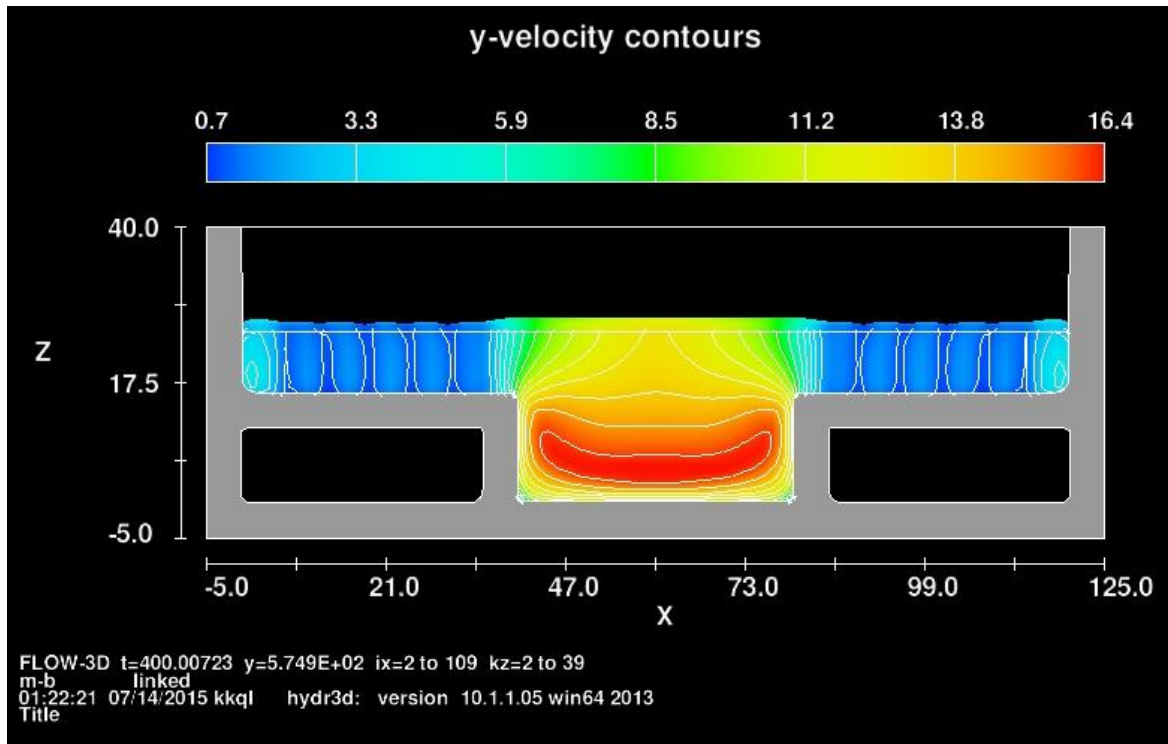
Dikdörtgen kesitli açık kanalda, düşük yoğunluklu bitki örtüsü içeren akım koşullarında da hızların uyumlu oldukları görülmektedir (Bkz. Şekil 5.10-11). Bu grafiklerde kanal başlangıcından 445 cm ilerde $x=18$ cm ve $x=21$ cm noktalarından elde edilen sonuçların kıyaslanması yapılmıştır. Bitkilerin arasında olan $x=18$ cm'deki hız profillerinde, değerler kanal tabanından 12-13 cm yüksekliğe kadar düz bir hat görünümü çizdirirken, su yüzeyine kadar olan kısımda parabolik bir grafik elde edilmiştir. Akımın daha serbest olduğu $x=21$ cm'de diğer noktakilere göre daha yüksek hız değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bu noktada, genel olarak hız değerleri kanal tabanından su yüzeyine doğru gittikçe artış göstermiştir.

Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli açık kanal akımında, deneysel ölçümler ve modelden elde edilen hız değerlerine bakıldığında diğer kıyaslamalara göre en iyi uyum elde edilmiştir (Bkz. Şekil 5.12).

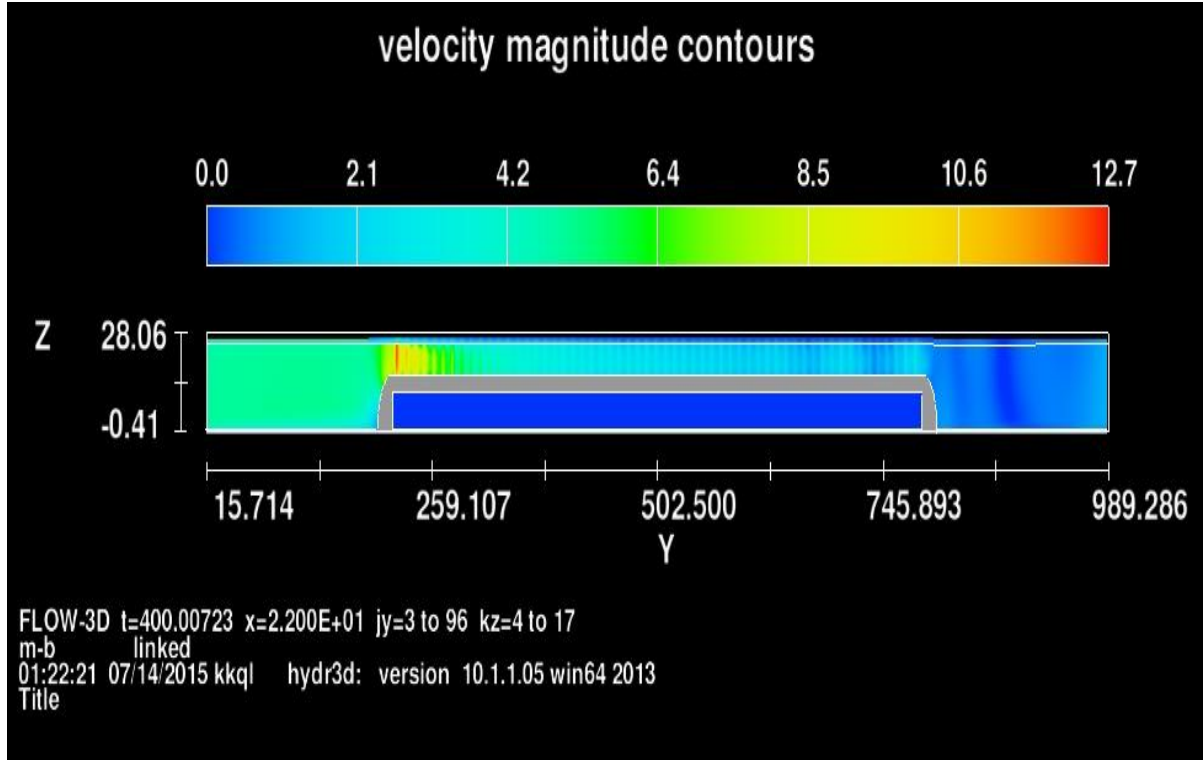
Programın "Analyze" sekmesinden modellerin muhtelif kesitlerine ait 2 boyutlu olarak elde edilen hız gradyanlarını gösteren resimler aşağıda sunulmuştur (Bkz. Resim 5.1 – 24).



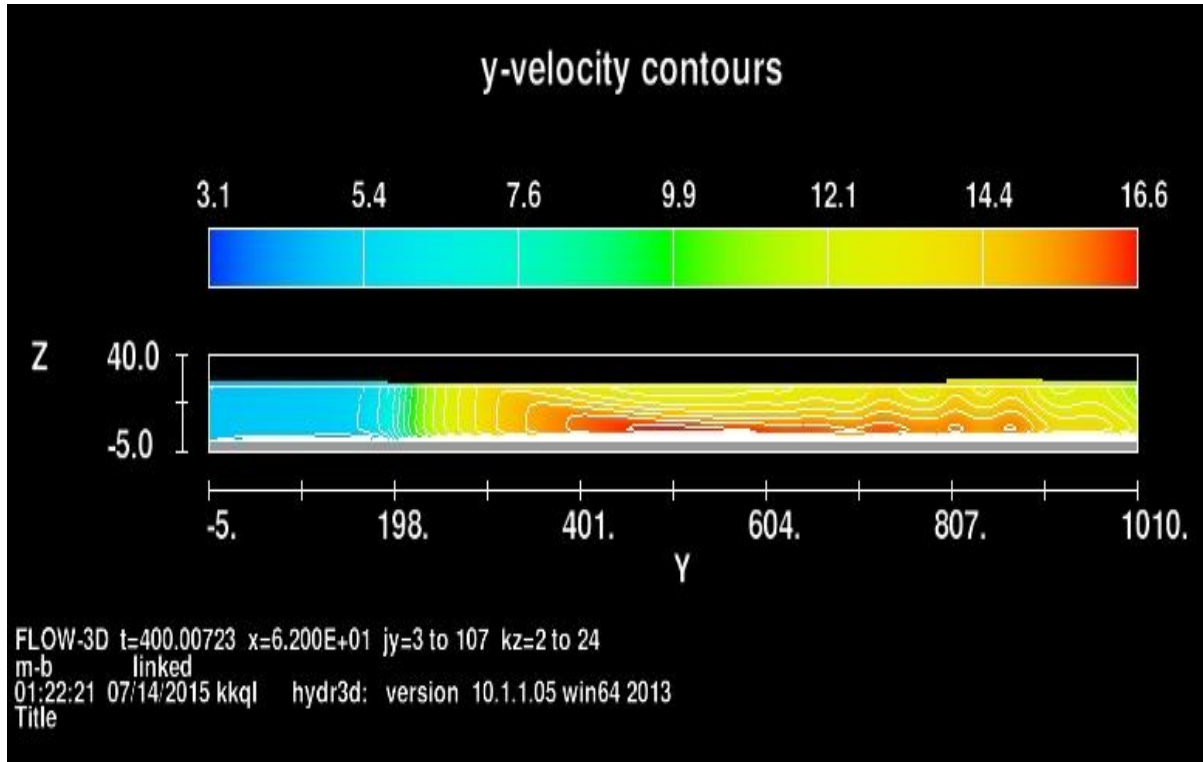
Resim 5.1. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



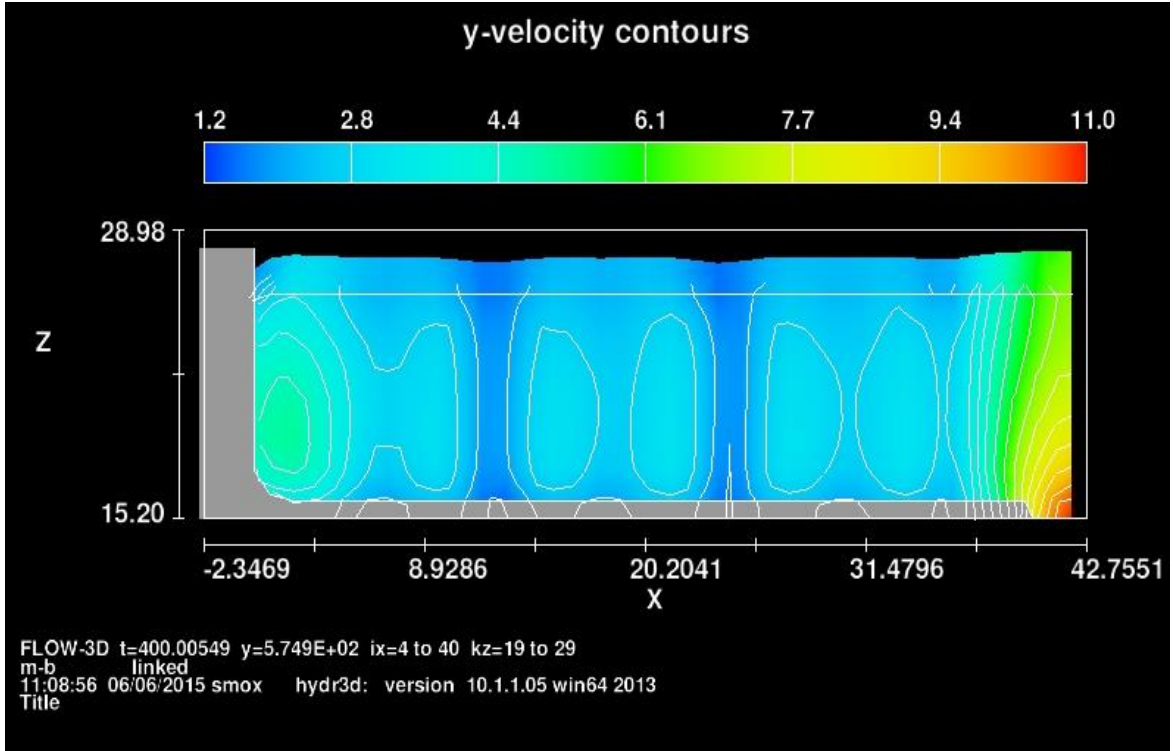
Resim 5.2. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



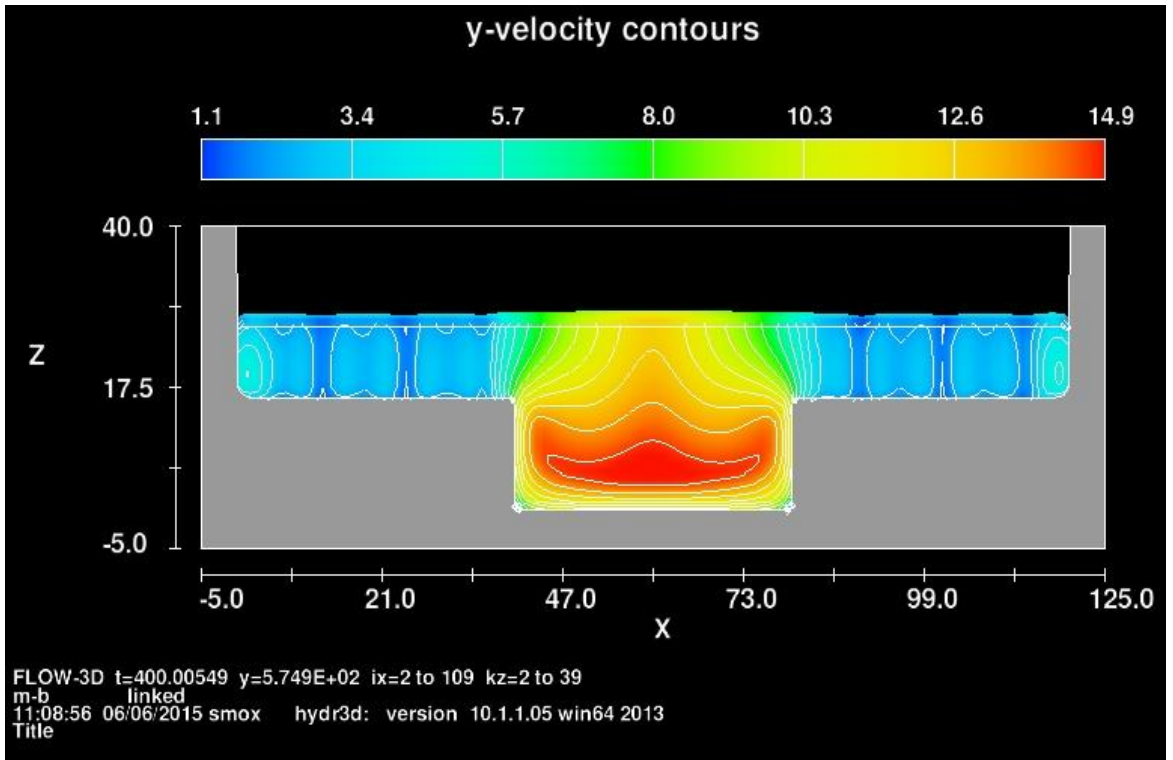
Resim 5.3. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=22 cm)



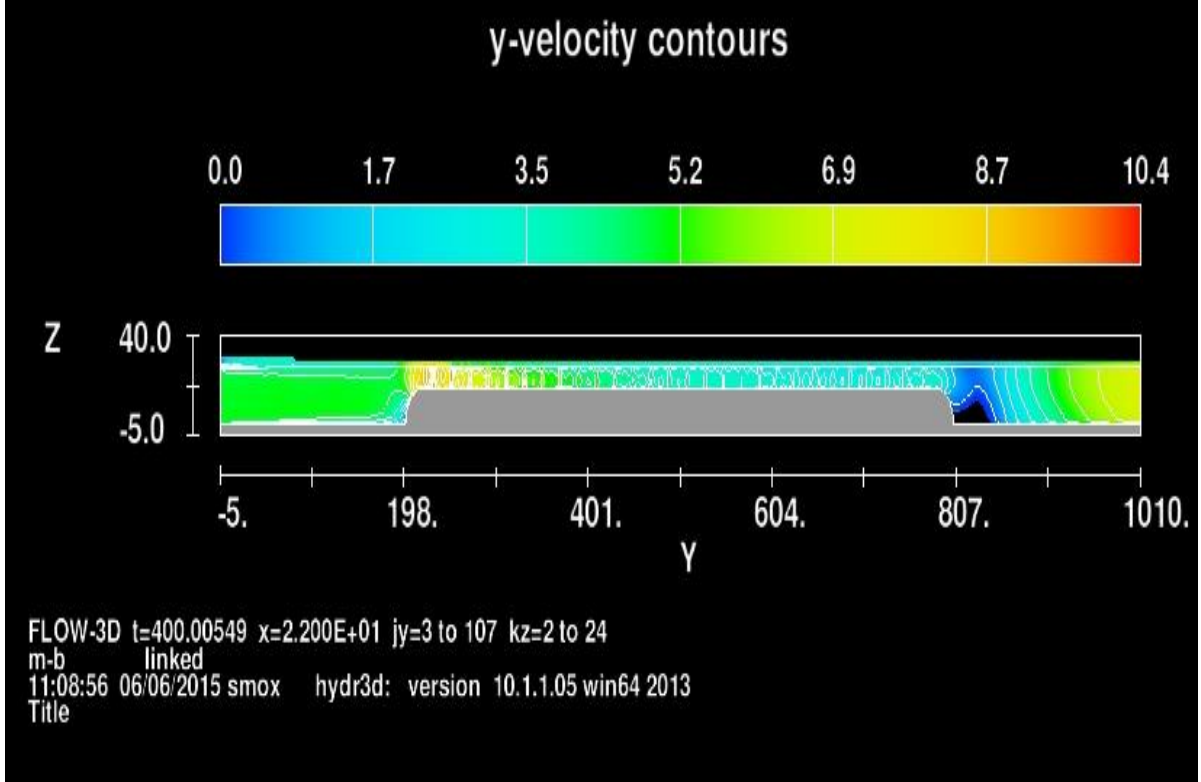
Resim 5.4. Yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=62 cm)



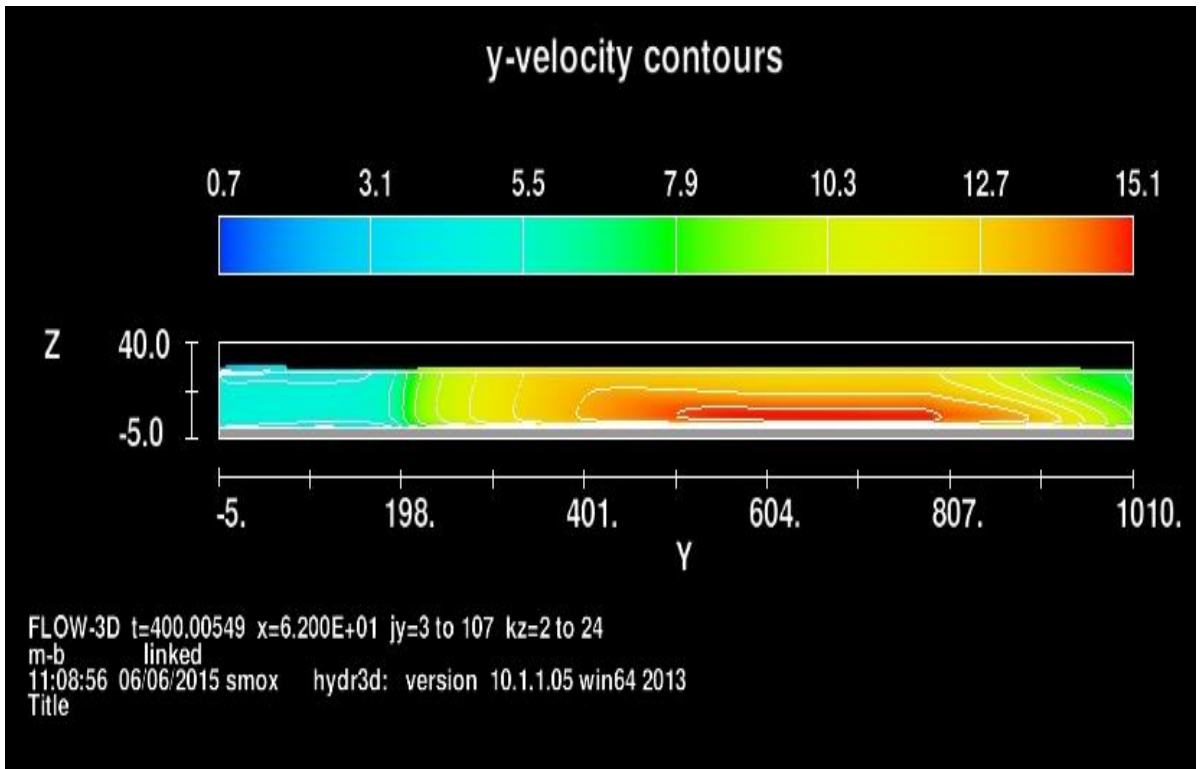
Resim 5.5. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



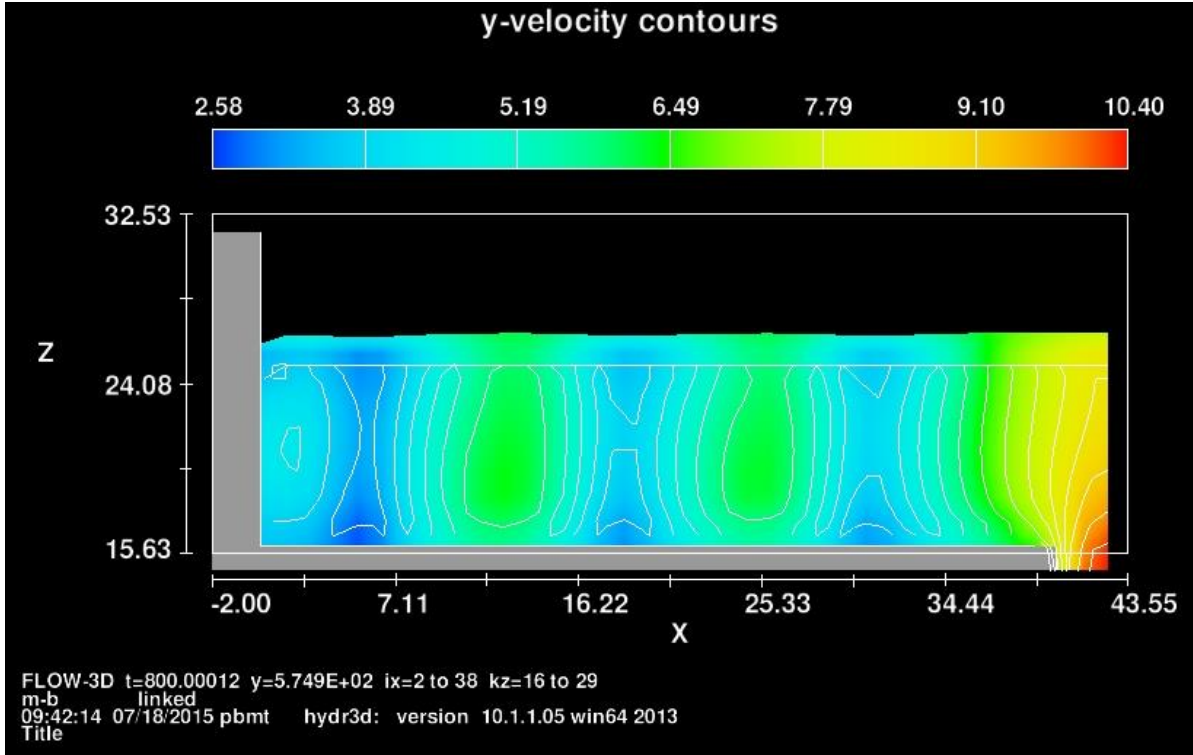
Resim 5.6. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



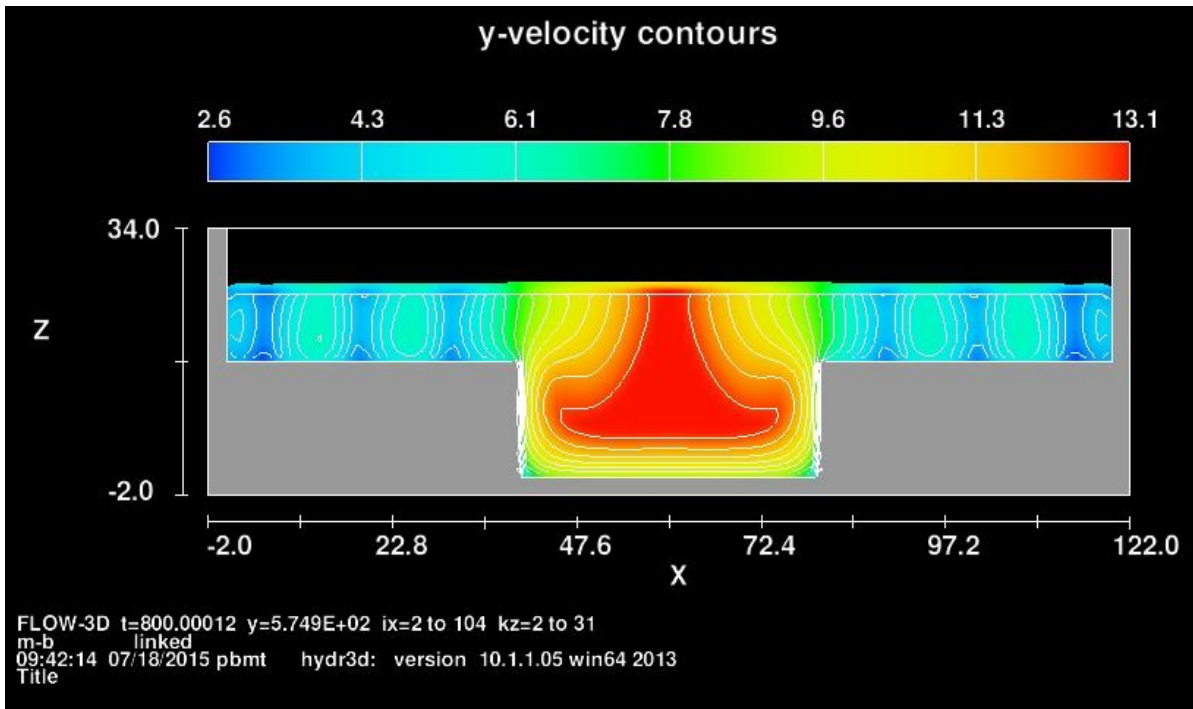
Resim 5.7. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=22 cm)



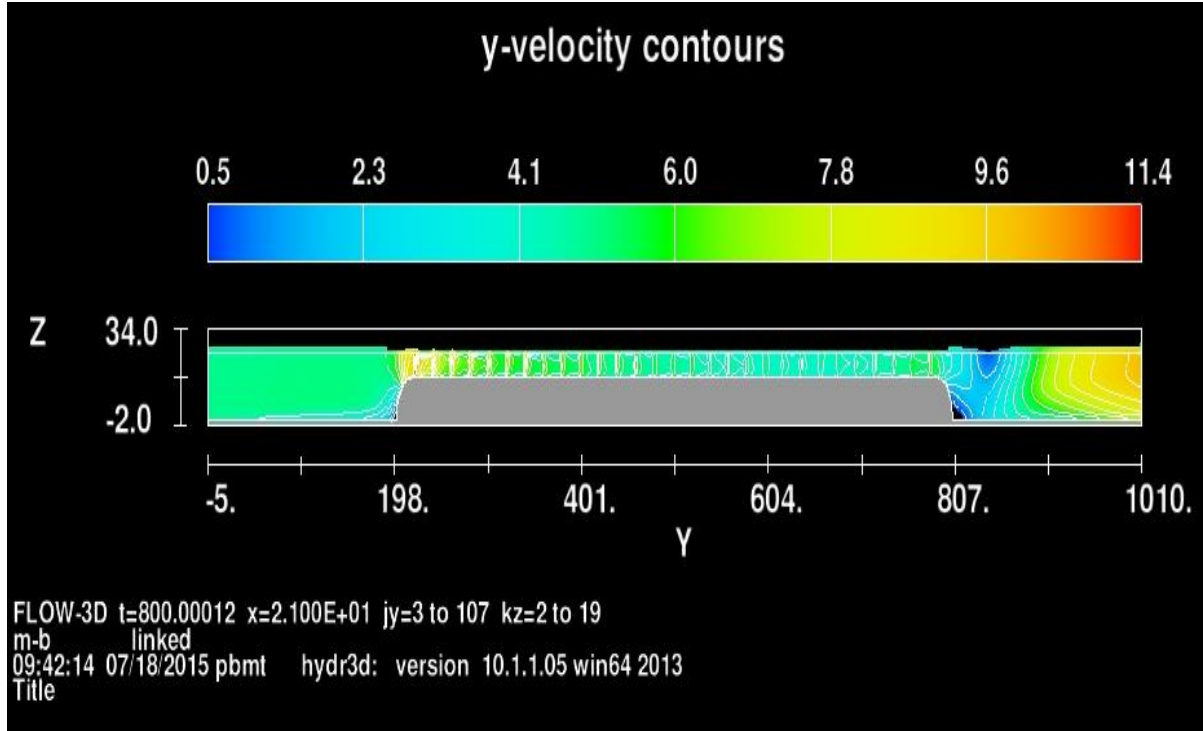
Resim 5.8. Orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=62 cm)



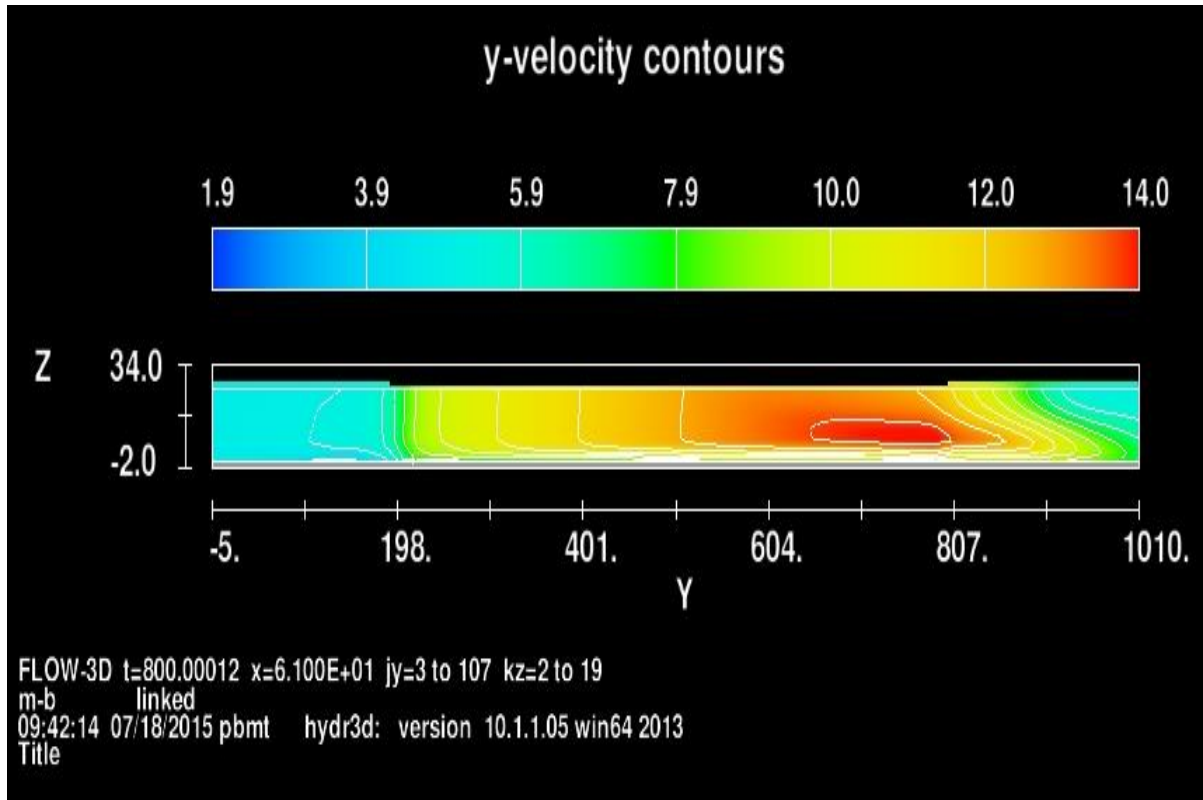
Resim 5.9. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



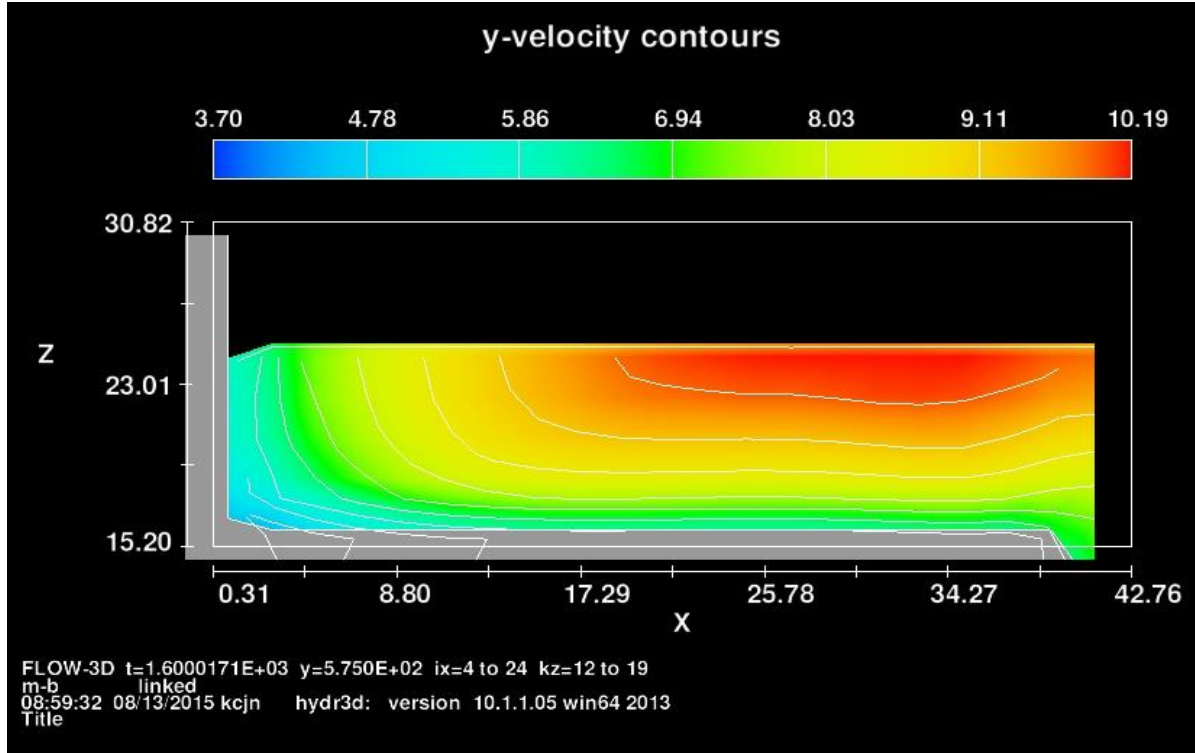
Resim 5.10. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



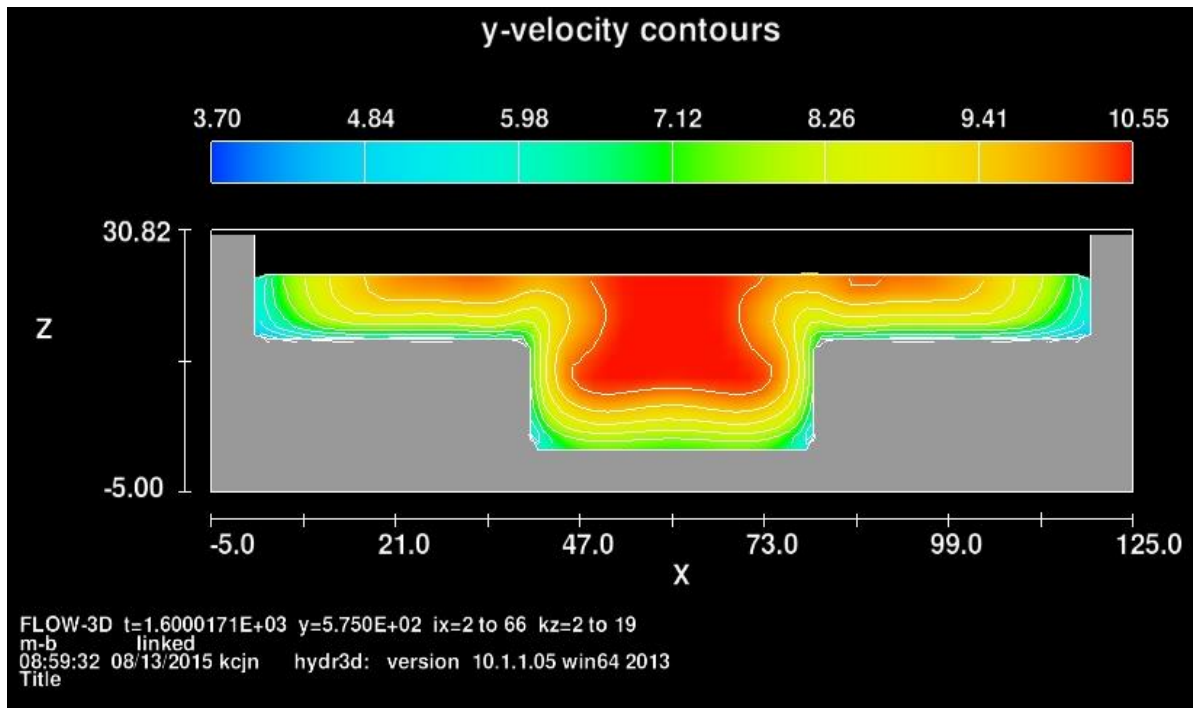
Resim 5.11. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti ($x=21$ cm)



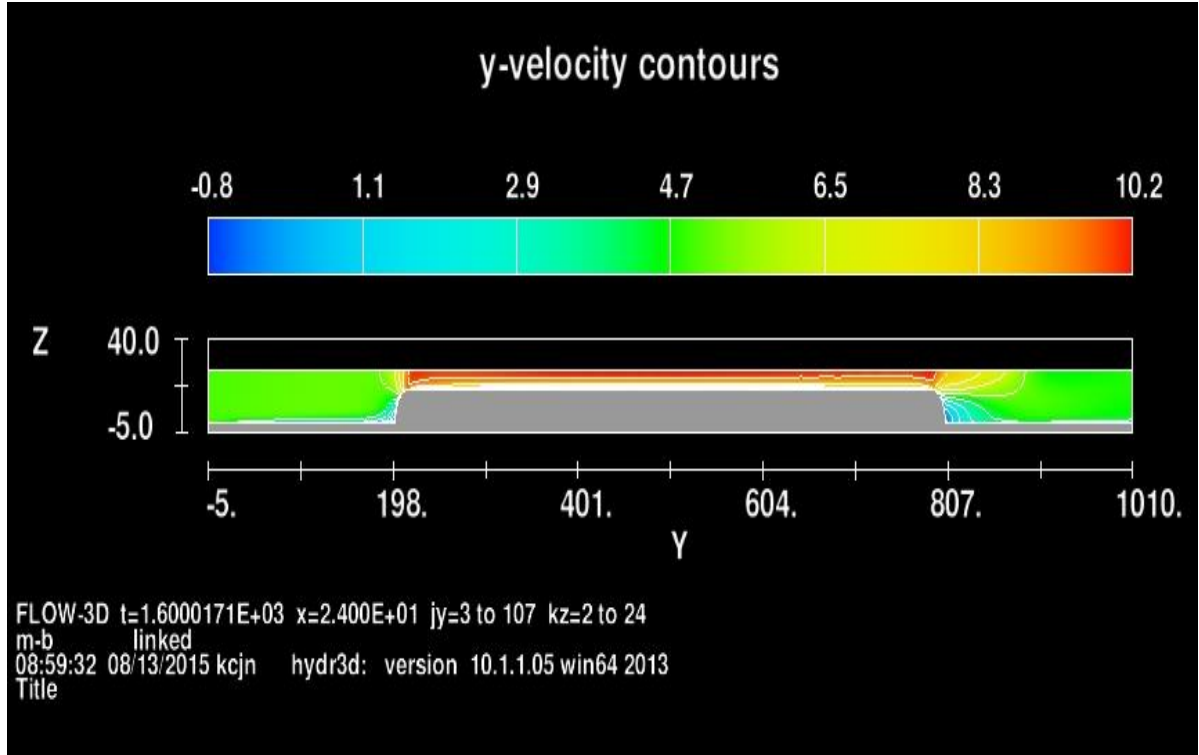
Resim 5.12. Düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti ($x=61$ cm)



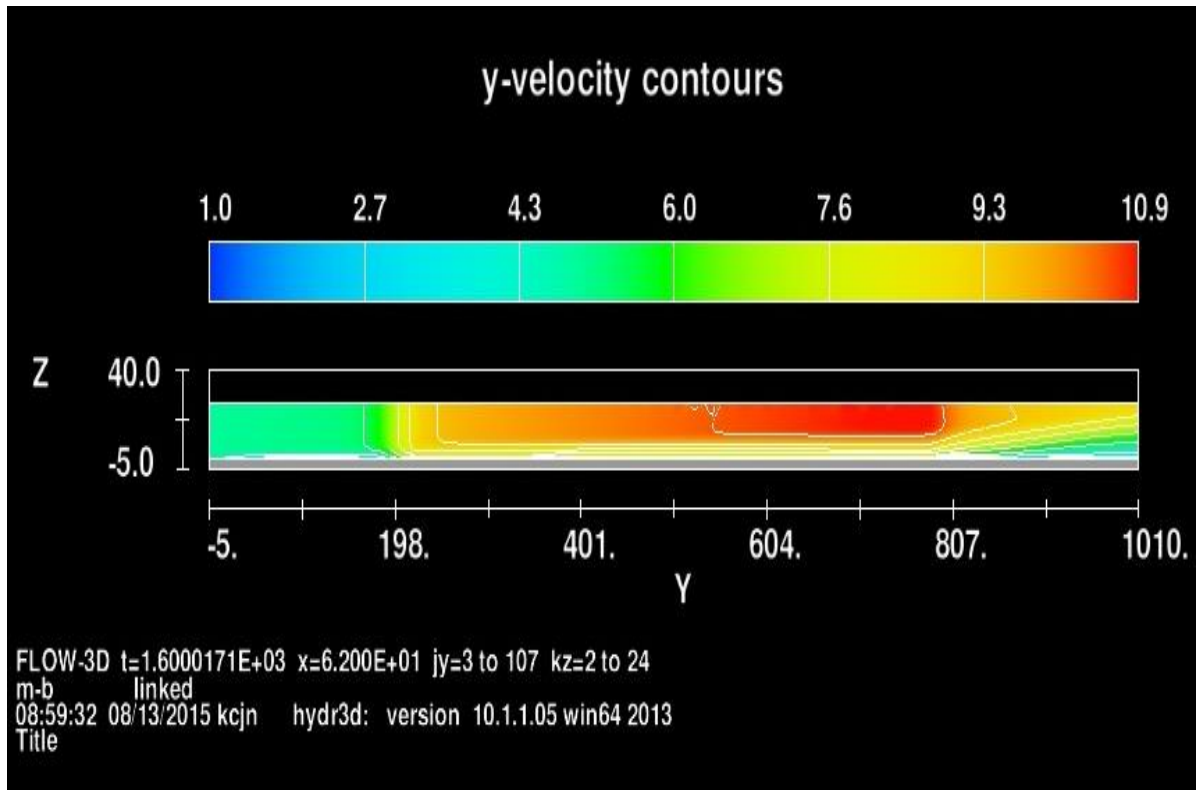
Resim 5.13. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın taşkın yatağındaki hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



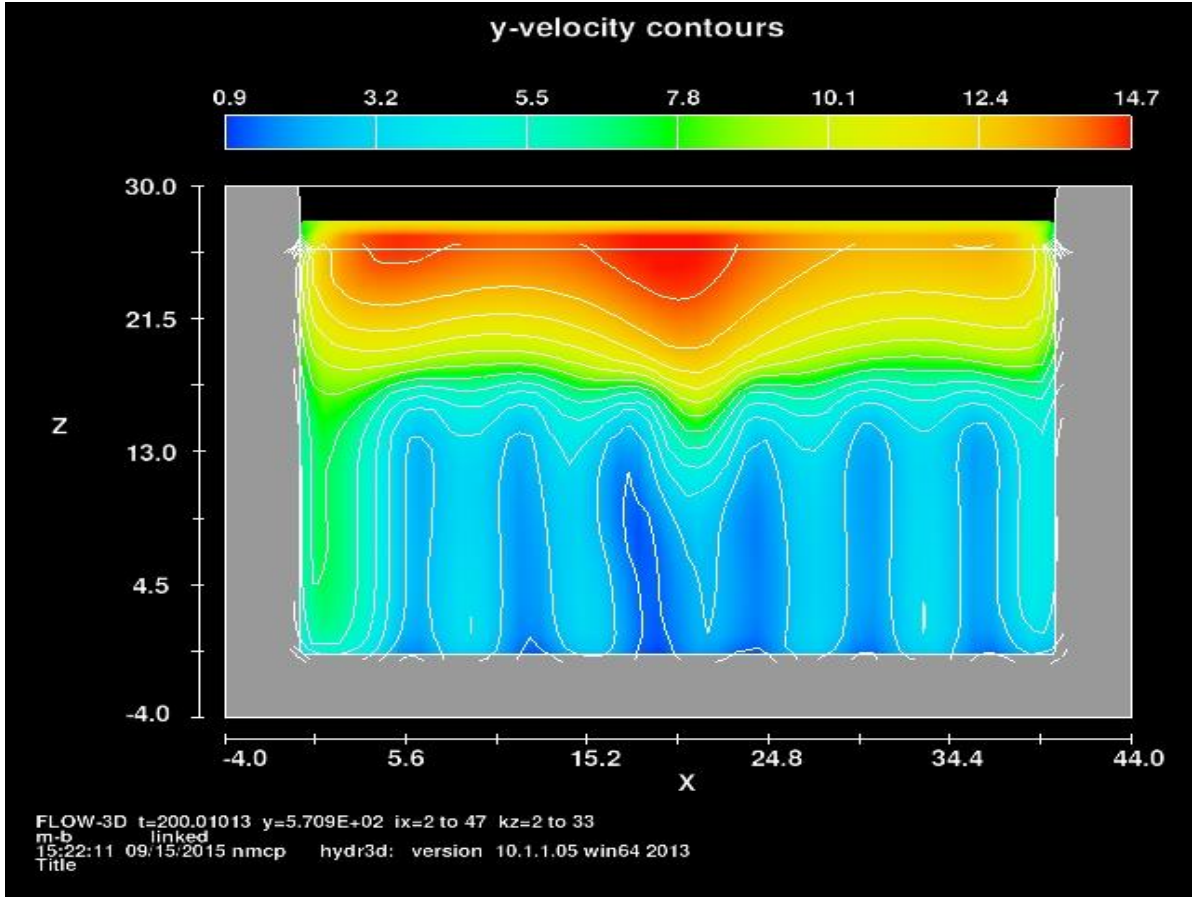
Resim 5.14. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=575$ cm)



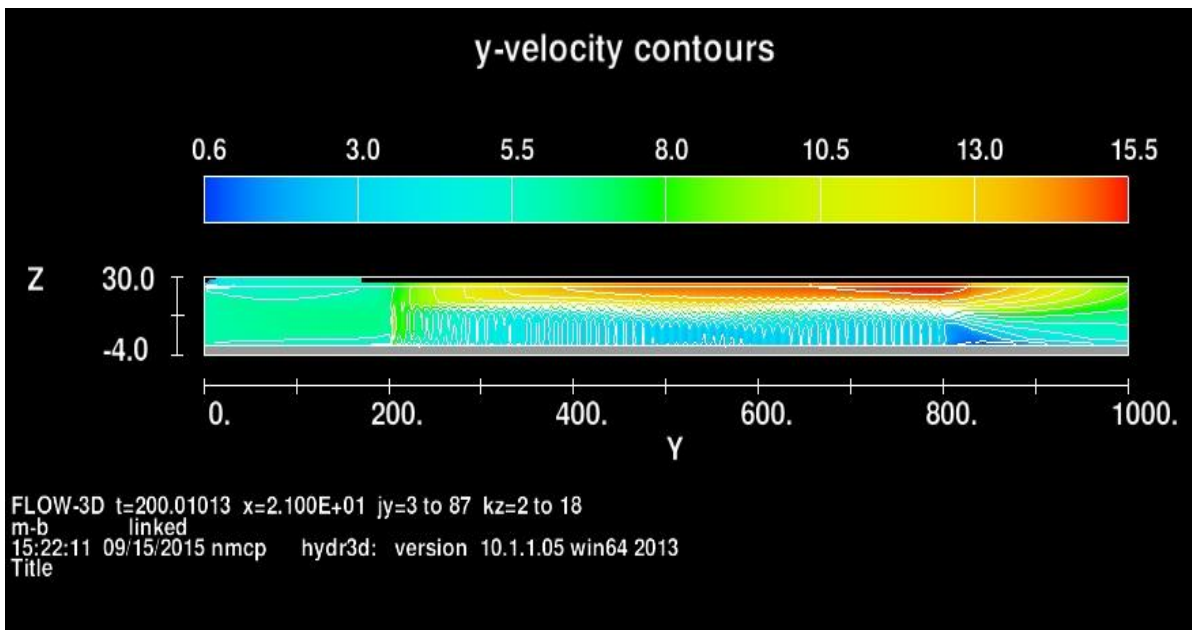
Resim 5.15. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=24 cm)



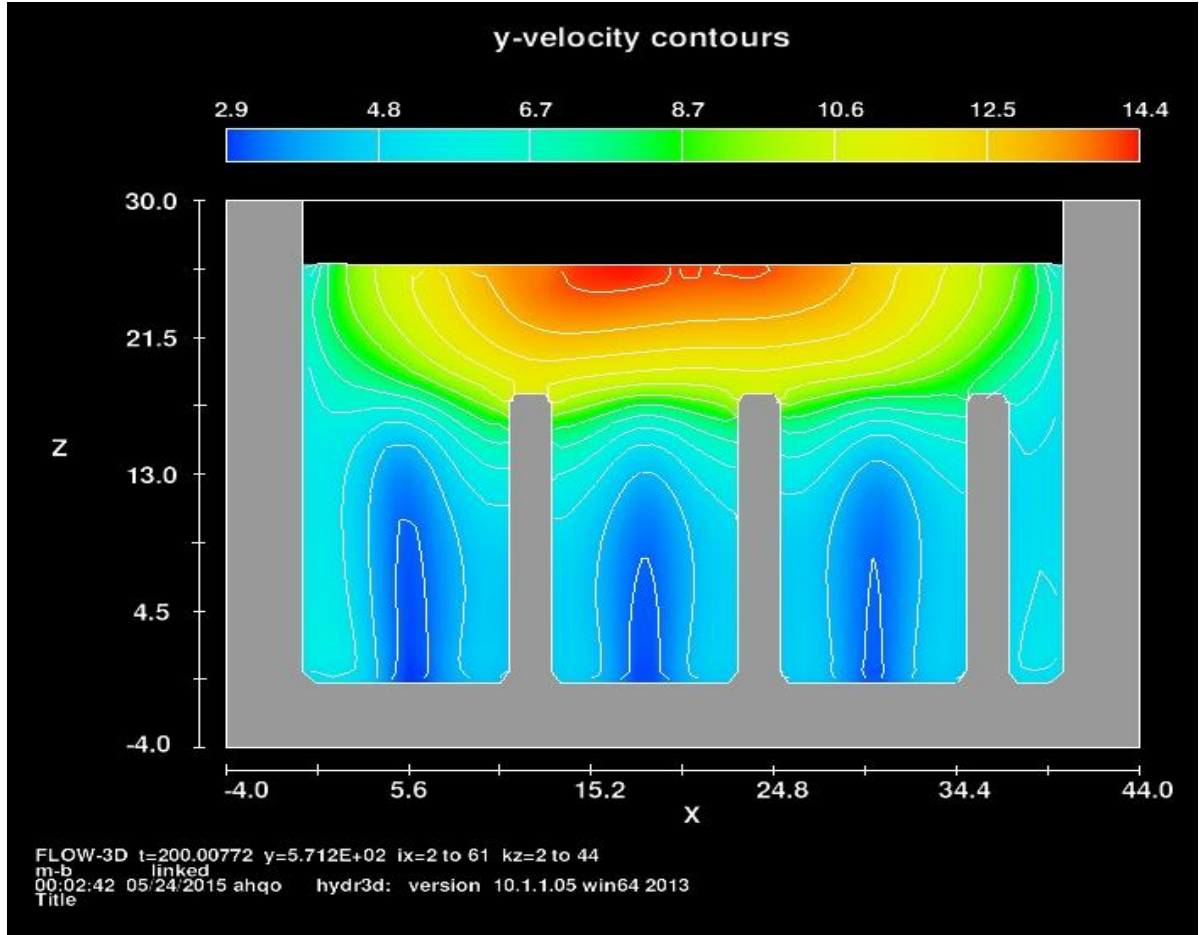
Resim 5.16. Bitki örtüsü içermeyen bileşik kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti (x=62 cm)



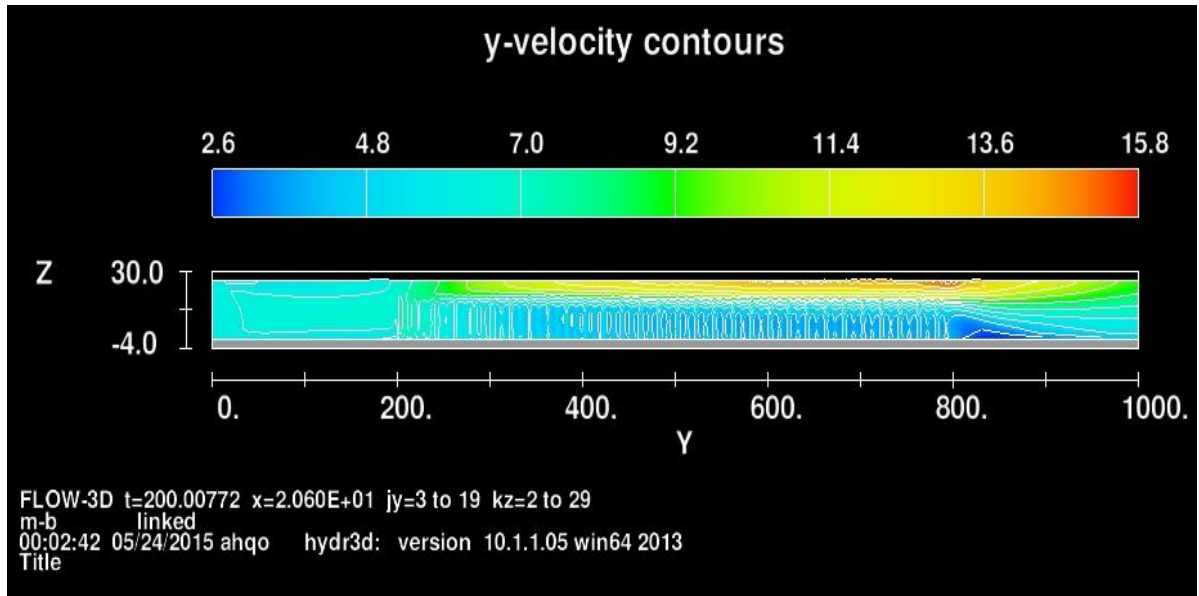
Resim 5.17. Yüksek yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=571$ cm)



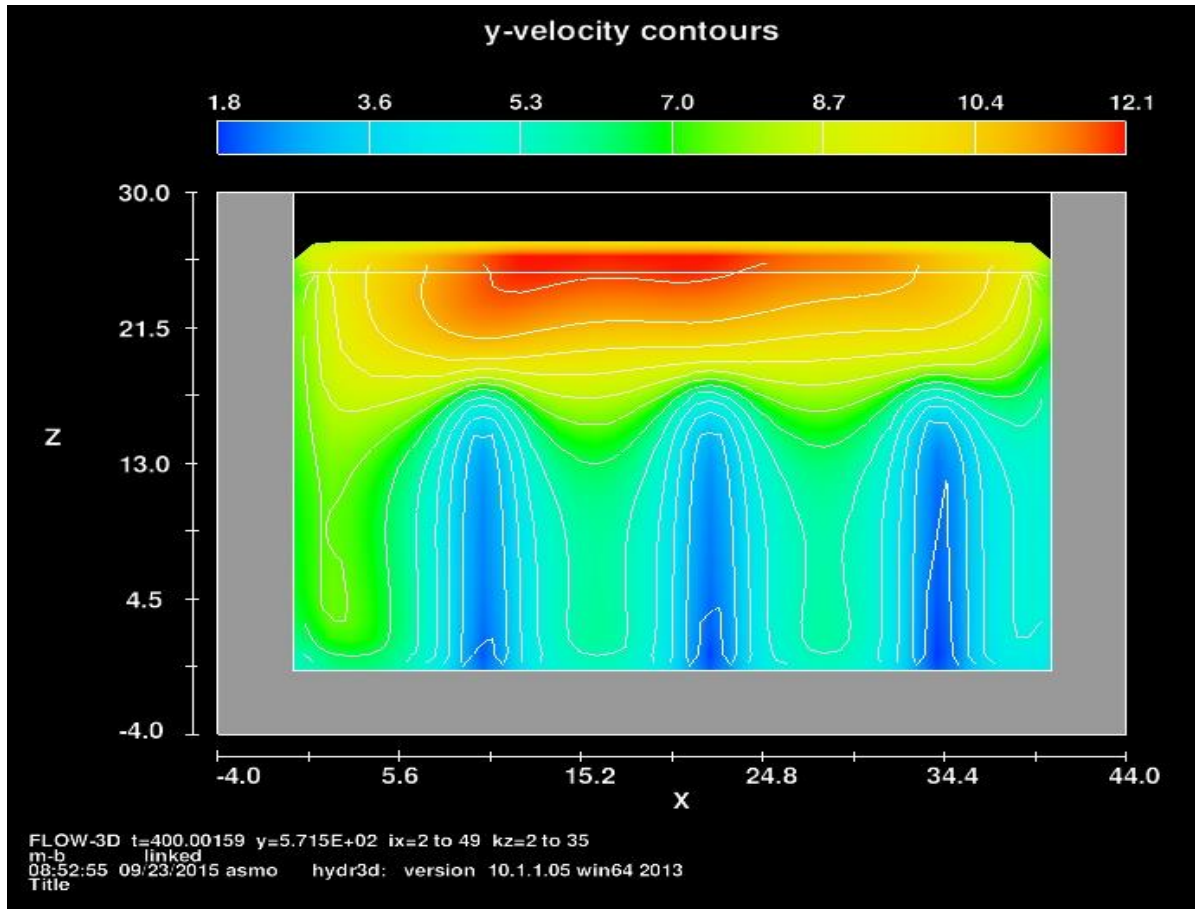
Resim 5.18. Yüksek yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti ($x=21$ cm)



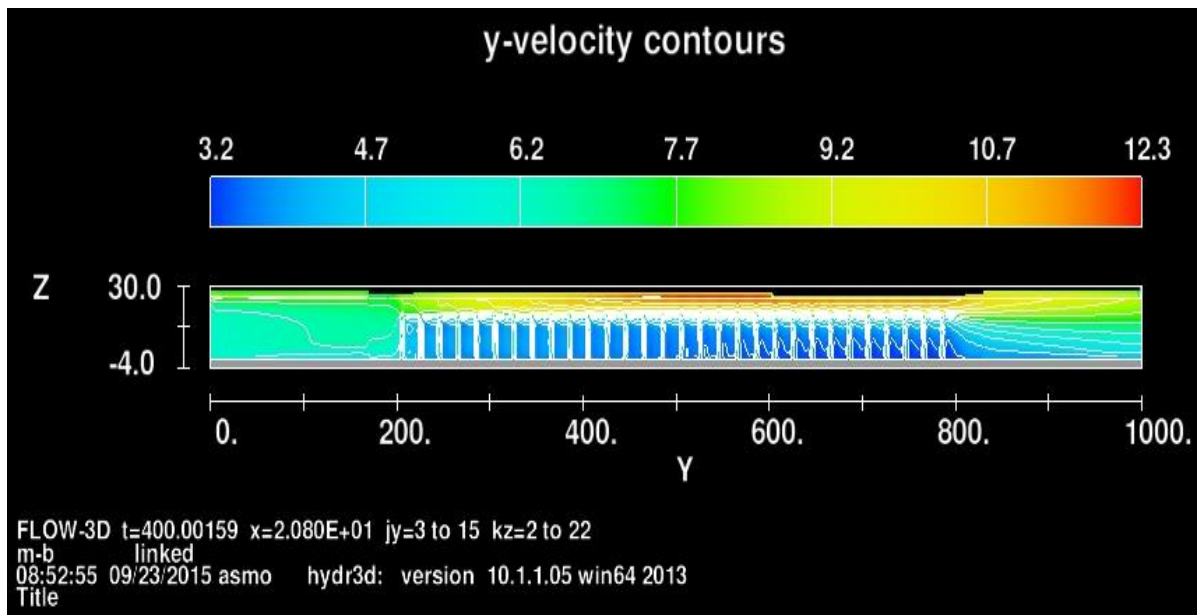
Resim 5.19. Orta yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=571$ cm)



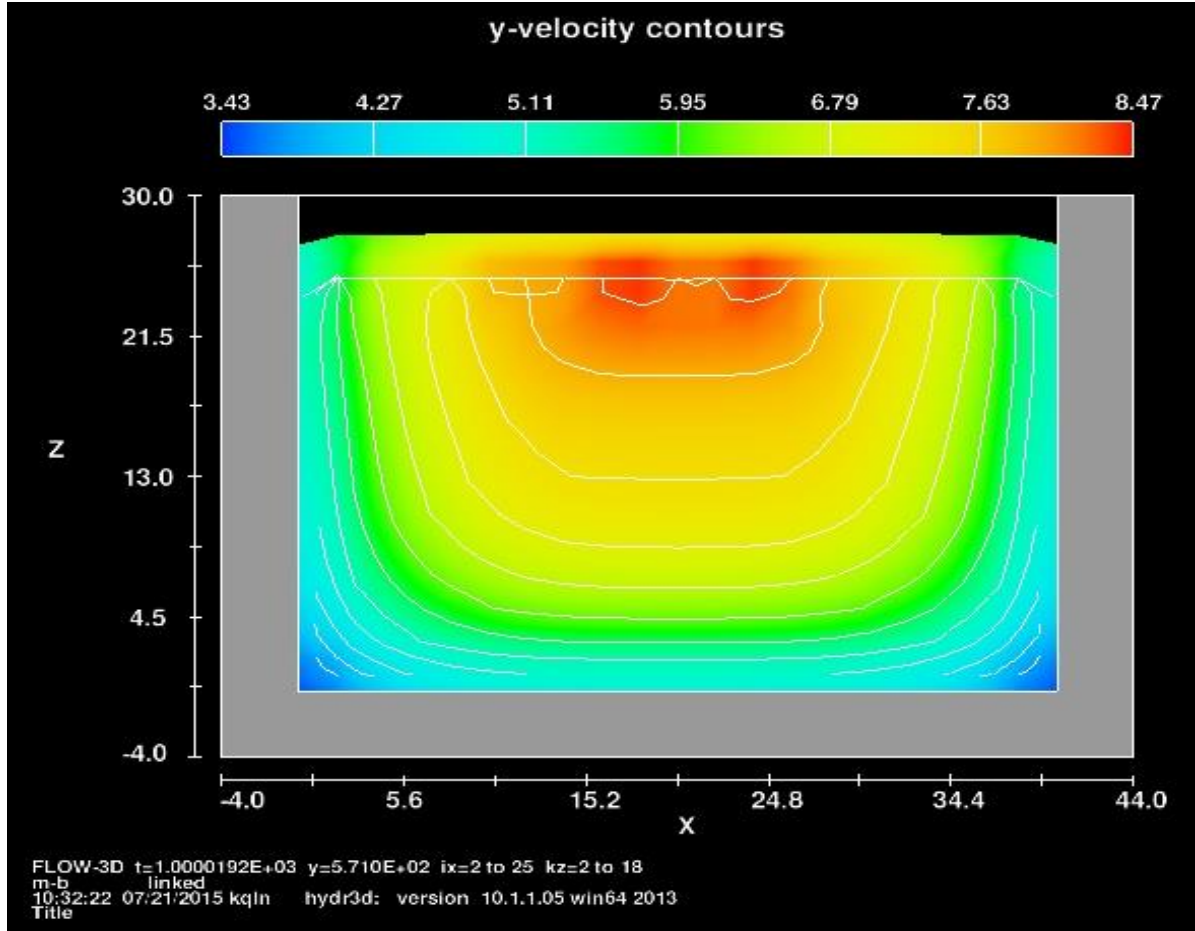
Resim 5.20. Orta yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti ($x=21$ cm)



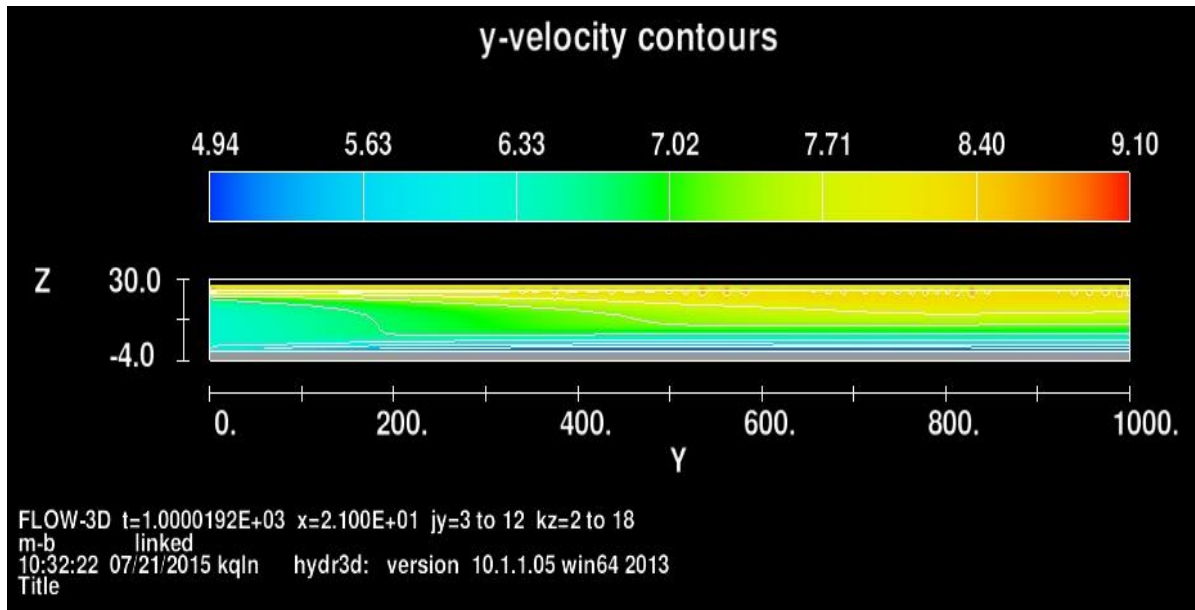
Resim 5.21. Düşük yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=572$ cm)



Resim 5.22. Düşük yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti ($x=21$ cm)



Resim 5.23. Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren enkesiti ($y=571$ cm)



Resim 5.24. Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kesitli kanalın hızları gösteren boy kesiti ($x=21$ cm)

Taşkın yatağında yüksek yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanal modelinden elde edilen hız verilerinin renklerle derecelendirilmiş iki boyutlu gösterimi irdelendiğinde (Bkz. Resim 5.1-5.4); rijit bitkilerin olduğu kısımlarda akımın engellenmesinden dolayı hız değerlerinde ciddi bir düşüş olduğu görülmüştür. Rijit bitkilerin arasında ise hız değerlerinin nispeten arttığı, rijit engellerden dolayı akımın taşkın yatağından ana yatağa itilmesinden dolayı yüksek hız değerlerinin ana yatakta oluştuğu görülmüştür.

Taşkın yatağında orta yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanal modelinden elde edilen hız verilerinin renklerle derecelendirilmiş iki boyutlu gösterimi irdelendiğinde (Bkz. Resim 5.5-5.8); yüksek yoğunlukta bitki içeren kanala benzer olarak engellerin olduğu yerde daha düşük hız değerleri elde edilmiştir. Yüksek yoğunluğuna göre daha az engel içermesinden dolayı taşkın yatağında biraz daha serbestlik oluşmuş ve akım nispeten rahatça devam edebilmiştir. Bir başka deyişle akımın ana kanala sıkışması nispeten daha az olmuştur. Dolayısıyla ana yatakta elde edilen hız değerleri bir miktar düşüş göstermiştir. Bileşik kanal eksenine boyunca en yüksek hız değerleri kanalın 5,0 m – 8,1 m arasında gerçekleşmiştir.

Taşkın yatağında düşük yoğunlukta bitki içeren bileşik kesitli kanal modelinden elde edilen hız verilerinin renklerle derecelendirilmiş iki boyutlu gösterimi irdelendiğinde (Bkz. Resim 5.9-5.12); akışa engel bitkilerin azalmasından dolayı taşkın yatağında yer yer 6 cm/s hız değerine erişilmiştir. Yüksek yoğunlukta ve orta yoğunlukta bitki içeren kanallara göre ana yatakta bir miktar daha düşük hız değerleri elde edilmiştir. En büyük hız değeri ise yaklaşık 14 cm/s'dir. Bileşik kanal eksenine boyunca en yüksek hız değerleri bu sefer kanalın daha ilerisinde 6,5 m – 8,0 m arasında gerçekleşmiştir.

Taşkın yatağında bitki içermeyen bileşik kesitli kanal modelinden elde edilen hız verilerinin renklerle derecelendirilmiş iki boyutlu gösterimi irdelendiğinde (Bkz. Resim 5.13-5.16); en yüksek hız değerlerinin 10,2 cm/s – 10,9 cm/s arasında değişim göstererek hem taşkın yatağında hem de ana yatakta kanal tabanından su yüzeyine çıktıkça yükselen değerlerde gerçekleştiği görülmüştür. Boyuna kesitte en yüksek hız değerlerinin 5,4 m – 8,0 m arasında oluştuğu görülmüştür (Bkz. Resim 5.16).

Aynı debide, farklı yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kanal modellerinden renklerle derecelendirilmiş olarak iki boyutlu hız gösterimleri sunulmuştur (Bkz. Resim 5.17-5.24).

Bunlardan yüksek yoğunlukta rijit bitki içeren akım için kanalın 571. cm'deki kesitinden elde edilen hız değerlerine bakıldığında, kanal tabanından bitki boyunun etkili olduğu yaklaşık 15 cm'lik yüksekliğe kadar 0,9 – 5,5 cm/s arasında değişen hız değerleri elde edilmiştir. Rijit bitkinin olduğu kısımlarda akım engellendiği için düşük hız değerleri, ara yerlerde ise nispeten yüksek hız değerleri oluşmuştur. Bitki boyunun ($z=18$ cm) yaklaşık 3 cm aşağısı ve yukarısında hız değerleri çabuk değişim göstermiştir. Hız değerleri su yüzeyine kadar artış göstermiştir. Boy kesitte en yüksek hız değerleri kanalın 6,6 m ile 8,3 m arasında su yüzeyine yakın kısımlarda oluşmuştur.

Orta yoğunlukta rijit bitki içeren dikdörtgen kanalda, bir önceki sonuçlara benzer olarak bitkilerin olduğu yerde daha düşük değerler elde edilmiştir. Kanalın 571. cm'deki enkesitinde su yüzeyine yakın noktalarda en yüksek 14,4 cm/s hız değeri elde edilmiştir (Bkz. Resim 5.19). Kanalın $x=21$ cm'deki boy kesitinde, hızın en yüksek değerleri (15,8 cm/s) 7,7 m ile 8,2 m arasındaki bölgenin su yüzeyine yakın kısımlarında oluşmaktadır (Bkz. Resim 5.20).

Düşük yoğunlukta bitki içeren dikdörtgen kanalın 572. cm'deki en kesitinde, 1,8 cm/s ile 12,1 cm/s arasında değişen hız değerleri elde edilmiştir (Bkz. Resim 5.21). Bitki örtüsü içermeyen dikdörtgen kanalın 571. cm'deki en kesitinde ise 3,43 cm/s ile 8,47 cm/s arasında değişen hız değerleri elde edilmiştir (Bkz. Resim 5.23).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, deneysel çalışmaların bazı avantajlarının yanı sıra, ölçek, zaman ve maliyet açısından bazı sorunları içerebileceği düşüncesiyle gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte yüksek hesaplama gücüne sahip bilgisayar modellerinin konu ile ilgili çalışmalara önemli katkıda bulunacağından hareketle, Dorcheh (2007) tarafından doktora tezi kapsamında yapılan deneylerin sonuçları ile Flow-3D programında hesaplanan hız değerleri karşılaştırıldığında genel olarak iyi bir uyum gözlenmektedir. Bileşik kesitli kanalda, taşkın yatağında bitki örtüsü yoğunluğu arttıkça akım taşkın yatağında daha da engellenmiştir. Bunun sonucunda yoğunluk artışı ile beraber ana yatakta taşınan debi miktarı artmış dolayısıyla daha yüksek hız değerleri elde edilmiştir. Bileşik kesitli kanalda, ana yaktan taşkın yatağına doğru ilerlerken deneysel hız ölçümleri ile Flow-3D programı ile hesaplanan hız değerleri arasında bazı farklılıklar gözlenmektedir. Bu fark özellikle yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren kesitte kendini göstermektedir. Ana yatak ile taşkın yatağı arasındaki momentum transferinin bu farkın oluşmasında en büyük etken olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte genel olarak Flow-3D programının kanal içerisinde oldukça karmaşık bitki örtüsü içeren akım durumunu modellemede başarılı olduğu söylenebilir.

Her ne kadar modellenen çalışmada rijit bitki örtüsü baz alınmış olsa da program çatısı altında, esnek bitki örtüsü için farklı çalışmaların yapılması gerekebilir.

Kanal boyutuna göre oldukça küçük çapta bitki örtüsünün modellenmesi durumunda, yapıyı tanımlamak için daha fazla hücre sayısına sahip çözüm ağı uygulamak yerine gözenekli ortam gibi farklı dokuların kullanılması araştırmacılar tarafından test edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ackerman, J., Okubo, A. (1993). *Functional Ecology*, İngiltere: British Ecological Society, 7:305-309
- Altun, Ö. (2007). *Bitki örtüsü içeren bileşik kesitli kanallarda kapasite tayini yaklaşımlarının model deneylerine göre irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-3.
- Arcement, G. J. and Schneider V. R. (1984). *Guide for Selecting Mannig's Roughness coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. United States Geological Survey Water-Supply Paper 2339
- Bertram, H.U. (1985). *Über den Abfluß in Trapezgerinnen mit extremer Böschungrauheit*. Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU-Braunschweig, Heft 86.
- Bolin, H., Yue-ping, Y., Shichang, W., Guangning, L. (2014). *Analysis of Waves Generated by Zhaojun Bridge Rockfall in Xingshan County, Three Gorges Reservoir, on December 28, 2012*. K. In Sassa, K., Canuti, P., Yue-ping, Y. (Eds.) *Landslide Science for a Safer Geoenvironment, Vol.3*. İsviçre: Springer International Publishing, 609-613
- Burke, R. W. and Stolzenbach, K. D. (1983). *Free surface flow through salt marsh grass*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. MIT-Sea Grant MITSG 83-16
- Chen, C. L. (1976). *Flow resistance in broad shallow grassed channels*. Journal of Hydraulics Division, 102(3): 307-322
- Defina, A. and Bixio, A.C. (2005). *Mean flow and turbulence in vegetated open channel flow*. Water Resources Research, 41, 1-12
- DFG (1987). *Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerbau*. Ergebnisse auf dem Schwerpunktprogramm "Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse", Hrsg. Rouve, G., VCH-Verlagsgesellschaft, Forschungsbericht, Band 2, Weinheim
- Dorcheh, S. A. M. (2007). *Effect of Rigid Vegetation on the Velocity, Turbulence, and Wave Structure in Open Channel Flows*. Hydro-environmental Research Centre School of Engineering, Cardiff University. Doktora tezi
- DVWK (1994). *Hydraulische Berechnung von Fliessgewässern*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 220, Verlag von Paul-Parey, Berlin
- Flow-3D. Water & Environment Training Lectures (2014). Flow Science Inc.
- Flow-3D's User Manual (2013). Flow Science Inc.
- Green, J. C. (2005). *Modelling flow resistance in vegetated streams: review and development of new theory*. Hydrological Processes, 19: 1245-1259

- Helmiö, T. (2002). *Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains*. Journal of Hydrology, 269:89-99
- Hirschowitz, P. M. (2006). *The Effect of Vegetation Zones on Adjacent Clear Channel Flow*. Yüksek Lisans Tezi, Witwatersran. Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Johannesburg.
- Internet:URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gulfofmaine-census.org%2Feducation%2Fresearch-technology%2Facoustical-instruments%2Fdoppler-based-velocimeters%2F&date=2015-12-24> Son erişim tarihi: 2015-12-24
- Klopstra, D., Barneveld, H. J., Noortwijk, J. M. V., Velzen, E. H. V. (1997). *Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation, in Managing Water: Coping With Scarcity and Abundance, Proceedings IAHR*. American Society of Civil Engineering, 775-780
- Krámer, T. and Józsa J. (2006). *Smoothly limited finite volume modelling of rapidly varying river flows*. In Ferreira, R. M. L., Elsa C. T. L., Joao, G. A. B. L., Cardoso, A. H. (Eds.), River Flow 2006. Londra: Taylor & Francis Group, 219-226
- Lefebvre, V., Vermeulen, J., Blancher, B. (2014). *Influence of geometrical parameters on PK-Weirs discharge with 3D numerical analysis*. In S. Erpicum, F. Laugier, M. Pfister, M. Piroton, G.M. Cicéro, A.J. Schleiss (Eds.) *Labyrinth and Piano Key Weirs II – PKW 2013* Londra: Taylor & Francis Group, 49-56
- Meijer, D. G. and Velzen, E. H. V. (1999). *Prototype-scale flume experiments on hydraulic roughness of submerged vegetation, XXVIII IAHR Congress, Graz, Abstract 221, 7*
- Nepf, H. M. and Vivoni, E.R. (2000). *Flow structure in depth-limited, vegetated flow*. Journal of Geophysical Research, 105:547-557
- Nikora, N., Nikora, V., O'Donoghue, T. (2013). *Velocity Profiles in Vegetated Open-Channel Flows: Combined Effects of Multiple Mechanisms*. Journal of Hydraulic Engineering, 139, 1021-1032
- Nurul, H. (2012). *Validation of CFD Models Using Flow3D For A Submerged Liquid Jet*. In Solnordal, C.B., Liovic P., Delenay, G.W., Witt, P.J., The 9th International Conference in the Minerals and Process Industries. Melbourne: 1-4
- Özbek, T. (2009). *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar*. Ankara: Teknik Yayınevi, 50-61.
- Poggi, D., Porporato, A., Ridolfi, L., Albertson, J. D., Katul, G. G. (2004). *The effect of vegetation density on canopy sub-layer turbulence*. Boundary-Layer Meteorology, 111(3), 565–587.
- Rhee, D. S., Woo, H., Kwon, B. A., Ahn, H. K. (2008). *Hydraulic Resistance of Some Selected Vegetation In Open Channel Flows*. River Research and Applications, 24: 673-687

- Righetti, M. and Armanini, A. (2002). *Flow resistance in open channel flows with sparsely distributed bushes*, Journal of Hydrology, 269, 55–64.
- Shimizu, Y. and Tsujimoto T. (1994). *Numerical analysis of turbulent open-channel flow over a vegetation layer using a $k-\varepsilon$ turbulence model*, J. Hydroscience Hydraulic Engineering, 11, 57– 67.
- Steven, J.G. Jackson, K., Brusztynsky, T.A. (1986). *Erosion and Sediment Control Handbook*. A.B.D.: McGraw-Hill Company

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATAY, Birol
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.09.1986, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 431 72 40
 Faks : 0 (312) 431 36 65
 e-mail : birolatay@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İşletme	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2009
Önlisans	Anadolu Üniversitesi / Adalet	Devam Ediyor
Lise	Aydınlıkevler Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	İller Bankası A.Ş.	Müfettiş Yardımcısı
2012-2013	İlci Holding	İç Kontrol Mühendisi
2010-2012	Eser Holding	Saha Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Rusça

Yayınlar

Atay, B. ve Koçyiğit Ö. (2015, 19-21 Kasım). *Taşkın Yatağında Bulunan Bitki Örtüsünün Akıma Etkisinin Sayısal Yöntemler ile İncelenmesi*. TMMOB İMO Antalya Şubesi 4. Su Yapıları Sempozyumunda sunuldu, Antalya s: 390-399,

Hobiler

Tiyatro, Müzik



GAZİ GELECEKTİR..