



**ASKIDA BİTKİNİN AÇIK KANAL
AKIMLARINA OLAN ETKİSİNİN
MODELLENMESİ**

Gökhan AYNA

Yüksek Lisans Tezi

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Didem YILMAZER
İkinci Danışman: Doç. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN**

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ASKIDA BİTKİNİN AÇIK KANAL AKIMLARINA OLAN ETKİSİNİN
MODELLENMESİ

Gökhan AYNA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Didem YILMAZER
İkinci Danışman: Doç Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN

TEKİRDAĞ-2019

Her Hakkı Saklıdır.



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Gökhan AYNA

Dr. Öğr. Üyesi Didem YILMAZER danışmanlığında ve Doç Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN ikinci danışmanlığında , Gökhan AYNA tarafından hazırlanan “ASKIDA BİTKİNİN AÇIK KANAL AKIMLARINA OLAN ETKİSİNİN MODELLENMESİ” başlıklı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından 21.11.2019 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Dr. Öğr. Üyesi Ali COŞAR

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Didem YILMAZER

İmza:

Üye : Doç Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tuba BOSTAN

İmza:

Üye : Doç Dr. Sinan ŞAHİN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç.Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ASKIDA BİTKİNİN AÇIK KANAL AKIMLARINA OLAN ETKİSİNİN MODELENMESİ

Gökhan AYNA

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Didem YILMAZER

2.Danışman : Doç. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN

Sulak alan bitkileri tam batmış, kısmi batmış ve askıda bitki olarak sınıflandırılabilir. Askıda bitkinin en önemli farkı bitkinin altındaki tabanın etkisidir. Askıda bitki, gözenekli yapıya sahiptir ve akım hızının azalmasına, düşey hız dağılımının da klasik logaritmik dağılımından sapmasına neden olacaktır. Bu çalışmada, sert (esnek olmayan) plastik silindirlere oluşturulmuş askıda bitki Sontek Akustik Doppler Velocimeter (ADV) kullanılarak açık kanal akımında deneysel olarak araştırılmış ve çalışmanın nümerik modeli Flow-3D kullanılarak modellenmiştir. Bu çalışmanın amacı, bitki yoğunluğunun açık kanal akımları üzerindeki etkisini incelemek olmuştur. Nümerik model sonuçları, fiziksel deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucu, askıda bitkinin akım hızında azalmaya sebep olduğunu ve akım hızının bitki yoğunluğu ile değiştiğini ispatlamıştır. Nümerik model sonuçları ile fiziksel deney sonuçları birbirleriyle uyum göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Açık Kanal Akımları, Flow 3D, Bitki Kökleri, Bitki Modeli, Askıdaki Bitki.

2019, 70 sayfa

ABSTRACT

Msc. Thesis

MODELING THE EFFECT OF SUSPENDED VEGETATION ON OPEN CHANNEL FLOW

Gökhan AYNA

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assistant Prof. Dr. Didem YILMAZER

Second Supervisor: Associate Prof. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN

The water plant fields can be classified as submerged, emergent and suspended vegetation. The major difference of the suspended vegetation is the effect of the bottom boundary layer under the plant. Suspended vegetation is porous obstruction and will cause a decrease in speed of the flow and the vertical velocity distribution will deviate from the classical logarithmic distribution. In this research the effect of suspended rigid cylindrical vegetation patch on flow structure was experimentally studied with an Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) in an open channel flume and modeled by using a CFD model. The motivation behind this study was to examine the effect of the density of the vegetation on the open channel flow. The numerical model results are compared with physical model studies. The results of the research demonstrate that suspended vegetation cause reduction in speed and the flow velocity varies with the stem concentration. Numerical simulation results using Flow -3D agree well with the experimental data.

Keywords : Open Channel Flow, Flow 3D, Open Channel Flow with Canopy, Suspended Vegetation.

2019, 70 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. AÇIK KANAL HİDROLİĞİ.....	5
2.1. Kararlı ve Kararsız Akımlar	5
2.2. Üniorm ve Değişken (Üniorm Olmayan) Akımlar	5
2.3. Laminer ve Türbülanslı Akımlar	6
2.4. Kritik Altı, Kritik ve Kritik Üstü Akım Durumları	7
2.4.1. Kritik Rejim (Kritik Akım).....	8
2.4.2. Nehir Rejimi (Kritik Altı Akım).....	9
2.4.3. Sel Rejimi (Kritik Üstü Akım)	10
2.5. Süreklilik Denklemi.....	10
2.6. Enerji Denklemi.....	12
2.7. Momentum-İmpuls Denklemi	14
3. AÇIK KANAL AKIMLARINDA KAPASİTE TAYİNİ	15
3.1. Debi Denklemleri.....	15
3.1.1. Amprık Formüller.....	15
4. LİTERATÜR	17
4.1 Tam Batık Bitki İle Yapılan Çalışmalar	17
4.2 Kısmi Batık Bitki İle Yapılan Çalışmalar	20
4.3 Askıdaki Bitki İle Yapılan Çalışmalar.....	22
5. LABORATUVAR ÇALIŞMASI	27
5.1 Kanal Yapısı	27
5.2 Katı Bitki Modeli	27
5.3 Hız Ölçüm Aleti ve Akım Hızının Okunması	30
6. FLOW 3D PROGRAM YAPISI	34

6.1 Hareket Denklemi	34
6.1.1 Kütle Korunumu Denklemi.....	34
6.1.2 Momentum Denklemi	35
6.1.3 Enerji Denklemi	36
6.2 Sonlu Hacimler Metodu.....	36
7. SAYISAL MODEL ÇALIŞMASI	38
7.1 Simülasyon Genel Özelliklerinin Tanımlanması.....	38
7.2 Simülasyonda Kullanılacak Fizik Yasalarının Belirlenmesi	38
7.3 Akışkanın Tanımlanması	42
7.4 Simülasyon Modelinin Oluşturulması	42
7.5 Simülasyon Çözüm Ağının (Mesh) Tanımlanması	44
7.6 Analiz Çıktılarının belirlenmesi ve Analizlerin Elde Edilmesi	47
8. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
9. SONUÇ VE TARTIŞMA	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Sucul Bitki örtüsünün faydalı kullanım alanları	2
Çizelge 5.1. Bitki modeli yoğunlukları tablosu	28



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Tekirdağ Marmaraereğlisi Bağlar deresi aynı dere üzerinde görülen farklı türlerdeki bitki örtüsü.....	2
Şekil 2.1. Üniform akım, tedrici değişen akım ve ani değişen akım gösterimi.....	6
Şekil 2.2. Laminer akım (a) ve türbülanslı akım (b) gösterimi	7
Şekil 2.3. Su yüzüne atılan bir cismin akım sırasında farklı rejimlerdeki dalga izleri.....	8
Şekil 2.4. Erzurum ili sınırlarından geçen Aras nehrinde yatak eğiminin düşük olduğu bir profilde nehir rejiminde akım.....	9
Şekil 2.5. Gürcistan Rioni nehri eğimin yüksek olduğu bir profilde sel rejiminde akım	10
Şekil 2.6. Akım borusu	11
Şekil 2.7. Kararsız akımda debi süreklilik sistemi	11
Şekil 2.8. ‘dm’ sıvı kütle sine etkiye kuvvetler	12
Şekil 4.1. Laboratuvar deney düzeneği	18
Şekil 4.2. Kısmi batık taşkın yataklı açık kanalda yapay katı bitki modelleriyle yapılan çalışma düzeneği	20
Şekil 4.3. Kısmi batık taşkın yataklı açık kanalda yapay katı bitki modelleriyle yapılan çalışmadan bir kesit	21
Şekil 5.1. Açık kanal laboratuvar düzeneği.....	27
Şekil 5.2. Bitki modelleri detay ölçüleri (Ölçüler metre olarak verilmiştir.)	29
Şekil 5.3. Farklı yoğunluktaki bitki modelleri.....	29
Şekil 5.4. Bitki modelleri yan görünüş.....	29
Şekil 5.5. Tam dolu ve %9 yoğunluklu bitki modeliyle akım sırasında ADV cihazıyla hız ölçümü	30
Şekil 5.6. Boş kanalda hız okuması yapılan noktalar.....	31
Şekil 5.7. Boş kanalda hız okuması yapılan derinlikler	31
Şekil 5.8. Açık kanal düzeneği su derinliği ölçümü	32
Şekil 5.9. Bitkili durumda hız okuması yapılan noktalar.....	32
Şekil 5.10. Bitkili durum hız okuma derinlikleri.....	33
Şekil 6.1. Sonlu hacim bileşenleri (Flow Science Inc. 2014).....	37
Şekil 7.1. Flow 3D Model Setup altında genel özelliklerin tanımlandığı kısım	38
Şekil 7.2. Flow 3D, Model Setup, Physics altında yer çekiminin tanımlandığı kısım.....	39
Şekil 7.3. Flow 3D, Model Setup, Physics altında türbülans modelinin seçildiği kısım	41
Şekil 7.4. Flow 3D, Model Setup, Fluid altında sunulan materyal kütüphanesi.....	42

Şekil 7.5. Flow 3D, Model Setup, Mesh And Geometry altında geometri oluşturma arayüzü.	43
Şekil 7.6 Farklı yoğunluklardaki bitki modelleri.....	44
Şekil 7.7 Flow 3D programında oluşturulan sayısal model perspektif görünüşü.....	44
Şekil 7.8 Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry altında “Mesh Operations” arayüzü. .	45
Şekil 7.9 Sayısal model çözüm ağı (mesh) plandan görünüş 1.	45
Şekil 7.10 Sayısal model çözüm ağı (mesh) görünüş2.....	46
Şekil 7.11 Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry, Boundary Conditions altında Boundary Types.	46
Şekil 7.12 Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry, Boundary Conditions, Boundary Types altında Volume Flow Rate arayüzü	47
Şekil 7.13 Sayısal model çözüm ağı (mesh) ve “History Probes”.....	48
Şekil 8.1. X-Y düzleminde a, b, c hız vektör alanı en kesit aksları.....	49
Şekil 8.2. X-Z düzleminde a, b, c, d hız vektör alanı kesit aksları	49
Şekil 8.3 Boş kanalda X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü (y, akıma göre sağ sahil duvarından olan uzaklık; B kanal genişliği olmak üzere, a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58).	50
Şekil 8.4 Boş kanalda X yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü (z tabandan olan yükseklik, H toplam akım derinliği olmak üzere, a) z/H=1 ; b) z/H =0,47 ; c) z/H= 0,27 ; d) z/H =0,07).....	51
Şekil 8.5 Boş kanal boyutsuz hız grafikleri.....	52
Şekil 8.6 X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58 ve SVF ₁ =%5).....	53
Şekil 8.7 X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü a) z/H=1 ; b)z/H= 0,47 ; c)z/H= 0,27 ; d)z/H= 0,07 ve SVF ₁ =%5).	54
Şekil 8.8 SVF ₁ =%5 bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.	55
Şekil 8.9 X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58 ve SVF ₂ =%9).....	56
Şekil 8.10 X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü a) z/H=1 ; b)z/H= 0,47 ; c)z/H= 0,27 ; d)z/H= 0,07 ve SVF ₂ =%9)	57
Şekil 8.11 SVF ₂ =%9 bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.	58
Şekil 8.12 X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58 ve SVF ₃ =%36).....	59

Şekil 8.13 X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü (a) $z/H=1$; b) $z/H= 0,47$; c) $z/H= 0,27$; d) $z/H= 0,07$ ve $SVF_3=\%36$).	61
Şekil 8.14 $SVF_3=\%36$ bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.	62
Şekil 8.15 X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a) $y/B=0,42$; b) $y/B= 0,5$; c) $y/B= 0,58$ ve $SVF_4=\%100$).	63
Şekil 8.16 X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü (a) $z/H=1$; b) $z/H= 0,47$; c) $z/H= 0,27$; d) $z/H= 0,07$ ve $SVF_4=\%100$).	64
Şekil 8.17 $SVF_4=\%100$ bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.	65



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklaması
p	: Basınç
ρ	: Akışkan yoğunluğu
V	: Ortalama akım hızı
g	: Yerçekimi ivmesi
z	: Su kotu
h	: Kanal tabanından itibaren yükseklik
u_x	: Hızın x koordinat eksenindeki bileşeni
Re	: Reynolds sayısı
R_h	: Hidrolik yarıçap (Islak alan / Islak çevre)
μ	: Viskozite
ν	: Kinematik viskozite
Fr	: Froude sayısı
L_c	: Karakteristik uzunluk
A	: Kesit alanı (Islak Alan)
m	: Kütle
c	: Dalga yayılma hızı
V_{kr}	: Kritik akım hızı
U	: Islak çevre
I	: Taban eğimi
Q_1	: Sisteme giren debi
Q_2	: Sistemden çıkan debi
ΔS	: Sistemde kaybolan debi miktarı
β	: Momentum düzeltme katsayısı
D	: Kontrplak çapı (Bitki Modeli Çapı)

D_h	: Hidrolik Derinlik
T	: Su yüzü genişliği
Z	: Birim kütleye etkiyen kütleesel kuvvet
SVF	: Bitki Modeli Yoğunluğu
H	: Akım derinliği
C_p	: Eşitliğin özelliğini yansıtan pürüzlülük katsayısı
k_{st}	: Manning-Strickler pürüzlülük katsayısı
C	: Chezy pürüzlülük katsayısı
h_v	: Bitkinin su içine giren kısmının yüksekliği
V_F	: Akıma açık hacimsel oran
$RDIF$: Türbülans difüzyon terimi
$RSOR$: Kütle kaynağı
G_x	: x yönünde cisim ivmesi
G_y	: y yönünde cisim ivmesi
G_z	: z yönünde cisim ivmesi
f_x	: x yönünde viskoz ivme
f_y	: y yönünde viskoz ivme
f_z	: z yönünde viskoz ivme
b_x	: x yönünde gözenekli ortamdaki akım kaybı
b_y	: y yönünde gözenekli ortamdaki akım kaybı
b_z	: z yönünde gözenekli ortamdaki akım kaybı
dQ	: Kütle akım hızı
ρQ	: Akışkan kaynak yoğunluğu
dA	: Hücredeki kaynak yüzeyinin alanı
n	: Dışa doğru yüzeye olan normal
u'	: Kaotik türbülans dalgalanmaları ile ilişkili akım hızının x bileşeni

v'	: Kaotik türbülans dalgalanmaları ile ilişkili akım hızının y bileşeni
w'	: Kaotik türbülans dalgalanmaları ile ilişkili akım hızının z bileşeni
ϵ_T	: Türbülans enerjisi dağılım oranı
CNU	: 0,09 düzeyinde bir parametre
k_T	: Türbülans kinetik enerjisi
TLEN	: Türbülans uzunluğu oranı
CDIS1	: Kullanıcı ayarlı boyutsuz parametre
CDIS2	: Kullanıcı ayarlı boyutsuz parametre
CDIS3	: Kullanıcı ayarlı boyutsuz parametre
ν_T	: Kinematik türbülans viskozitesi
Diff _{ϵ}	: Türbülans dağılımının yayılması
hg	: Bitkinin tabandan uzaklığı

TEŞEKKÜR

Öncelikle, evde onlarla birlikte geçireceğim zamanlardan çalarak bu çalışmayı yürüttüğüm için 6 yaşındaki dünyalar tatlısı kızım Melis ve hayat arkadaşım, sırdaşım, sevgili eşim Sibel'e, bu süreçte bana gösterdikleri sabır ve saygıdan dolayı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans Eğitiminin başından beri iyi kalpleri, yardım severlilikleri, bilgileri ve deneyimleriyle bana ışık olan danışmanlarım, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Didem YILMAZER'e ve Sayın Doç. Dr. Ayşe YÜKSEL OZAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmamın Flow 3D programı ile modellenmesine farklı bir bakış açısı kazandıran Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yasin ABDOLLAHZADEHMORADI'ye ve DSİ 113. Şube Müdürlüğünde 2017 yılından buyana beraber çalıştığımız oda arkadaşım Didem DOĞAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kasım 2019

Gökhan AYNA
İnşaat Mühendisi

1. GİRİŞ

Doğal enkesitli açık kanal akımlarında akım kapasitesini belirleyen etmenlerden en belirleyici olanlardan biriside yatak yüzey pürüzlülüğüdür. Serbest akımlı açık kanal akımlarında yüzey pürüzlülüğü, ıslak çevre boyunca bulunan tüm malzemeler ile bitki örtüsünün boyut ve şekillerinin akım üzerinde oluşturdukları direnç etkisinin toplamı olup bu direnç etkisi çok sayıda değişken parametreye bağlıdır.

Sucul bitki örtüsünün gelişimi sonucunda özellikle sulama ve boşaltma kanallarında, su hızındaki azalmaya koşturarak, tortu birikimi artmaktadır. Bu birikim kanalların bakım masraflarını arttırmakta, kapasitelerini düşürmekte ve dolaylı olarak ta su yabancı otu gelişimini hızlandırmaktadır. [1] Bitki örtüsünün akım üzerindeki etkisini anlayabilmek için değişik formasyonlardaki bitki türleri üzerinde arazide yapılan gözlemlerin yanında, laboratuvar ortamında da gerçek bitki türleri ve yapay bitki modelleriyle birçok çalışma yapılmıştır.

Sulak alan bitkileri, tam batık, kısmi batık ve askıda olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Askıda bitkinin tam batmış ve kısmi batmış bitki ile farkı, tabana bağlı olmaması ve akış ile beraber hareket edebilmesidir [2]. Daha iyi ifade etmek gerekirse, sucul bitki örtüsü, H toplam akım derinliği, h bitkinin yüksekliği olmak üzere; bitki demetlerinin düşey boyutlarına bağlı olarak, tüm akım derinliğini kaplayan kısmi batık bitki demetleri ($h > H$), tabana tutunan tam batık bitki demetleri ($h < H$) ve yüzebilen askıdaki bitki demetleri olarak sınıflandırılabilir [3]. Taban sınırına konumlandırılmış kısmi batık ve tam batık bitki örtüsü ile askıdaki bitki örtüsü arasındaki temel fark askıdaki bitki altındaki taban sınır katmanının etkisidir [4]. Asya, Afrika ve Kuzey Amerika'nın bir çok alanında askıdaki sucul bitki örtüsünün bazı egzotik ve invazif türleri (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* ve *Salvinia molesta*) göletler, hendekler, göller veya yavaş akımlarda herhangi bir doğal düşman olmadan su yüzeyini tamamen kaplayabilmektedirler. Bu durum bazen ters etkilere de yol açmaktadır. Örneğin; bölgesel ekosistem için gerekli olan güneş ışınlarını ve oksijeni alıkoyarlar, sulama kanallarını tıkayabilirler ve kanalda akıma engel olabilirler [2].

Tortu birikimi, Türkiye'de sulama şebekelerindeki temel sorunlardan biridir. Sulamada kullanılan su ile kanal güzergâhından kaynaklanan tortu, sucul bitki örtüsünün bulunduğu kanallarda daha hızlı çökmekte ve sorun yaratmaktadır [1].

Türkiye'de elektrik üretimi yapılan santrallere su ileten iletim kanallarında gelişen sucul bitki örtüsünün, kanal debisini düşürdüğü ve tıkanmalara neden olarak, üretimi olumsuz yönde etkilediği belirtilerek, önlem alınması istenmektedir. Son yıllarda Karkamış Barajı Hidroelektrik Santralin de su yabancı otlarının, üretimde düşmelere neden olduğu bilinmekte ve önlem alınmaya çalışılmaktadır [1].



Şekil 1.1. Tekirdağ Marmaraeğlisi Bağlar Deresi aynı dere üzerinde görülen farklı türlerdeki bitki örtüsü.

Zararlarının yanında askıdaki sucul bitki örtüsünün olumlu yönleri de bulunmaktadır. Örneğin, “*Eichhornia crassipes*” yapısındaki bolca nitrojen içeriği ve hızlı büyüme oranı nedeniyle zengin bir biyogaz kaynağıdır [5]. Ek olarak, Bu tür bitkiler atık su arıtma sistemlerinde organik malzemeleri ve ağır metalleri sürükleyici olarak kullanılabilir [6].

Sucul bitki türleri, hızlı büyüme oranları nedeniyle Çizelge 1.1.’de de görüldüğü gibi çok geniş faydalı kullanım alanlarına sahiptir.

Çizelge 1.1. Sucul bitki örtüsünün faydalı kullanım alanları [1].

1.Hayvan yemi

Althernanthera (kerevit), *Azolla* (sığır), *Brachiaria* (sığır), *Ceratophyllum* (sığır), *Eichhornia* (domuz, balık, tavşan, kümes hayvanları), *Elodea* (kümes hayvanları),

	<i>Heteranthera</i> (sığır), <i>Lemna</i> , <i>Myriophyllum</i> , <i>Panicum</i> (sığır), <i>Pistia</i> (sığır), <i>Potamogeton</i> (kümes hayvanları), <i>Ruppia</i> (sığır), <i>Sagittaria</i> (kerevit), <i>Salvinia</i> (balık, koyun), <i>Vallisneria</i> (sığır)
2.Bitkisel gübre (karma gübre)	<i>Azolla</i> , <i>Eichhornia</i> , <i>Lemna</i> , <i>Myriophyllum</i> , <i>Pistia</i>
3.Doğal gaz (metan ve alkol)	<i>Eichhornia</i> , <i>Hydrilla</i> , <i>Myriophyllum</i> , <i>Salvinia</i> , <i>Typha</i>
4.Kılavuz bitki	(<i>bioindicator</i>) <i>Azolla</i> , <i>Callitriche</i> , <i>Lemna</i> , <i>Myriophyllum</i>
5.Bitki kütlesi	(<i>biomass</i>) <i>Cyperus</i> , <i>Eichhornia</i> , <i>Hydrilla</i> , <i>Phragmites</i>
6.İnsan ilacı	<i>Acorus</i> , <i>Alisma</i> , <i>Elatine</i> , <i>Nelumbo</i> , <i>Nymphaea</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Pistia</i>
7.İnsan besini	<i>Colocasia</i> , <i>Lemna</i> , <i>Ipomoea</i> , <i>Oryza</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Trapa</i> , <i>Typha</i> , <i>Vallisneria</i> , <i>Zizania</i>
8.Kağıt, kağıt hamuru vb.	<i>Cyperus</i> , <i>Juncus</i> , <i>Panicum</i> , <i>Pandanus</i> , <i>Phragmites</i> , <i>Salvinia</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Typha</i>
9.Dam örtüsü	<i>Phragmites</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Typha</i>
10.Atık su arıtımı	<i>Azolla</i> , <i>Ceratophyllum</i> , <i>Eichhornia</i> , <i>Elodea</i> , <i>Hydrocotyle</i> , <i>Juncus</i> , <i>Lemna</i> , <i>Myriophyllum</i> , <i>Phragmites</i> , <i>Pistia</i> , <i>Potamogeton</i> , <i>Salvinia</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Schoenoplectus</i> , <i>Spirodela</i> , <i>Trapa</i> , <i>Typha</i> , <i>Wolffiella</i> , <i>Canna</i> , <i>Pontederia</i> , <i>Sagittaria</i>

Su kalitesi kontrol sistemlerinin ve su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin uygun tasarımı için, zorlanmış akım ve bitki yapısı arasındaki karmaşık etkileşimin kapsamlı olarak anlaşılması gereklidir. [3].

Su yüzeyinde serbest olarak hareket edebilen bu egzotik bitki türlerinin dışında su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan sistemler (uzun çizgiler halinde düzenlenen midye tarlaları v.b.) askıdaki bitki türü gibi davranabilmekte ve akım içinde direnç oluşturarak su kültüründe ve akım sisteminde önemli hidrodinamik etkiler gösterebilmektedirler. Bu hidrodinamik etkiler, deniz çiftliklerinin besin ve atık akımları verimliliği ve çevresel etkileri için belirleyici olan faktörlerdir. Bu nedenle hidrodinamik etkilerin önemli sonuçları vardır. Örneğin, askıya alınmış kabuklu deniz canlısı kültüründeki besin tükenmesi büyümeyi sınırlayabilmektedir. [7, 8, 9, 10].

Askıda canopy'lerin bilinen örnekleri; su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan kafesler, sallar ve uzun hatlar halinde tarlalar ve biyokütlesinin büyük bir kısmının su yüzeyine yakın olan, düşük yoğunluklu "Macrocytis" gibi bazı su yosunu türleri topluluğu sayılabilir. [11, 12].

Bu çalışma, literatürde sınırlı sayıda çalışmaya konu olan askıdaki sucul bitki örtüsünün açık kanal akımı üzerindeki etkisini araştırmak ve daha sonra yapılacak çalışmalara kaynak oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Bunun için, Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü hidrolik laboratuvarında, 30 cm çapında ahşap kontrplak üzerinde şablon yardımıyla işaretlenerek açılan deliklerden geçirilen 1 cm çapındaki PVC borular ile oluşturulan yapay-rijit bitki modelleri kullanılmıştır. Boru çapının kontrplak çapına oranı üzerinden hesaplanan SVF_1 (%5), SVF_2 (%9), SVF_3 (%36) ve SVF_4 (%100) yoğunluklarında 4 yapay-rijit bitki modeli hazırlanmıştır. Hazırlanan bu bitki modelleri yoğunluk sırasına göre sırayla, 11 metre uzunluğunda ve 1,2 metre genişlikteki açık kanalın orta kısmında, su yüzeyinden itibaren 15 cm batırılarak sabitlenmiştir. Akımı sağlayan pompa çalıştırılarak akımın üniform hale gelmesi bekledikten sonra askıdaki bitki modellerinin açık kanal akımı üzerindeki etkisi 120 sn boyunca ölçülen yaklaşık 3000 adet veri ile gözlemlenmiştir. Ultrasonik sensörler tarafından algılanan yüksek frekanslı ses dalgaları sayesinde akışkan içindeki parçacık ve hava kabarcıklarının hızlarını ölçerek akım hızını yüksek doğrulukta verebilen Sontek Akustik Doppler Velocimeter (ADV) cihazı ile belirli noktalarda hız ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Laboratuvar ortamında hazırlanan bu düzenek bilgisayar ortamında Flow 3D programı yardımıyla modellenerek, laboratuvarında hız okuması yapılan noktalarda ölçülen hızlar aynı noktalar için sayısal modelden okunan hızlar (Sontek ADV cihazıyla laboratuvar ortamında okunan hızlar) ile karşılaştırılmıştır. Bitki modelinin altında kalan noktalardaki hızlar ADV cihazı ile okunamamış, laboratuvar ve simülasyon arasında ki diğer noktalardan elde edilen hızların uyumuna olan güvenle bitki modelinin altında kalan noktalardaki hızlar sadece bilgisayar simülasyonundan elde edilerek karşılaştırma yapmadan tek başına değerlendirilmiştir.

2. AÇIK KANAL HİDROLİĞİ

Açık kanal akımı, su yüzeyinin atmosfer ile temas halinde olan akım türüne denir. Açık kanal akımlarında akım davranışı tamamen doğanın karar verme yeteneğine bağlı olarak gelişen bir olgu olup, yerçekimi sayesinde kendiliğinden doğal olarak oluşmaktadır. Momba ve mansaptaki kot farkları akım parametrelerini belirleyici özellikte olmaktadır. Açık kanal akımlarında akımın karakterini etkileyen etmenler temel olarak ana başlıklar altında toplanmak istenirse; sınır koşulları, yatak kapasitesi ve yatak eğimi olarak sıralanabilir. Sınır koşulları, akarsu yatağının kaplı olduğu malzemenin akım üzerinde göstermiş olduğu direnci ifade etmektedir. Sınır koşulların tam olarak belirlenmesi olanaksız olmakla beraber yapılan araştırma ve gözlemlerden edinilen tecrübeye bazı yaklaşımlarda bulunulabilmektedir. Yatak kapasitesi, suyun akarsu yatağında işgal ettiği ıslak alan ve ıslak çevre olarak ifade edilmektedir. Yatak eğimi ise akarsu tabanının momba ile mansabı arasındaki kot farkının akarsu uzunluğuna olan oranından belirlenmektedir. Açık kanal hidrolüğünde akım, bu üç büyüklük üzerinden hesaplanan akım derinliği ile ifade edilmektedir.

2.1. Kararlı ve Kararsız Akımlar

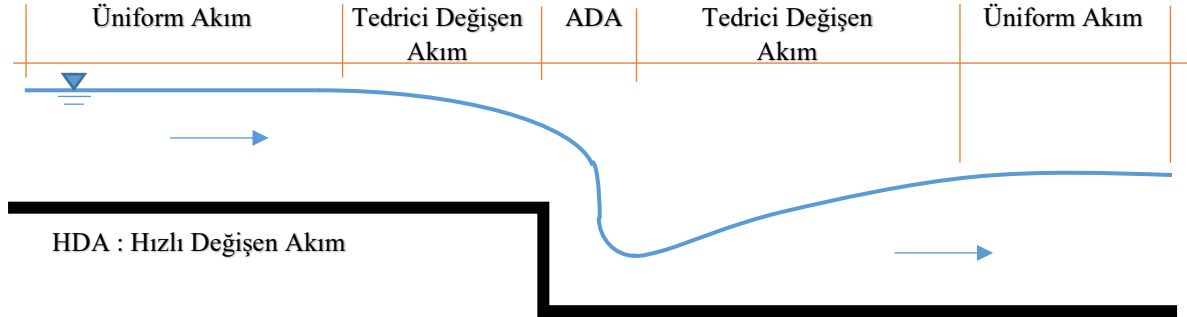
Tamamen yer çekimine bağlı olarak gerçekleşen bir açık kanal akım sisteminde akımı tanımlayan büyüklük, kanal boyunca değişebilen akım derinliğidir. Gerçekleşen yağışla beraber havzanın akım oluşturma kapasitesine bağlı olarak, belli bir zaman diliminde yatakta oluşan debinin sabit olduğunu düşünürsek, akım derinliği de zamanla değişmeyecektir.

Bir açık kanal akımında zamana bağlı olarak herhangi bir kesitte hızın yönü ve büyüklüğü zamanla değişmiyorsa, başka bir ifadeyle belli bir zaman aralığında bir kesitteki hidrolik parametrelerde (derinlik, ıslak kesit, debi vb.) bir değişiklik gözlenmiyorsa bu tür akımlar kararlı akımdır. Derinliğin, dolayısıyla ıslak kesitin ve debinin zamanla değiştiği akım türleri ise kararsız akımlardır.

2.2. Ünitorm ve Değişken (Ünitorm Olmayan) Akımlar

Bir açık kanal akımında zaman ölçütü dışında, akım derinliği değişmiyorsa sınır koşullar, kanal kesitleri ve yatak eğimi değişmiyor demektir. Bu tür akımlara “ünitorm” akım denir. Sınır koşullar, kanal kesiti veya yatak eğimi parametrelerinden biri veya bir kaç değişirse akım derinliği de değişecektir. Akım derinliğinin değiştiği akım tiplerine de “değişken akım”

denir. Akım derinliğinin değişme hızına göre değişken akımlarda Tedrici Değişen Akım (TDA) ve Ani Değişen Akım (ADA) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.1 Ünlform akım, tedrici değişen akım ve ani değişen akım gösterimi. [13]

2.3. Laminer ve Türbülanslı Akımlar

Reynolds sayısı; 1842 ile 1912 yılları arasında yaşamış olan Osborne Reynolds tarafından ortaya konan akımın, düzgün akım çizgileri halinde mi yoksa karmaşık, dalgalanmalı, tedirgin akım alanı şeklinde mi olduğunu tanımlamak için kullanılan en basit ve en yaygın boyutsuz parametredir. Boru akımlarında olduğu gibi açık kanal akımlarında da Reynolds sayısına bağlı olarak, laminer, türbülanslı veya geçiş akımı oluşabilir. Burada akım karakteri, atalet kuvvetleri ile viskoz kuvvetler arasındaki ilişki ile açıklanabilmektedir (Denklem 2.1) [13].

$$Re = \frac{\rho V R_h}{\mu} = \frac{V R_h}{\nu} = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Vizkoz Kuvvetler}} \quad (2.1)$$

Burada;

Re : Reynolds Sayısı (Boyutsuz)

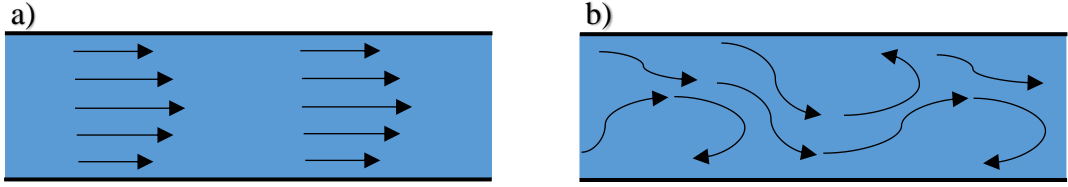
ρ : Akışkan Yoğunluğu (kg/m^3)

V : Ortalama Akım Hızı (m/s)

R_h : Hidrolik Yarıçap (Alan / Islak çevre), (m) (Çok geniş kanallarda formülde R_h yerine H toplam akım derinliği de kullanılabilir.) [13].

μ : Viskozite (kg/ms)

ν : Kinematik Viskozite (m^2/s) (20°C lik su için değeri $1,004 \text{ m}^2/\text{s}$ dir.)



Şekil 2.2 (a) Laminer akım (b)Türbülanslı akım.

Yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki katı sınır koşullarından etkilenmeyen bir akım modelinde, aynı akım çizgisi üzerinde belli bir hıza kadar akım daha çok viskoz kuvvetleri etkisinde laminer olarak düz bir çizgi üzerinde gerçekleşmektedir. Ancak, akım hızı biraz arttırıldığında atalet kuvvetlerinin etkinliği artarak, küçük dalgalanmalar oluşmaktadır. Bu aşamaya geçiş akım durumu denilmektedir. Akım hızı biraz daha arttırıldığında ise atalet kuvvetlerin etkinliğinin viskoz kuvvetlerine nazaran çok fazla olduğu ve akımın hesaplanamaz şekilde rastlantısal olarak karıştığı görülmektedir. Bu akım durumuna da türbülanslı akım denilmektedir.

Yapılan bu deneysel çalışmalarda, açık kanal akımlarında, hidrolik yarıçap ile hesaplanan Reynolds sayısının (Denklem 2.1) 500'den küçük olduğu durumlarda laminer akımın, 500 ile 2500 arasında olduğu durumlarda geçiş akım durumunun ve 2500'ün üzerinde olduğu durumlarda ise türbülanslı akım durumunun geliştiği gözlemlenmiştir [13].

Ayrıca, sınır koşulların önemli olduğu bir akım modelinde, belli bir tabakadaki hız artışına bağlı olarak Reynolds sayısının artması durumunda atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere olan baskınlığı artacağı için bu tabakaya komşu olan sınır tabaka kalınlığı azalacaktır.

2.4. Kritik Altı, Kritik ve Kritik Üstü Akım Durumları

Açık kanal akımları aynı zamanda, atalet ve yerçekimi kuvvetlerinin etkileşimi sonucu ortaya konan ve boyutsuz bir sayı olan Froude sayısı ile sınıflandırılır.(Denklem 2.3) [13].

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL_c}} \quad (2.2)$$

$$Fr = \sqrt{\frac{\text{Atalet Kuvveti}}{\text{Yerçekimi Kuvveti}}} = \sqrt{\frac{2 \left(\frac{1}{2} \rho V^2 A \right)}{mg}} = \sqrt{\frac{V^2 \rho A}{gL_c \rho A}} = \sqrt{\frac{V^2}{gL_c}} \quad (2.3)$$

Burada ;

Fr : Froude sayısı (Boyutsuz)

A : Kesit alanı (m²)

V : Ortalama Akım Hızı (m/s)

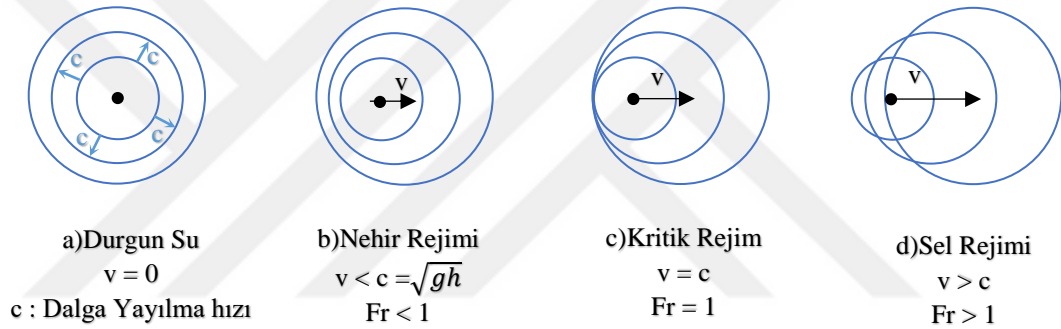
g : Yerçekimi ivmesi (m/s²)

m : Kütle (kg)

L_c : Karakteristik uzunluk(m), (Açık kanallarda L_c=A/T (Islak Alan/ Su yüzü genişliği), çok geniş kanallarda “H” toplam akım derinliği kullanılabilir.)

Froude sayısı denklem 2.3’te gösterildiği şekliyle irdelenirse, bir açık kanaldaki akım, hızlı durumda atalet kuvvetlerinin, sakin durumda da yer çekimi kuvvetlerinin etkisindedir.

Froude sayısının 1’den düşük olduğu akımlara kritik altı akım, 1’e eşit olduğu durumlara kritik akım, 1’den büyük olduğu akımlara ise kritik üstü akım denilmektedir.



Şekil 2.3. Su yüzüne atılan bir cismin akım sırasında farklı rejimlerdeki dalga izleri [14].

2.4.1. Kritik Rejim (Kritik Akım)

Nehir rejiminden sel rejimine geçişte görülen akım durumuna kritik durum veya kritik rejim denilmektedir.

$$1 = Fr = \sqrt{\frac{V^2}{gL_c}} \quad (\text{Kritik akış durumu})$$

$$V_{kr} = \sqrt{gL_c} = c \quad (\text{Kritik Akım Hızı}) \quad (2.4)$$

Çok geniş kanallarda L_c akım derinliği olarak “H” kullanılabilir. Bu durumda,

$$V_{kr} = \sqrt{gH} = c$$

c : Dalga yayılma hızı. (m/s)

H : Akım Derinliği (m)

V_{kr} : Kritik Akım Hızı (m/s)

2.4.2. Nehir Rejimi (Kritik Altı Akım)

Açık kanal akımlarında eğimin az olduğu ve buna bağlı olarak akım hızının yavaş olduğu akım durumlarına nehir rejimi denir. Bu akım durumunda, akım hızı dalga yayılma hızından yani kritik hızdan düşük olmakta ve su yüzüne atılan bir cismin oluşturduğu dalgalar memba yönünde de ilerleyebilmektedirler. Akım hızı kritik hızdan düşük olduğu için Froude sayısı da bu tür akımlarda 1'den küçük olacaktır [14].

Nehir rejimlerinde, akım hızları düşük olduğundan, akım derinliği yüksek olacaktır. Akım derinliğinin yüksek olması ve akım hızının yavaş olmasından dolayı tabanda yer alan düşük hız katmanları ile yüzey katmanları arasında momentum ve kinetik enerji transferlerinin akıma dik yöndeki bileşenlerinin etkisi yüzeye ulaşmadan sönümlenmektedir. Böylece nehir rejimlerinde su yüzeyinde taban kaynaklı dalgalanma oluşumu oldukça düşüktür.



Şekil 2.4. Erzurum ili sınırlarından geçen Aras nehrinde yatak eğiminin düşük olduğu bir profile nehir rejiminde akım.

2.4.3. Sel Rejimi (Kritik Üstü Akım)

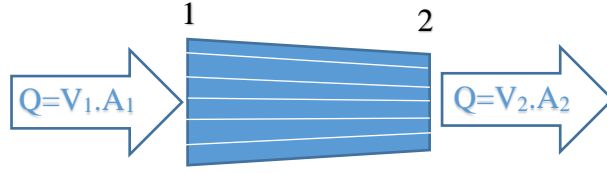
Eğimin fazla ve su derinliğinin az olduğu derelerde görülen akım rejimidir. Bu akım durumunda, akım hızı dalga yayılma hızından başka bir ifade ile kritik hızdan yüksek olduğu için akım sırasında su yüzeyine atılan bir cismin oluşturduğu dalgalar sadece mansap yönünde etkili olabilmektedir. Akım hızı kritik hızdan yüksek olduğu için bu akım durumunda Froude sayısı 1'den büyük olacaktır. Bu tip akımlarda türbülans yoğunluğu oldukça fazla olmakta ve taban eğiminin artmasına bağlı olarak akım hızı artmakta ve akım derinliği azalmaktadır. Akım derinliğinin azalması ile taban pürüzlülüğüne bağlı olarak hız tabakaları arasında meydana gelen momentum ve kinetik enerji transferlerinden dolayı su yüzeyinde dalgalanmalar gözlemlenmektedir.



Şekil 2.5. Gürcistan Rioni nehri eğimin yüksek olduğu bir profilde sel rejiminde akım.

2.5. Süreklilik Denklemi

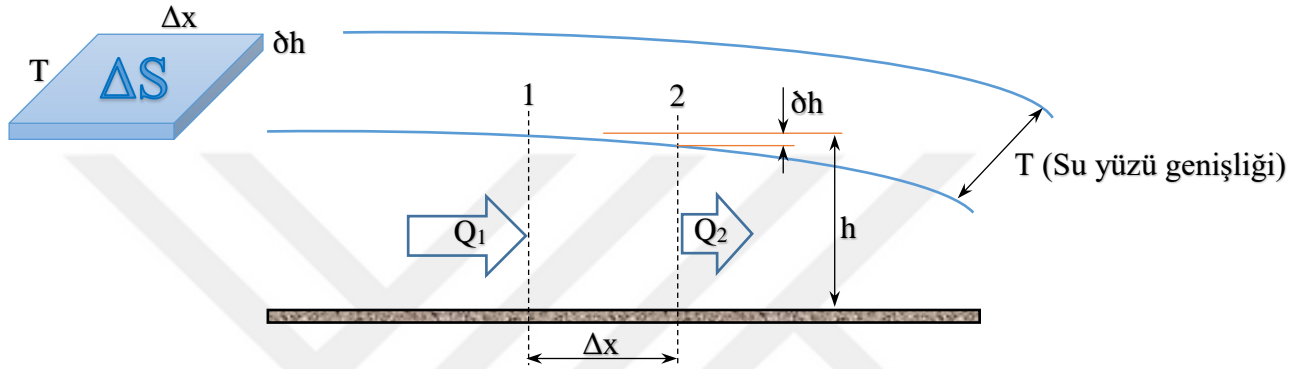
Belirgin bir akımda bir akım borusu göz önüne alındığında, akım borusuna herhangi bir şekilde debi giriş-çıkışı olmadığı ve suyun sıkıştırılmaz olduğu kabulü ile, kütle korunumu yasasından yola çıkarak, akım borusunun giriş ve çıkışı arasında kararlı akım durumları için “*debi süreklilik denklemi*” olarak ifade edilen aşağıdaki bağıntı yazılabilir [14].



Şekil 2.6. Akım Borusu [14].

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q \quad (2.5)$$

Kararsız akımlar için debi süreklilik denklemi ifadesi diferansiyel analiz gerektirmektedir.



Şekil 2.7. Kararsız Akımda Debi Süreklilik Sistemi [14].

Şekil 2.7. deki kararsız akıma ait sistem örneğinde, Δx kadar bir aralık dikkate alındığında, bu aralıkta sisteme giren debi Q_1 , sistemden çıkan debi Q_2 'dir. ΔS ise sistemde kaybolan debi olarak düşünüldüğünde, (2.6) eşitliği elde edilir [14].

$$(Q_2 - Q_1) \cdot \Delta t = -\Delta S \quad (2.6)$$

Çok küçük Δx aralığında giren debi ile çıkan debi arasındaki fark çok küçük bir debi olacaktır;

$$(Q_2 - Q_1) = \partial Q$$

Olarak düşünüldüğünde ifade;

$$\partial Q \cdot \Delta t + \Delta S = 0 \quad \text{şeklini alır.}$$

$\Delta S = T \cdot \partial h \cdot \Delta x$ ifadesi eklenirse (2.6) denkleminin son hali;

$$\partial Q \cdot \Delta t \frac{\Delta x}{\partial x} + T \cdot \partial h \cdot \Delta x \frac{\Delta t}{\partial t} = (\Delta t \cdot \Delta x) \left[\frac{\partial Q}{\partial x} + T \frac{\partial h}{\partial t} \right] = 0$$

olarak ifade edilir. Bu ifade sadeleştirildiğinde;

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.7)$$

olur. Ayrıca; $Q=A.V$ ifadesinde x 'e göre türev alınırsa;

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x}$$

elde edilir. Bu ifade denklem 2.7 de yerine konulduğunda;

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + T \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

şeklini alır. Bu eşitliğin her iki tarafı da $1/T$ ile çarpılır ve;

$$D_h = A/T \quad (\text{Hidrolik Derinlik}) \text{ ile düzenlemesi yapılırsa;}$$

$$\partial A = T. \partial h \quad (\text{Kısmi Islak Alan})$$

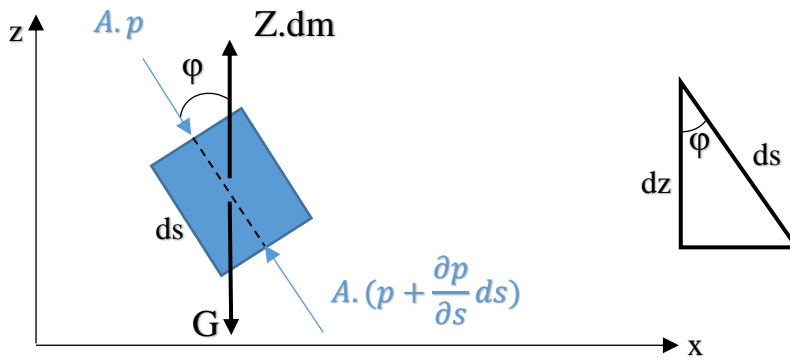
kararsız akımlar için geçerli olan süreklilik denkleminin hız ve hidrolik derinliğe bağlı ifadesi;

$$D_h \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.8)$$

olarak elde edilir [14].

2.6. Enerji Denklemi

Newton'un 2. Hareket Kanununa göre, kütlesi belli bir cisme veya sisteme etkiyen kuvvet o sistemin veya cismin momentum değişimine eşittir. Bu hareket kanunu dm kütleli bir sıvıya (Şekil 2.8.) uygulanacak olursa [14].



Şekil 2.8. 'dm' sıvı kütlesine etkiyen kuvvetler [14].

Bileşke Basınç Kuvveti;

$$A. \left[p - \left(p + \frac{\partial p}{\partial s} ds \right) \right] = -A. \frac{\partial p}{\partial s} ds$$

Akım Yönündeki İvme;

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial v}{\partial t}$$

bu ifadeler kullanılarak Newton'un hareket kanununun tek boyutlu akımlar için genel ifadesi elde edilmiş olur;

$$\underbrace{-\rho \cdot g \cdot A \frac{\partial z}{\partial s} ds - A \frac{\partial p}{\partial s} ds}_{F} = \underbrace{\rho \cdot A \cdot ds}_{m} \cdot \underbrace{\left(\frac{\partial v}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial v}{\partial t} \right)}_{a} \quad (2.9)$$

(2.9) ifadesi $(\rho \cdot ds \cdot A)$ çarpanına bölünür ve $v=ds/dt$ düzeltilmesi yapılırsa bir boyutlu akımlar için,

$$-g \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = \frac{\partial v}{\partial s} v + \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.10)$$

Euler eşitliği olarak bilinen denklem elde edilmiş olur. Ayrıca, kararlı akımlar için $\partial v / \partial t = 0$ olduğundan ve eşitliğin her iki tarafı g yerçekimi ivmesine bölünerek düzenlenirse, kısmi diferansiyel denklemde normal diferansiyel denkleme dönüştürülmesiyle;

$$\frac{dz}{ds} + \frac{1}{\rho \cdot g} \frac{dp}{ds} + \frac{dv}{ds} \frac{v}{g} + 0 = 0$$

$$\frac{d}{ds} \left(z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} \right) = 0$$

haline gelir. Bu ifadenin integrali alınırsa,

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = C \quad (2.11)$$

Bernoulli eşitliği olarak bilinen denklem elde edilmiş olur. Bernoulli denklemi; kararlı, sürtünmesiz ve sıkıştırılamaz sıvılar için geçerli bir ifadedir.

Bernoulli denkleminde "z" potansiyel enerji yükü, " $p/\rho \cdot g$ " basınç yükü, " $v^2/2g$ " ise hız yükünü ifade etmekte olup bu üçünün toplamı sonlu hacmin toplam enerjisini vermektedir [14].

Enerjinin korunumu ilkesinden yola çıkarak kararlı, sıkıştırılamaz ve sürtünmesiz kabul edilen ideal bir akım sisteminde farklı iki noktada toplam enerjinin aynı olacağı bilgisiyle bu iki nokta arasında denklem;

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.12)$$

şeklinde düzenlenebilir.

2.7. Momentum – İmpuls Denklemi

Momentum – İmpuls eşitliği yine Newton'un 2. Hareket kanunu olan $F=m \cdot a$ ifadesinden türetilmektedir.

$F = m \cdot a$ ifadesinde a yerine dv/dt konularak düzenlenirse ifade;

$$F = m \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{d}{dt}(\rho Vv)$$

Momentum-İmpuls Denklemi açık kanaldaki bir kontrol hacmine uygulandığında aşağıda verilen ifade elde edilir.

$$F = \frac{d}{dt}(\rho Vv) = \rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \quad (2.13)$$

Burada, " V " kontrol hacmi " β " momentum düzeltme katsayısıdır [14].

3. AÇIK KANAL AKIMLARINDA KAPASİTE TAYİNİ

Açık kanal akımlarında kesit kapasitesinin hesaplanması kanalın geometrik özellikleriyle yakından ilgilidir. Beton veya taş kaplı, taban eğimi düzenlenmiş kanallarda debi hesabı, taban şekillerinin akım sırasında değiştiği doğal kanallara nazaran daha kolay olmaktadır. Taban şekli değişen ve bitki örtüsüyle sarılı doğal en kesitli akarsu yataklarında kesit hesabının yapılması çok fazla özellik içermektedir. Çünkü akım, katı madde hareketi, değişken taban şekli ve koşullarından sürekli olarak etkilenmektedir [15].

3.1. Debi Denklemleri

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki akım hızının hesaplanmasında bilinmesi gereken özellikler, “H” akım derinliği, “A” ıslak alan, “U” ıslak çevre, “I” taban eğimi, kesit geometrisi ve sınır koşullar yani pürüzlülüktür.

$$V = f(H, A, U, I, \text{kesit geometrisi, pürüzlülük})$$

3.1.1. Amprik Formüller

Açık kanal hidroliğinde akım hızı ve debi hesabı için çok sayıda formül geliştirilmiştir. Bazılarına örnek verecek olursak, Ganguillet, Kutter, Bazin Pavlovski, Forscheimer, Manning-Strickler, Chezy eşitliklerini söyleyebiliriz. Bu formüllerin genel yapısı,

$$V = C_p \cdot R^x \cdot I^y$$

şeklinde olup, eşitlikteki “C_p” eşitliğin özelliğini yansıtan ve pürüzlülüğü içeren bir katsayı, “R_h” hidrolik yarıçap, “I” eğimi ifade etmektedir [14].

Forscheimer formülünde x=0,7 ve y=0,5 olurken Manning-Strickler formülünde x=2/3 ve y=0,5 olmaktadır ve Manning-Strickler denklemi;

$$V = k_{st} \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (3.1)$$

şeklinde düzenlenebilmektedir.

İlk olarak Brahms tarafından 1753 yılında ortaya konan ve Chezy tarafından da 1755 yılında geliştirilen Chezy eşitliği olarak bilinen ampirik formül aşağıda verilmiştir [14].

$$V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I} \quad (3.2)$$

Açık kanal hesaplarında, özellikle sürüntü maddesi içeren akarsularda, taban şekli oluşmamış hidrolik kesitlerde logaritmik hız dağılımı kabulünün basit bir uygulaması olan Keulegan Eşitliği (1938) uzun zamandır kullanılmaktadır [14].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{V}{\sqrt{8g \cdot R_h \cdot I}} - 2,03 \log \left(\frac{k}{12,27R_h} \right) \quad (\text{Trapez kesitli Kanallarda}) \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{V}{\sqrt{8g \cdot R_h \cdot I}} - 2,03 \log \left(\frac{k}{11,00R_h} \right) \quad (\text{Dikdörtgen Kesitli Kanallarda}) \quad (3.4)$$

Keulegan - Carpenter eşitliğinin olumsuz yanı ise içsel sürtünme kuvvetlerini içermemesinden dolayı özellikle kumlu yapıya sahip dere yataklarında oldukça farklı sonuçlar vermesidir [14].

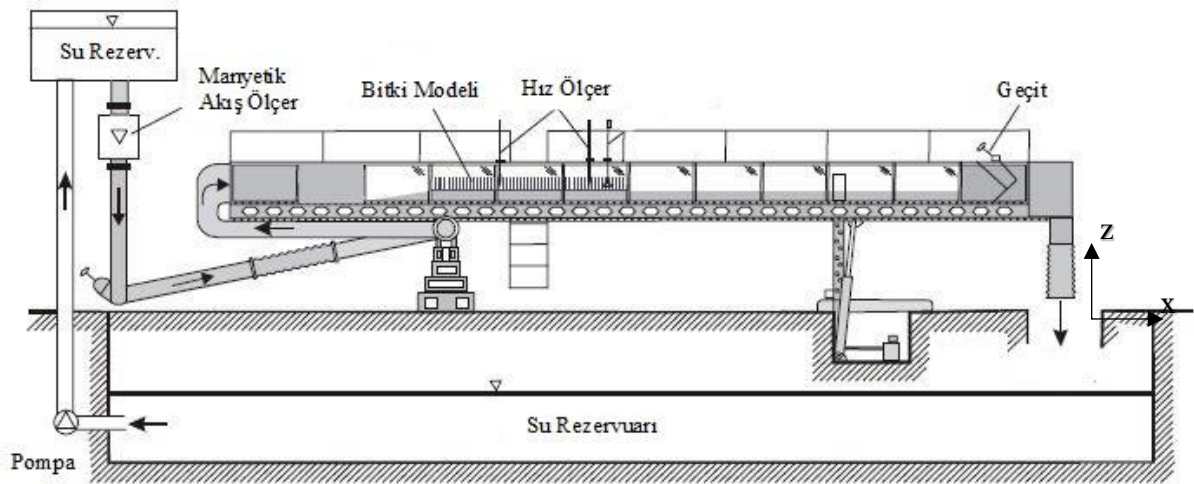
4. LİTERATÜR

Açık kanal akımlarında yataktaki bitki örtüsü, akım hızı ve diğer akım parametrelerini belirleyici özellikte olduğu için hidrolik mühendisliğinde birçok araştırmaya konu olmuştur. Yerleşim alanlarına yakın dere yataklarında pürüzlülük değerleri bilinen kaplama malzemeleri ile ıslah çalışmaları yapılırsa bile zaman içinde dere yatağında biriken rüsubat üzerinde yetişen bitki örtüsü akımı önemli derecede etkilemektedir. Bu durum bakım masraflarını arttırmakta ve neredeyse her sene yağış dönemi öncesinde ıslah edilmiş kesitlerde bitki temizliği yapılması zorunluluğunu doğurmaktadır. Çünkü bitki örtüsünün varlığı, bilinen pürüzlülük değerini tamamen değiştirmekte ve sınır koşullarını akıma karşı direnç oluşturacak şekilde zorlaştırarak akım hızını yavaşlatmaktadır. Dolayısıyla, kapasiteyi önemli ölçüde düşürmektedir. Açık kanal akımlarının dışında kıyılarda var olan su yosunları (*Macrocystis pyrifera*) ve su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan ekipman ve sistemlerin (midye tarlaları gibi) içinde buldukları su kültürü üzerinde önemli etkileri olduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konmuştur. Bu sebeple, araştırmacılar doğal ortamlarında yaptıkları gözlemlerle ve/veya laboratuvar ortamında hazırlanan temsili açık kanal akımlarında, bitki örtüsünün akıma olan etkisini araştırmak üzere birçok çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar incelendiğinde genel olarak, tam batık (Submerged), kısmi batık (Emergent) ve askıdaki (Suspended) bitki türlerinin biri veya birkaçını içeren çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bazı araştırmacılar ise gerçek bitki modellerinin yerine sert (rigid) ve/veya esnek (flexible) yapıdaki yapay bitkiler kullanmayı tercih etmişlerdir.

4.1. Tam Batık Bitki İle Yapılan Çalışmalar

Kubrak ve ark. [16] tarafından yapılan tam batık ve esnek bitkilerin içinden ve üstlerinden geçen akımın düşey hız profili dağılımlarının incelendiği çalışmada, bir boyutlu ve kararlı akım modeli kurulmuş ve bu model açık kanal akımlarındaki batık bitki içinden ve üstünden geçen akımın düşey hız profillerini incelemek için kullanılmıştır. Türbülans viskozitesi (Eddy viskozitesi) karışım uzunluğu teorisinin bir benzeri kullanılarak oluşturulmuştur. Hız profilleri modeli, kanal taban pürüzlülüğünü ve batık esnek saplar tarafından uygulanan direnci dikkate almaktadır. Hesaplanan hızların doğrulanması laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Her iki katmandaki homojen esnek sapların içi ve üstü karışım uzunluğu formülünün benzeri için orantılılık katsayıları belirlenmiştir. Düşey hız profilleri basit, açık bir sınırlı fark sistemi vasıtasıyla hesaplanmıştır. Sayısal modelle hesaplanan esnek bitki gövdelerinin hız profilleri ve sapmalarında oldukça

doğru tahminler sağlanmıştır. Hesaplamalar ve deneysel sonuçlar göstermiştir ki esnek bitki gövdeli tabakanın içinde, karışım uzunluğu; su derinliğinin, bitki yoğunluğunun, taban eğimi ve prz yksekliliğinin (k_s) doğrusal bir fonksiyonudur. Esnek bitki gövdeleri üzerindeki tabakada karışım uzunluğu taban eğiminden bağımsızdır. Her iki tabaka içinde hesaplanan hızlar ve onların ölçülen değerleri arasındaki ilişki kabul edilebilir düzeydedir [16].



şekil 4.1. Laboratuvar Deney Düzeneği [16].

Li ve ark. [17] tarafından batmış bitki örtüsünün açık kanal akımında akım yapısı (akım hızı, Reynolds gerilmeleri, türbülans şiddeti ve manning katsayısı) zerindeki etkisi 3D akustik doppler yardımıyla deneysel olarak araştırılmıştır. Doğal bitki örtüsünün benzeştirmek için tasarlanan yatay bitkilerin akım yapısını belirgin olarak etkilediği gözlenmiştir. Bu alışma akım yollarının ve hız profillerinin değişimini ve bitki sapı yoğunluğundan etkilenen türbülans yapısının anlaşılmasını sağlamıştır. Mansapta bitki örtüsünün bitişinin belirlenmesi, yeniden yapılandırma durumlarında, bitkili bölge alanlarının uzunluğunun tespitinde kritik öneme sahiptir. Çalışma aynı zamanda, akım yollarının bitkili bölgenin mansap tarafındaki bitişinde (son noktasında) nasıl kararlı hale geldiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, hız profillerinin, manning katsayısının ve debi oranlarının bitki yoğunluğu ile değişimlerini açıkça ifade edebilmek için yeni matematiksel denklemler geliştirilmiştir. Hız profili kabaca 3 bölgeye ayrılabilir. Bunlar bitki içermeyen üst bölge, bitki içeren orta bölge ve en alt kılıf tabakası olarak sınıflandırılabilir. Üst katmandaki bitki içermeyen bölgede, hız profilleri logaritmik yasaya uymuş ve gözlem verilerine dayanarak buna karşılık gelen (ilgili) bir ampirik denklem geliştirilmiştir. Hız ve debi, bitki içermeyen üst tabakada, bitki yoğunluğu artışı ile birlikte artış

göstermiş, orta ve alt katmanda ise azalmıştır. Bitkinin varlığının mevcut olduğu ve olmadığı tabakalardaki ortalama debi oranı, artan bitki yoğunluğu ile üstel fonksiyon yasasına uymuştur. Bu analiz, taban derinleşmesi (oyulması) ve taşkın potansiyeli üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bütün bitki yoğunluklarında Reynolds gerilmeleri bitki üst kısmının en uç noktasında pik değere ulaşmıştır ve türbülans şiddeti 2 farklı noktada; (bitki üst noktası ve alt kılıf bölgesi) en yüksek değerine ulaşmıştır [17].

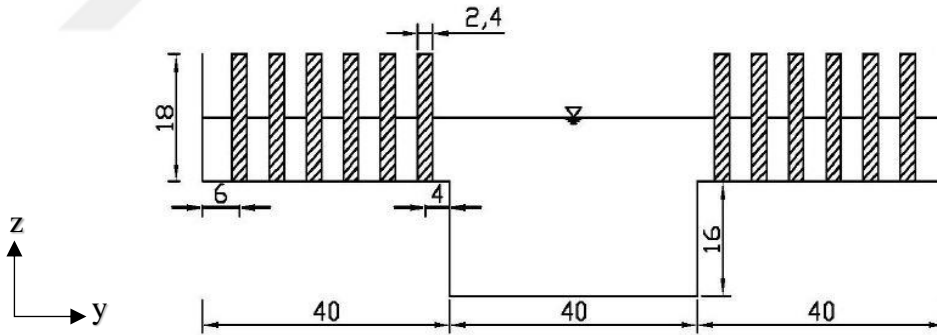
Jiang ve ark. [18] tarafından tam batık bitki örtüsü içeren bir birleşik kanalda hız ve debi kapasitesi için bir analitik model üzerinde çalışılmıştır. Momentum Transfer Teorisine dayanarak, tam batık bitki örtüsü bulunan taşkın yatağındaki hız ve deşarj kapasitesi için bir analitik metot geliştirilmiştir. Bitki örtülü kanal kısmi olarak; ana kanal bölgesi, batık bitki örtülü taşkın yatağı ve bitki örtüsü taşkın yatağı bölgesi olarak üç bölgeye bölünmüştür. Her bölge için kuvvet dengesi ilişkisi kurulmuş ve farklı bölgeler arasındaki momentum transferi sunulmuştur. Sonuçlar ayrıca göstermiştir ki, farklı bölgeler arasındaki momentum transferi ihmal edildiği zaman hesaplanan debi ölçülenden daha büyük olacaktır ve özellikle taşkın yatağı bölgelerinde debi artışı ile birlikte hata oranı artacaktır [18].

Ozan [19] bitki parçasının açık kanal en kesiti boyunca neden olduğu akım yapısı hakkındaki çalışmasında, sınırlı uzunlukta tam batık bitki parçasının etkisindeki akım yapısını deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel olarak hazırlanan düzenekle sınırlı uzunlukta batık bitki parçası, 1,2 metre uzunluğunda ve 0,6 m genişliğinde rijit plastik boru parçaları kullanılarak benzeştirilmiştir. Bitki yoğunluğunun etkisini belirlemek için $N_1=161 \text{ IP/m}^2$ ve $N_2=1149 \text{ IP/m}^2$ (IP/m^2 metre karedeki bitki adedini ifade etmektedir.) olmak üzere iki farklı yoğunlukta bitki tabakası kullanmıştır. Elde edilen sonuçlardan, bitki tabakasının kanal enkesiti boyunca akım yapısında ciddi bir değişime neden olduğu görülmüştür. Büyük yoğunluğa sahip bitki tabakası, hız dağılımında daha yüksek oranda hız değişimine sebep olmuştur. Buna ilaveten, kanal en kesiti boyunca derinlik, ortalama hız dağılımında daha yüksek oranda hız değişimine sebep olmuştur. Türbülans kinetik enerji, bitki tabakasının olduğu bölgede bitki tabakası olmayan bölgeye nazaran daha fazla meydana gelmiştir [19].

Yılmaz ve Ozan [20] açık kanalda tam batmış bitkinin akıma olan etkisi hakkındaki çalışmalarında, kısmi bitki örtüsüne sahip akarsularda bulunan batık bitki örtüsü ve akım arasındaki etkileşimi deneysel olarak incelemiştir. Deneysel olarak sert ve yapay bitki modelleriyle düşük ve yüksek yoğunlukta ($N_1=172 \text{ IP/m}^2$ ve $N_2=1142 \text{ IP/m}^2$) olmak üzere iki farklı bitki yoğunluğu kullanılmıştır. Kanalda x eksenine yönünde 13, y eksenine yönünde 11 farklı noktada

açık kanal akımı, akışkanlar dinamiği uygulamalarına yönelik bir bilgisayar programı (ANSYS-CFX) ile modellemiştir. Modelden elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan laboratuvar deney koşullarında oluşturulmuş bitki örtülü kanal modelinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, oldukça karmaşık engel yapısına sahip akarsu kesitlerinde bile oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiş ve hidrodinamik özelliklerin bilgisayar programı kullanılarak belirlenebileceği görülmüştür [22].

Birol [23], Dorcheh [21] tarafından kısmi batık bitki örtüsü içeren birleşik kanalda yapılan çalışmayı Flow 3D ile modelleyip elde ettiği sonuçları Dorcheh [21]'nin laboratuvar sonuçları ile karşılaştırmıştır. Birleşik kesitli kanalda, taşkın yatağında kısmi batık bitki örtüsü yoğunluğu arttıkça akım taşkın yatağında daha da engellenmiştir. Bunun sonucunda yoğunluk artışı ile beraber ana yatakta taşınan debi miktarı yükselmiş, dolayısıyla daha yüksek hız değerleri elde edilmiştir. Birleşik kesitli kanalda, ana yataktan taşkın yatağına doğru ilerlerken deneysel hız ölçümleri ile Flow 3D yardımıyla hesaplanan hız değerleri arasında bazı farklılıklar gözlenmiştir. Bu fark özellikle yüksek yoğunluklu bitki örtüsü içeren kesitte kendini göstermiştir. Ana yatak ile taşkın yatağı arasındaki momentum transferinin bu farkın oluşmasında en büyük etken olabileceği düşünülmüştür [23].



Şekil 4.3. Kısmi batık taşkın yataklı açık kanalda yapay katı bitki modelleriyle yapılan çalışmadan bir kesit [21].

Koç [24], yine Dorcheh [21] tarafından kısmi batık bitkiler ile yapılan çalışmayı örnek olarak bir başka HAD programı olan ANSYS CFX programı ile sayısal olarak incelemiş ve sonuçları Dorcheh [21]'in laboratuvar sonuçları ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde, bitki yoğunluğu az ve tam batık olmayan bitki modellerinin sayısal incelemesinden alınan sonuçlar laboratuvar sonuçlarıyla uyum gösterirken, yoğunluğun fazla olduğu ve tam batık bitki modellerinin sayısal çözümlemesinden

alınan sonuçlar, Dorcheh [21]'in laboratuvar sonuçlarına göre bitki köklerinde daha düşük hızlar vermiş, buna karşılık su yüzeyine yakın kısımlarda daha yüksek hızlar elde edilmiştir. Farklı türbülans modelleriyle alınan çözümler sonucunda ise iki denklemlili ($k-\epsilon$) türbülans modelinin Dorcheh [21]'in laboratuvar çalışmasına en yakın sonuçları verdiği görülmüş olup, çözüm ağının çeşitlendirilmesiyle daha ayrıntılı sonuçlara ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır [24].

4.3. Askıda Bitki İle Yapılan Çalışmalar

Plew ve ark.[25] saha gözlemlerinde, tabakalı bir akım ile askıda canopy arasındaki etkileşimi analiz etmişlerdir. Veriler, bir midye tarlasının içinden ve çevresinden elde edilmiştir. Canopy'ler su akımına bölgesel tıkanma yapmakta, ve üst kısımda akım hızını azaltmaktadırlar. Güçlü tabakalaşma veya düşük hızlar, canopy'nin altındaki akımın düşey yönlü sapmasını önlediği için akım, canopy'nin etrafında yatay sapmayı tercih etmektedir. Düşey yönlü karışım üzerindeki etki, aynı zamanda canopy içindeki direnç sonucunda oluşan türbülans ve canopy altında oluşan kayma tabakası ile de dikkate alınır [25].

Askıda sulak alan (sucul) bitkileri, serbest su yüzeyinden aşağıya doğru uzanan ve taban ile bitki arasında boşluğun olduğu gözenekli bitkilerdir. Askıda canopy'ler, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan yapıları veya yüzen bitkileri içerir. Yüzen bitki ile, daha yaygın olarak bilinen tam batık bitki arasındaki en belirgin fark, askıda yüzen bitkinin altındaki sınır tabakası varlığının etkisidir [4].

Plew [4]'in askıdaki bitkilerin içinden geçen akımın ortalama sürüklenme katsayısının belirlenmesi hakkındaki çalışmasının amaçlarından biri, askıdaki bitki akımına taban sınır tabakasının etkisinin belirlenmesi ve daha önce yapılmış olan tam batmış bitki çalışmaları ile bu tabakanın davranışını karşılaştırmaktır. Çalışmada, rijit silindirlere yapılmış askıdaki bitkilerin altından ve içinden geçen akımın yönlerini araştıran laboratuvar deney verileri sunulmuştur. Deneylerde hem akustik doppler hem de 2 yönlü parçacık takipli hızölçer kullanılmıştır. Deneysel veri, kesme katmanının bitki içine nüfuzunun bitki ile taban sınır katmanı arasındaki mesafe tarafından sınırlandırıldığını göstermiştir. Ayrıca, hem yatak pürüzlülüğünü hem de bitki direncinin etkisini içeren bir sürtünme katsayısı için hesaplamalarda kullanılabilen bir analitik model geliştirilmiştir. Bu sürtünme katsayısı 2 boyutlu hidrodinamik modellemede kullanmak için uygundur. Model, bitkinin içindeki ve etrafındaki ortalama hızların hesaplanabilmesine izin verirken, bitki yoğunluğu ve kalınlığının hem toplam sürtünmeye hem de taban pürüzlülüğüne olan etkisini incelemek için

kullanılabilecektir. Askıdaki bitki altındaki serbest akımlı akım alanı katı taban ile sınırlandırılmış iken bitkinin üst tarafında serbest bir yüzeye sahiptir. Bu şekilde, çok gözenekli bitki modelleri hariç, taban pürüzlülüğünün kısmi batık ve tam batık bitkiler içeren akımlara küçük etkileri varken, askıdaki bitkilerin içindeki ve altındaki akım hızlarında önemli etkileri olmaktadır [4].

Huai ve ark. [2] tarafından askıda bitki içeren açık kanal akımlarında hız dağılımları araştırılmıştır. Açık kanal akımlarında askıda bitki, akımda gecikmeye sebep olmakta ve bunun neticesinde düşey hız dağılımında klasik logaritmik dağılımdan saplamalar meydana gelmektedir. Açık kanal içindeki askıda bitkinin hidrodinamik özelliklerini ve türbülans akımını daha iyi anlamak için kanal yatağından su yüzeyine doğru uzanan düşey yönde bölünmüş üç akım bölgesindeki (alt bitkisiz alan, orta bitkili alan, bitkili üst alan olmak üzere) hidrolik mekanizma incelenmiştir. Her kısım için momentum denklemlerinin matematiksel çözümüyle akım hızı elde edilmiştir. Bitkisiz kısımda ve iç bölgede kayma gerilmelerini belirlemek için karışım uzunluğu teorisi uygulanmış ve bazı parametreler, Plew [4]'in laboratuvar ölçüm verileri kullanılarak belirlenmiştir. Analitik ve deneysel olarak tahmin edilen akım hızlarının düşey dağılımları arasındaki uyum, üç katmanlı modelin hem güvenli hem de uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Sayısal simülasyon metoduyla kıyaslandığında analitik modelin kullanılmasının daha basit ve elverişli olduğu görülmüştür [2].

Koftis ve ark. [26], askıdaki bitkinin açık kanal akımı üzerindeki etkisini sayısal olarak çalışmıştır. Hız ortalaması, Reynolds ortalaması ve Navier Stokes denklemleri, Türbülans modeli Souliotis ve Prinos [35] tarafından modifiye edilen Ayotte ve ark. [36]'nın Reynold Stress Modeli (RSM) ile birlikte sayısal olarak çözülmüştür. Bitki yoğunluğunun etkisi her hacim biriminin ön alanında " α " parametresi tarafından tanımlanmıştır. 0,477'den 1,272'ye kadar değişen bitki yoğunluğu ile 0,125'ten 0,5'e kadar değişen hg/H relatif boşluk oranı çalışılmıştır. Sonuçlar Plew [4]'in deneysel ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Ortalama hız ve kesme kuvvetleri hem bitkili hem de bitkisiz hal için iyi uyum sağlamıştır. Bitki modeli altındaki hızlar bitki yoğunluğu azaldıkça artmaktadır. Ancak, bu durum bitki örtüsü içinde tam tersi şekilde gözlenmiştir. Sayısal ve deneysel kayma gerilmesi dağılımları bitki yoğunluğunun artışıyla artan ara yüzey kayma gerilmeleri ile tatmin edici şekilde uyum göstermiştir [26].

Zhu ve Zou [27], askıda ve askıda olmayan bitki örtüsü demetlerinden kaynaklanan dalga sönümlenmesi için 3 katmanlı bir analitik çözümün araştırılması hakkındaki çalışmalarında, askıda ve askıda olmayan bitki kaynaklı dalga sönümlenmesi için

genelleştirilmiş 3 katmanlı bir analitik çözüm geliştirmiştir. Analitik çözüm deniz tabanına bağlı bitki için [37]'den yararlanarak 2 katmanlı analitik çözüme indirgenir. Mevcut teori; askıda olan ve olmayan, batmış ve kısmi batmış bitkilerin saha gözlemleri ve laboratuvar deneyleri kullanılarak doğrulanmıştır.

Dalga sönümlenmesi; sürüklenme katsayısı, yaprak çapı ve uzunluğu, bitki demeti yoğunluğu ve uzunluğu, bitkinin alt kısmının yüksekliği ve olay dalga yüksekliği ile artmaktadır. Dalga frekansının ve su derinliğinin dalga sönümlenmesi üzerindeki etkileri daha karmaşıktır. Bu faktörler, esas olarak bitki demeti ile karşılaşan dalga akım hızını değiştirerek dalga sönümlenmesini etkiler. Sonuç olarak, bitkilerin düşey pozisyonunun dalga sönümlenmesi ve dalga frekansı arasındaki ilişkide önemli etkileri vardır [27].

Yılmaz ve ark. [28]'nin açık kanalda askıda bitki etkisindeki akımın yatay hız bileşeninin derinlik boyunca değişiminin incelenmesi hakkındaki çalışmasında, 181 adet 1cm çaplı silindirik çubuklar, 30cm çaplı ahşap bir kafaya sabitlenmiş ve su seviyesinden itibaren 15cm su içine girecek şekilde kanal üst tarafına monte edilmiştir. Membada bitkiden önce 4 nokta ve mansapta bitkiden sonra 7 nokta olmak üzere 11 farklı noktada ve 8 farklı derinlikte hız ölçümleri ADV (Akustik Doppler Hız Ölçer) kullanılarak elde edilmiştir. Deney sonuçları, askıda bitkinin akıma engel teşkil ederek akımın hızını etkilediğini göstermiştir. Taban yakınında da akım hızlarının taban sürtünmesine bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Akıma karşı bir engel vazifesi gören bitkinin yarattığı direnç ile bitki içinden geçen akım yavaşlamakta, bitki altına yönelen akım hızı ise kesit daralması ve direnç ile karşılaşarak azalan üst akım nedeniyle artmaktadır [28].

Askıdaki bitki akımı bozabilir ve böylece kütle taşınmasını etkiler. Asılı vejetatif akımlarda uzunlamasına yayılımın teorik olarak incelenmesi karmaşık olsa da, uzunlamasına yayılmayı etkileyen fiziksel faktörler iyi bilinmemektedir. Doğrusal dağılımın çalışıldığı kilit nokta, yanal difüzyon katsayısı ve zaman ortalamalı doğrusal hız dağılımını elde etmektir [29].

Liu ve ark. [29], askıdaki bitki içinden akımın doğrusal dağılımını tahmin edebilmek için bir Rastgele Deplasman Dağılımı (RDM) modelinin değerlendirilmesi hakkındaki çalışmalarında, askıda bitki içeren akımlarda, çözünmüş madde taşınmasını simüle etmek ve Rastgele Deplasman Modeli (RDM) ile birleştirmek için dört bölge hız profilini ve dört bölge türbülans difüzyon katsayısı profilini içeren bir dört bölge modeli önerilmiştir [29].

Bütün bölgede konsantrasyona odaklanan Eulerian Metoduna (EM) nazaran Langrange Metodu olarak ta adlandırılan Rastgele Deplasman Modeli (RDM) daha çok avantaja sahiptir [38,39]. EM sadece parçacıkların nerede yoğun olduğunu ortaya koyarken, RDM parçacıkların hareket ve konumlarını göstermektedir. EM metodunda, kaynağın ölçüğü daima mekânsal çözünürlükten çok daha azdır. Bu durum kaynak gösterimini zorlaştırır. Ancak, RDM metodunda böyle bir sorun yoktur. RDM hesaplama yöntemi olarak daha verimlidir. Çünkü parçacıkların daha yoğun olduğu bölgede parçacık konumunu belirlemede daha doğru sonuçlar verir [29].

Zhou ve Venayamoorthy [3]'in derin suda asılı bir silindirik bitki parçasının yakın alandaki ortalama akım dinamiğinin araştırılması hakkındaki çalışmasında, D toplu kütle çapı olan askıdaki silindirik bitki parçalarının zaman ortalamalı akım dinamikleri “Large Eddy Simülasyonu” (LES) kullanılarak araştırılmıştır. Model, düzensiz derin sudaki askıda bitki örtüsüne benzeyen, yüksekliği “h” çapı “d” olan dairesel katı silindirlerden kurulan “Nc” yoğunluğunda silindirlerden oluşturulmuştur ($H/h > 1$, H toplam akım derinliğidir). Model geometrisi ile lokal akım durumu (modele giren akımın 3 boyutlu yeniden dağılımı) ve genel akım sapması (akıntıya karşı rahatsız edilmemiş akımın akım içerisinde yeniden dağılımı) arasındaki ilişki tanımlanmıştır. Global akım sapmasının, hem model geometrik ölçülerine hem de bitki modeline yakın lokal akım tarafından belirlendiği tespit edilmiştir. Bitki modeline nüfuz eden akım kaybı monoton şekilde artar. Bitki demetinin altında ve etrafındaki akımın saptığı bölümler monoton olmayan davranış gösterirler[3].

Kıyı bitkileri akım boyunca, bitkinin içinde ve çevresindeki transfer süreçlerinde çok çeşitli ekosistem hizmetleri verir [30].

Chen, Liu ve Zou [30]'nun askıda ve batık bitkilerden kaynaklanan dalga kaynaklı akım hakkındaki çalışmasında, hidrostatik olmayan bir model olan SWASH modelinin kullanıldığı, bitki çevresindeki dalga tahrikli akım üzerinde askıdaki veya yüzen bitkinin etkisini araştırmak üzerine sayısal bir araştırma yürütülmüştür. SWASH tarafından oluşturulan model sonuçları, ilk olarak kısmi batık bitkinin deneysel ölçümleri ile doğrulanmış ve iki “Volume of Fluid” (VOF) tabanlı serbest yüzey akım modellerinden alınan tahminler ile karşılaştırılmıştır. Sonra, SWASH kullanılarak askıdaki ve yüzen bitkilerin dalga zayıflaması ve dikey ortalama akım yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Model sonuçları göstermiştir ki; askıdaki bir bitkinin üstünden kıyıya doğru, dalga ile aynı yönde güçlü bir dalga akımı oluşmaktadır. Bunun tersine, dalgaya zıt yönde askıdaki bir bitkinin tabanında denize doğru bir ortalama akım oluşmaktadır.

Mevcut çalışma; ilk deneme olarak, askıdaki bitkinin karşılıklı değişim ve partikül transferinde önemli bir rol oynayan fiziksel fenomenleri incelemiş ve ortaya çıkarmıştır. Bitkinin altında ve üstünde dalga kaynaklı akım maksimum büyüklükleri, kısmi batık bitkilerin gözlemlerinden çıkarılan yeni bir ampirik formülle tutarlı sonuçlar vermiştir. Ortalama akımın yanal yayılması sadece akım genişliğinin yarısına oturan bitkilerin 3D simülasyonu tarafından incelenmiştir. Sayısal sonuçlar göstermiştir ki; dalga tahrikli akım, bitki yan ara yüzünde katman benzeri geçiş bölgesi boyunca kanalın diğer parçasına doğru sıfıra indirgenen akım gücü ve bitki tarafından işgal edilen kanal parçası ile esas olarak sınırlıdır [30].

Tahmin edilen dalga sönümlenmesi, askıdaki ve kısmi batık bitkiler için oluşturulan 3 katmanlı analitik çözüm ile uyumlu olması ve bitki varlığı ile tedirgin edilmiş akım ve dalga sönümlenmesinde önemli bir rol oynayan bitkinin düşey konumunu belirtir. Dalga tahrikli akımın uzaysal dağılım desenleri (patrone), yatay salınımlı hızın, dikey yörünge gezisinin ve bitki yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak bitki ara yüzünde üretilen akım gücü görüşünü açık bir şekilde destekler [30].

5. LABORATUVAR ÇALIŞMASI

Deneysel çalışma, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında mevcut olan bir açık kanal sisteminin askıdaki bitki modellerinin açık kanal akımı üzerindeki etkisini incelenebileceği şekilde modifiye edilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

5.1. Kanal Yapısı

11 metre uzunluğunda ve 1,2 metre genişliğinde, tabanı beton, yan duvarları cam olan doğrusal dikdörtgen kesitli kanal düzeneğinde akım pompa vasıtasıyla su devir daimi yapılarak sağlanmıştır. Şekil 5.1’de açık kanal sistemi görülmektedir. Sistemde pompanın yarattığı çalkantıyı sönmölemek ve akımın düzenli olmasını sağlamak için kanalın memba ve mansabına 4 sıra olarak yerleştirilen delikli tuğlalarla duvar teşkil edilmiştir.



Şekil 5.1. Açık kanal laboratuvar düzeneği.

Bu çalışmada, ön deneyler gerçekleştirilerek debinin 45 lt/sn’de ve su seviyesinin de 30 cm de deney süresince sabit kalması sağlanmıştır.

5.2. Katı Bitki Modelleri

Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'te gösterilen 4 farklı yoğunlukta katı (rigid) bitki modeli, 30 cm çapındaki ahşap kontrplak başlık üzerine yoğunluklarına göre belli bir düzende açılan deliklere 1 cm çapında sert PVC boruların sabitlenmesi yöntemiyle hazırlanmıştır. Çok parçalı bitki modellerinde Çizelge 5.1 de verilen sırasıyla 44, 82, 323 bitki sapı kullanılarak bitki sapı kesit alanı üzerinden hesaplanan %5, %9 ve %36 yoğunluklarında 3 farklı parçalı bitki demeti ve pleksiglas kullanılarak oluşturulan tam dolu kesit %100 yoğunluğunda bitki modeli olmaz üzere toplam 4 adet bitki demeti üzerinde çalışmalar yürütülmüştür.

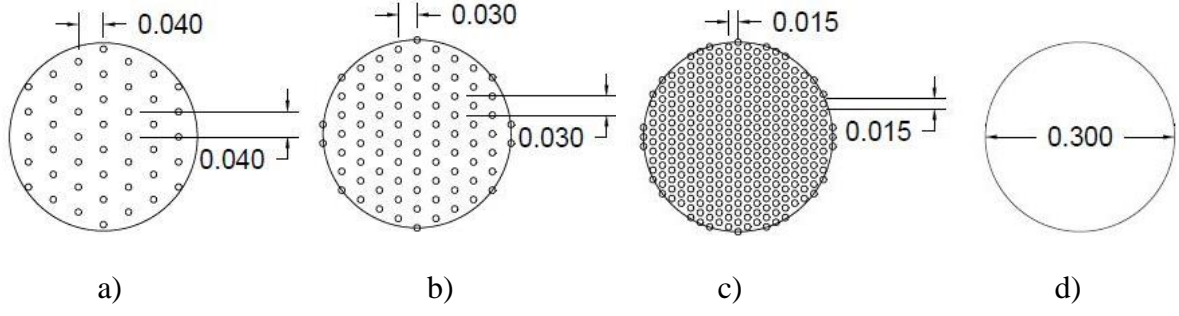
Bitki modeli yoğunlukları olarak ifade edilen SVF (Solid Volume Fraction), PVC boruların toplam alanının bitkilerin sabitlendiği dairesel ahşap başlık alanına oranı şeklinde Denklem (5.1)'deki gibi hesaplanmıştır. Burada; "H" toplam akım derinliği, "D" Ahşap başlık çapını, "d" bitki çapı, "n" toplam bitki sayısını ifade etmektedir. Çizelge 5.1.'de deneyde kullanılan bitki modeli yoğunlukları ve hidrodinamik şartları gösterilmektedir. U_{dm} , laboratuvarda boş kanalda okunan hızlardan kanal başlangıcından itibaren denklem (5.2) yardımıyla [28,31] hesaplanmış olup bu hız grafik çizimlerinin boyutsuz değerlere dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Ayrıca boş kanalda Reynolds sayısı $Re = (U_{dm}H)/\nu = 37500$ (ν , 20°C deki suyun kinematik viskozitesidir) ve Froude Sayısı $Fr = U_{dm}/(gH)^{1/2} = 0,073$ (g, yer çekimi ivmesidir) ortalama akım hızı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Bitki modeli yoğunlukları tablosu.

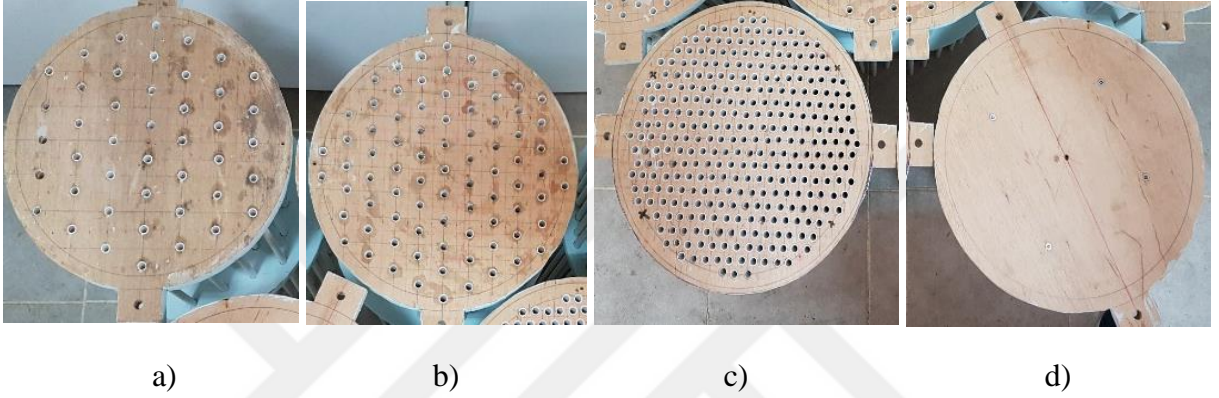
n bitki adedi	D Kontrplak çapı (m)	d bitki çapı (m)	SVF Yoğunluk	H Su derinliği (m)	h_v Bitkinin su içine giren kısmı (m)	h_v/H	U_{dm} Ortalama Akım Hızı (cm/s)	Re	Fr
-	-	-	-				12,5	37500	0,073
44	0,30	0,01	%5	0,30	0,15	0,5			
82	0,30	0,01	%9						
323	0,30	0,01	%36						
1	0,30	0,30	%100						

$$SVF = \frac{\left(n \frac{\pi d^2}{4} \right)}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{n \cdot d^2}{D^2} \quad (5.1)$$

$$U_{dm} = \frac{\int_0^z U(z) z dz}{\int_0^z z dz} \quad (5.2)$$

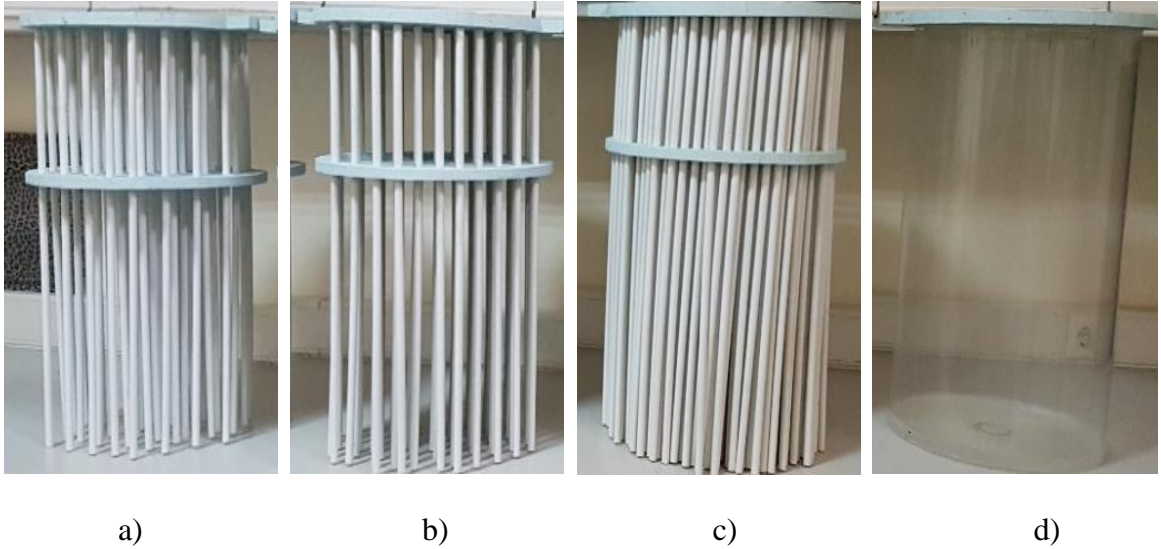


Şekil 5.2. Bitki Modelleri Detay Ölçüleri (Ölçüler metre olarak verilmiştir.)
a)SVF₁=%5, b) SVF₂=%9, c) SVF₃=%36, d)SVF₄=%100



Şekil 5.3. Farklı yoğunluklardaki Bitki modelleri.

a)SVF₁=%5, b)SVF₂=%9, c)SVF₃=%36, d)SVF₄=%100



Şekil 5.4 Bitki modelleri yan görünüşü.

a)SVF₁=%5, b)SVF₂=%9, c) SVF₃=%36, d)SVF₄=%100

Bitki modellerinin çizimleri öncelikle bilgisayar ortamında yapılmış ve çizimlerden alınan şablonlar kullanılarak 2cm kalınlığında kontrplak üzerinde işlenmiştir (Şekil 5.3). İşaretlemeden sonra matkap yardımıyla açılan deliklerden 1 cm çapındaki PVC borular geçirilip sabitlenerek Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 'te gösterilen bitki modelleri oluşturulmuştur.

5.3. Hız Ölçüm Aleti ve Akım Hızının Okunması

Laboratuvar deneylerinde, SONTEK – Akustik Doppler Hız Ölçer (Acoustic Doppler Velocity Meter (ADV)) kullanılmıştır. ADV cihazında bulunan ultrasonik sensör yüksek frekanstaki sesi, boru duvarlarından geçirerek sıvıya gönderir. Sıvıda bulunan gaz kabarcıkları ve partiküllerden yansıyan ses dalgalarının frekansı değişir. Bu frekans değişimine doppler denir [33].



a)

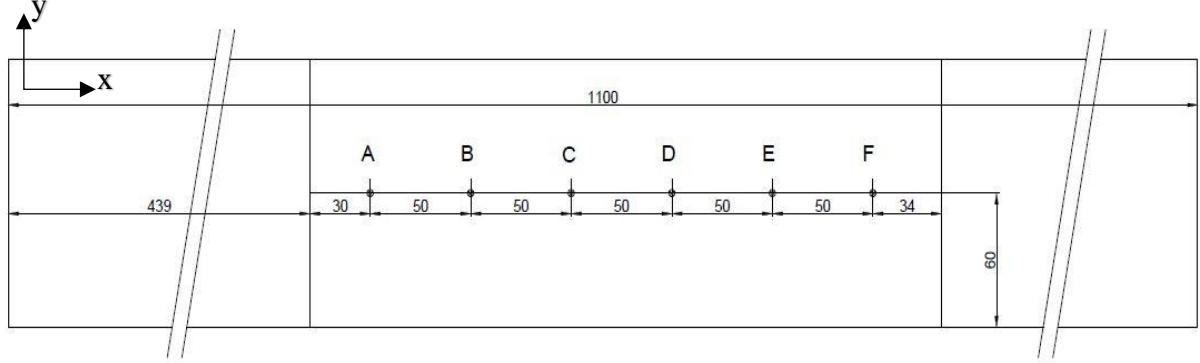
b)

c)

Şekil 5.5. a) Tam dolu kesitli bitki modelinde mebadan ADV cihazıyla hız ölçümü. b) Tam dolu kesitli bitki modelinde mebadan ADV cihazıyla hız ölçümü. c) SVF=%9 yoğunluklu bitki modeliyle akım sırasında mebadan ADV cihazıyla hız ölçümü.

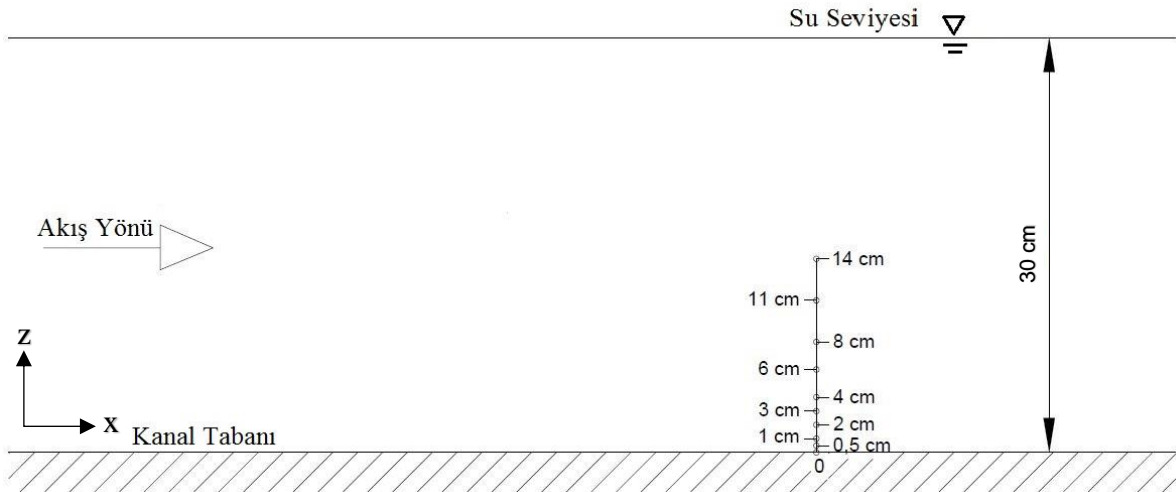
Ultrasonik sensör, iletilen frekans ile gelen frekans arasındaki değişimleri ölçerek akım içindeki partiküllerin ve hava kabarcıklarının hızlarını ölçebilmektedir. ADV hız ölçer, Partikül hızı ile akım hızının aynı olduğu prensibine dayanarak yüksek doğrulukta hız okuyabilen ve bir çok alanda kullanılabilen bir cihazdır [33].

Boş kanalda akımın başlamasının ardından bir süre pompaların yarattığı çalkantının sönümlenmesi beklenmiştir. Ardından, 45 lt/sn debi ve su derinliği 30 cm olarak sabitlendikten sonra, Şekil 5.6’da gösterilen noktalardan ve tabandan itibaren sırasıyla 0,5cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 6cm, 8cm, 11cm, 14cm derinliklerden (Şekil 5.7.) ADV cihazı ile her nokta için 120 saniye boyunca yaklaşık 3000 veri ile hız okuması yapılarak akımın üniform olduğu görülmüştür.



Şekil 5.6. Boş kanalda hız okuması yapılan noktalar (Ölçüler cm olarak verilmiştir).

Sınır koşullarda tabandaki beton yüzeyinde akım hızı sıfırdır. Sınır tabaka içinde akım hızı, logaritmik yasaya uygun bir şekilde hızla artar ve kanal ortalama hızını yakalayınca doğrusal bir grafik izler.



Şekil 5.7. Boş kanalda hız okuma derinlikleri.

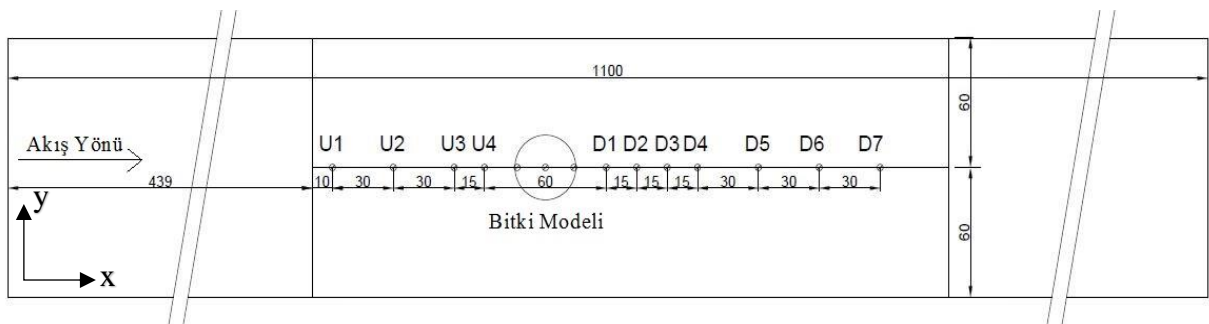
Boş kanalda yapılan akım deneyi sırasında akım hızı grafiklerinin daha detaylı çizilebilmesi için ADV cihazıyla yapılan hız okumaları taban betonuna yakın tabakalarda daha sık aralıklarla yapılmış olup, Logaritmik yasaya göre akım hızındaki artışın oldukça azaldığı ve

“hız-tabandan yükseklik” grafiklerinin doğruya yakınsadığından üst tabakalarda daha geniş aralıklarda ölçümler yapılmıştır.



Şekil 5.8. Açık kanal düzeneği su derinliği ölçümü.

Bitki modelli kanal düzeneğinden ise her bir bitki modeli için Şekil 5.9’da gösterilen 11 nokta ile ve Şekil 5.10’da gösterilen derinliklerden ADV cihazı ile hız okumaları yapılmış ve sonuçlar kaydedilerek 8. bölümde bilgisayar modelinden alınan sonuçlar ile birlikte değerlendirilmiştir.

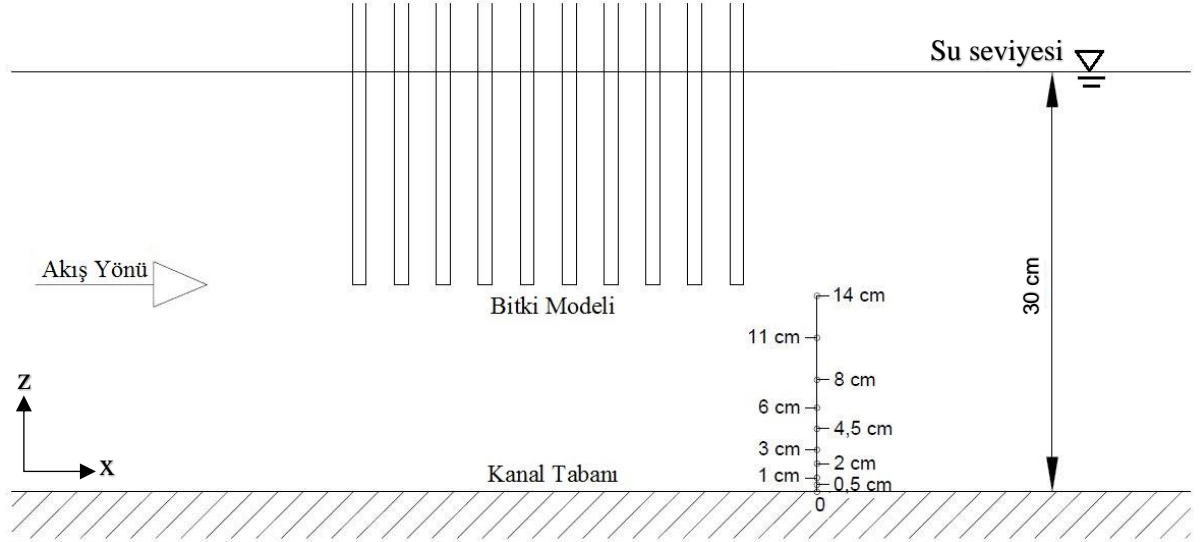


Şekil 5.9. Bitkili durumda hız okuması yapılan noktalar (Ölçüler cm olarak verilmiştir).

Bitkili durumda da boş kanalda olduğu gibi kanal tabanında sınır koşulların varlığından dolayı, logaritmik yasaya uygun ve doğru bir grafik oluşturmak amacıyla taban betonuna yakın tabakalarda hız ölçümü daha sık aralıklarda (0,5 cm – 1 cm) yapılmış, üst tabakalarda tabandan

yükseklığe bağı olarak hız değişimleri oldukça düşük olduğu için hız okuma aralıkları arttırılmıştır.

5 farklı yoğunluktaki bitki modelinin her birinde Şekil 5.9’da belirtilen 11 noktada ve bu noktalarda Şekil 5.10. da verilen yüksekliklerde hız ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.10. Bitkili durum hız okuma derinlikleri.

6. FLOW 3D PROGRAM YAPISI

Santa Fe, New Mexico USA merkezli FlowScience, 1980 yılında Los Alamos National'da çalışırken sonlu hacimler metoduna öncülük etmek amacıyla Dr. C.W.(Tony)Hirt tarafından kurulmuştur. Flow 3D bu çalışmanın doğrudan bir ürünüdür. Dr. C.W.(Tony)Hirt zamanla kullanıcılarında katkılarıyla programın kapsamı ve doğruluğunu oldukça geliştirmiştir [32].

Flow 3D Programı, laboratuvar ortamı dışında karşılaşılan, büyük ölçekli ve geniş kapsamlı akım problemlerine, sonlu hacimler metodu ve özel geliştirilmiş sayısal teknikleri kullanarak üç boyutlu çözümler üretebilen genel amaçlı bir Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (HAD/CFD) programıdır.

Tipik olarak sayısal bir model çözüm ağı ile başlar. Çözüm ağları, birbirine bağlı birçok eleman veya hücreden oluşur. Bu hücreler fiziksel alanı bu tür birimlerle ilişkili düğüm noktaları ile küçük hacimlere böler. Düğümler; basınç, sıcaklık ve hız gibi bilinmeyenleri saklamak için kullanılır. Çözüm ağı, etkili bir şekilde orijinal fiziksel alanın yerini alan sayısal bir alan olup, akım parametrelerini düğüm noktalarında tanımlamak, sınır koşullarını ayarlamak ve akışkan hareket denklemlerinin sayısal yaklaşımlarını geliştirmek için araçlar sağlar[34].

6.1. Hareket Denklemleri

6.1.1. Kütle Korunumu Denklemi

Genel Kütle Süreklilik Denklemi [34];

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho u A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (6.1)$$

Burada ;

V_F , akıma açık hacimsel oran

ρ , akışkan yoğunluğu

R_{DIF} , türbülans difüzyon terimi

R_{SOR} , kütle kaynağıdır.

6.1.2. Momentum Denklemi

Bazı ilave terimler ile birlikte akışkanın üç boyuttaki hız bileşenlerini içeren (u, v, w) Navier – Stokes Denklemleri [34];

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} \\
 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\
 \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y u v}{x V_F} \\
 = -\frac{1}{\rho} R \frac{\partial p}{\partial x} + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\
 \\
 \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \\
 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \quad (6.2)
 \end{aligned}$$

Bu denklemde ;

(G_x, G_y, G_z) cisim ivmelerini,

(f_x, f_y, f_z) viskoz ivmeleri,

(b_x, b_y, b_z) gözenekli ortamdaki akım kaybını ifade etmektedir.

Denklem 6.2’de yer alan $U_w = (u_w, v_w, w_w)$ ifadesi, genel hareketli nesnede kütle kaynağı için genellikle sıfır olmayan kaynak bileşeninin hızıdır.

$U_s = (u_s, v_s, w_s)$ ifadesi, kaynağın kendisine göre kaynağının yüzeydeki akışkanın hızıdır. U_s denklem 6.3’de verildiği şekilde hesaplanır [34].

$$U_s = \frac{dQ}{\rho Q dA} n \quad (6.3)$$

Burada;

dQ , kütle akım hızı,

ρQ , akışkan kaynak yoğunluğu,

dA , hücredeki kaynak yüzeyinin alanı,

n, dışa doğru yüzeye olan normali.

Denklem 6.2’de, d=0 olduğunda kaynak durgun basınç tipindedir. d=1 olduğunda ise statik basınç durumundadır [34].

6.1.3. Enerji Denklemi

Flow 3D programında, sıkıştırılabilir ve termal akım problemlerinde kullanılan iç enerji bağıntısı denklem 6.4’de verildiği şekildedir [34].

$$\begin{aligned} V_F \frac{\partial}{\partial t} (\rho I) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho I u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho I v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho I w A_z) + \xi \frac{\rho I u A_x}{x} \\ = -p \left\{ \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \xi \frac{u A_x}{x} \right\} + R I_{DIF} + T_{DIF} + R I_{SOR} \end{aligned} \quad (6.4)$$

I : İki Akışkan problemleri için makroskobik karışımın iç enerjisidir.

$$\rho I = F \rho_1 I_1 + (1 - F) \rho_2 I_2 \quad (6.5)$$

F: Akışkan 1 ve 2’nin hacim oranıdır, akışkan 1 veya akışkan 2 ile ilgili miktarları gösterir [34].

6.2. Sonlu Hacimler Metodu

Sonlu hacimler yöntemi, akım sistemindeki kısmi diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemler yardımıyla çözülmesidir. Sonlu hacimler yönteminde kısmi diferansiyel denklemlerde sapma terimini içeren hacim integralleri, sapma teoremi ile yüzey integrale dönüştürülmektedir. Elde edilen bu terimler her sonlu hacmin yüzey akımı olarak değerlendirilmektedir. Sonlu hacimler metodu genellikle hesaplamalı akışkanlar mekaniği problemlerinde kullanılmaktadır.

Akım problemlerini çözmek için her zaman sayısal bir yönteme ihtiyaç vardır. Flow 3D programı bu anlamda “ kademeli sonlu hacimler” metodunu kullanmaktadır [34].

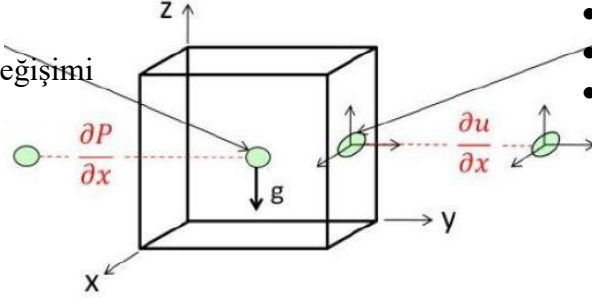
Bu yöntemin en önemli özellikleri;

- Hız ve basınç farklı koordinatlarda hesaplanır,
- Skaler büyüklükler (basınç, sıcaklık) hücre merkezlerinde tanımlanır,

- Vektörler ve tensörler (hız, kayma gerilmesi) hücre yüzeyinde tanımlanır (Şekil6.1).

Hücre Merkezi

- Basınç
- Sıcaklık
- Akışkan hacmi değişimi
- Cisim kuvvetleri



Hücre Yüzeyleri

- Hızlar u, v, w
- Gerilme tensörü
- Açık alan değişimi

Şekil 6.1. Sonlu hacim bileşenleri [34].

7. SAYISAL MODEL ÇALIŞMALARI

Flow 3D programında model ayarları 6 temel kısım altında toplanmaktadır. Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmanın benzeri bilgisayar ortamında modellenirken, bu temel kısımlar sırasıyla takip edilerek sayısal bir model oluşturulmuştur.

7.1. Simülasyon Genel Özelliklerinin Tanımlanması

Flow 3D programında öncelikle bir çalışma kitabı oluşturulmuştur. Bu çalışma kitabının altında da bir simülasyon oluşturulup, yapılacak olan çalışmanın dizini bilgisayardaki bir klasör seçilerek belirlenmiştir. “Model Setup” sekmesi altında açılan “General” sekmesinden simülasyon tamamlanma süresi (Finish time), akışkan sayısı, akımın sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz olduğu, birim sistemi gibi özellikler Şekil 7.1.’de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

Finish time s Additional finish condition Restart

Version options
 Use defaults
 Prompt when queued

Mentor options
 No mentor help
 Offer suggestions

Interface tracking
 Free surface or sharp interface
 No sharp interface

Number of fluids
 One fluid
 Two fluids

Flow mode
 Incompressible / Limited compressibility
 Compressible
 Steady-state accelerator
(Non-physical transients)

Units
Simulation units
SI
Temperature unit
Celsius

Şekil 7.1. Flow 3D model setup altında genel özelliklerin tanımlandığı kısım

7.2. Simülasyonda Kullanılacak Fizik Yasalarının Belirlenmesi

“General” sekmesinin yanında konumlanmış olan “Physics” sekmesi altında simülasyonda uyulması gereken fizik yasaları sıralanmış olup, serbest yüzeyli açık kanal

akımlarında gerekli olan yerçekimi ivmesi, “Gravity and Non-Inertial Reference Frame” sekmesinden Z yönünde $-9,80665 \text{ m/s}^2$ olarak (Şekil 7.2.) tanımlanmıştır.

Activate gravity
 Gravity components
 X component: 0 m/s²
 Y component: 0 m/s²
 Z component: -9,80665 m/s²

Şekil 7.2. Flow 3D, Model Setup, Physics altında yerçekimi ivmesinin tanımlandığı kısım

Bitki modeli ve açık kanaldaki sınır koşulların varlığıyla viskoz kuvvetlerin devreye girerek akım içerisinde hız gradyanları oluşturacağı ve bitki modelinin yakınlarda türbülans yaratacağı bilindiğinden dolayı, “Viscosity and Turbulence” sekmesinden viskoz akım seçilerek türbülans özellikleri aktif hale getirilmiştir. Flow 3D programının kullanıcılarına sunduğu “Prandtl mixing length”, “One equation”, “Two equation (k-ε) model”, “Renormalized group (RNG) model”, “Two equation (k-ω) model”, “Large eddy simulation model” olmak üzere 6 farklı türbülans modeli bulunmaktadır (Şekil 7.2). Bu modellerden en basit olanı “Prandtl mixing length” olmakla beraber bu çalışma sırasında hem boş kanalda hem de bitkili kanalda farklı türbülans modelleriyle sayısız çözüm alınarak laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırılmış, en uygun ve stabil sonuçların “Renormalized group (RNG) model” ile alındığı görülmüştür. Bu sebeple nihai çözümde RNG türbülans modeli seçilmiş ve maksimum türbülans karışım boyu için sabit değer yerine dinamik hesabın kullanılması tercih edilmiştir.

One-equation türbülans transfer modeli akım içindeki türbülans hızı dalgalanmaları ile ilişkili olan özel kinetik enerji için bir transfer denklemi içerir.

$$k_T = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (7.1)$$

Burada, u', v', w' kaotik türbülans dalgalanmaları ile ilişkili akım hızının x,y,z bileşenleridir.

Türbülans kinetik enerjisi ile ilgili one-equation modelinden türbülans enerjisi dağılım oranı ϵ_T :

$$\epsilon_T = CNU^3 \frac{k_T^3}{TLEN} \quad (7.2)$$

Burada;

CNU : 0,09 düzeyinde bir parametre,

k_T : türbülans kinetik enerjisi,

TLEN : türbülans uzunluğu oranı.

Kinetik enerji ve kinetik enerji dağılımı için iki denklemden oluşan “Two equation (k- ϵ)” olarak isimlendirilen model daha sofistike ve daha sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca bu model Denklem 7.2'nin kullanım ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. “Two equation (k- ϵ)” türbülans modelinin bir çok akım tipine makul değerler sağladığı görülmüştür. Bu modelde türbülans dağılımı için bir transfer denklemi çözülmüştür.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon_T}{\partial T} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \epsilon_T}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial \epsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \epsilon_T}{\partial z} \right\} \\ = \frac{CDIS1 \cdot \epsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G_T) + Diff_\epsilon - CDIS2 \frac{\epsilon_T^2}{k_T} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Burada, CDIS1, CDIS2 ve CDIS3 kullanıcı ayarlı boyutsuz parametrelerdir ve “Two equation (k- ϵ)” türbülans modelinde ön ayarlı olarak sırasıyla; 1,44 – 1,92 ve 0,2 değerleri tanımlanmıştır. Akım alanının çoğunda Denklem 7.2 Denklem 7.3 ile değiştirilerek etki alanı genelinde bir TLEN (maksimum türbülans uzunluğu oranı) değerine duyulan ihtiyacı azaltılır [34].

Türbülans dağılımının yayılması, $Diff_\epsilon$:

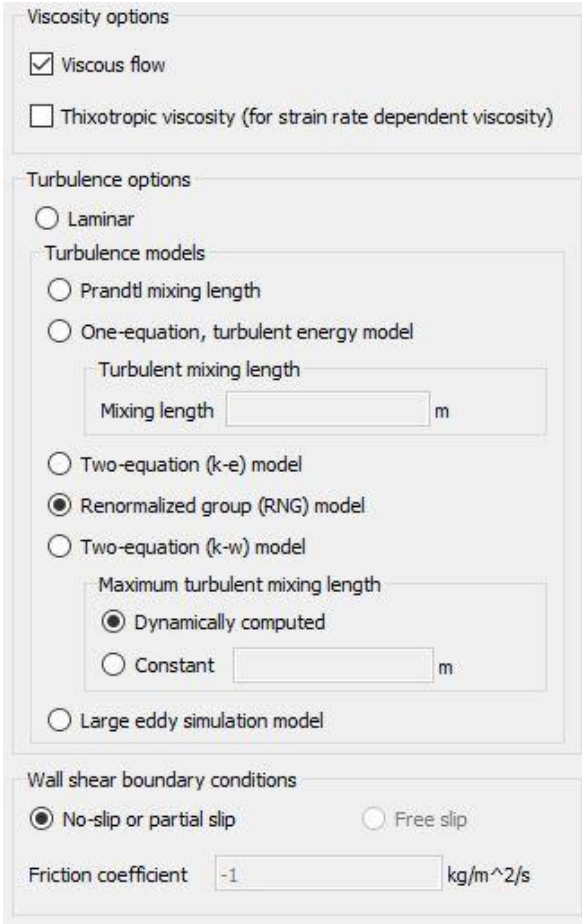
$$Diff_\epsilon = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_\epsilon A_x \frac{\partial \epsilon_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(v_\epsilon A_y R \frac{\partial \epsilon_T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_\epsilon A_z \frac{\partial \epsilon_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_\epsilon A_x \epsilon_T}{x} \right\} \quad (7.4)$$

Bir başka türbülans modeli RNG (Renormalization Group) metodudur. Bu yaklaşım, türbülanslı kinetik enerji ve bunun dağılımı hızı gibi türbülans büyüklükleri için ortalama denklemin türetilmesine istatistiksel yöntemleri uygular. RNG türbülans modeli, “Two equation (k- ϵ)” türbülans modelinin denklemlerine benzer denklemleri kullanır. Özellikle, RNG modelinin düşük yoğunluklu türbülanslı akımları ve güçlü kayma bölgelerine sahip olan akımları daha doğru bir şekilde tarif ettiği bilinmektedir [34].

Tüm türbülans modellerinde “kinematik türbülans viskozitesi” (ν_T) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$v_T = CNU \frac{k_T^2}{\epsilon_T} \quad (7.5)$$

Yukarıdaki modellerin her biri farklı karmaşıklık düzeylerinde bir dizi güç sunar. İki denklemlili “Two equation (k-w)” türbülans modeli istisna değildir. Bu modelin, belirli akım koşullarında, özellikle duvar kenarlarına yakın ve akım yönündeki jet benzeri basınç gradyenlerinde “Two equation (k-ε)” ya da RNG modellerine göre bazı üstünlükleri vardır [34].



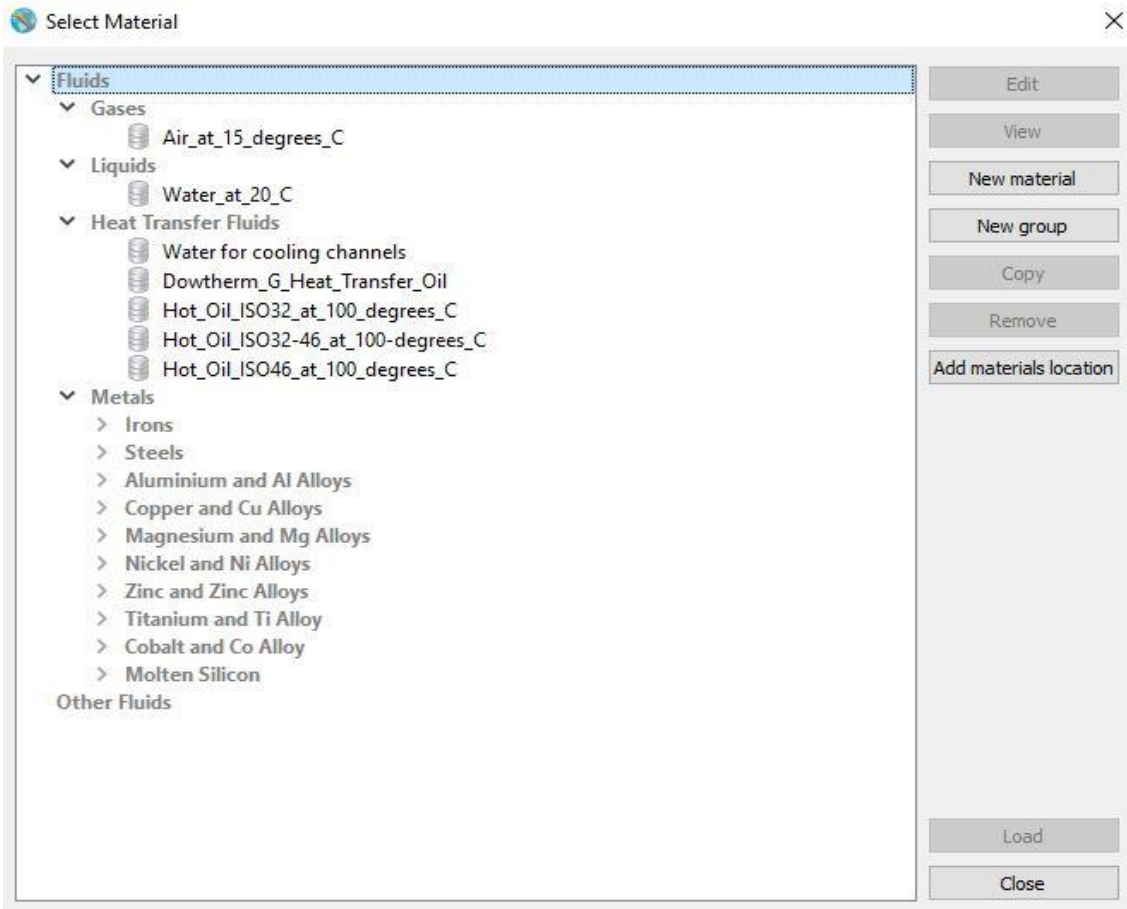
Şekil 7.3. Flow 3D, Model Setup, Physics altında türbülans modelinin seçildiği kısım.

Oldukça basit bir model olan “Prandtl Mixing Length” modeli, akışkan viskozitesinin, katı sınıra yakın yüksek kesme bölgelerindeki türbülans karışım süreçleri tarafından geliştirildiğini varsayar. Fakat bu model tam gelişmiş kararlı akımlarda gerçekten tek başına yeterli olmamaktadır. Daha genel olarak bu model bazı transfer süreçleri için (örneğin, konveksiyon ve dağılım) türbülans yoğunluğunun uzay ve zaman dağılımlarını daha iyi tahmin eder [34].

Large Eddy Türbülans modeli atmosferik modelleme çabalarından ortaya çıktı. Bu türbülans modelinde temel fikir, hesaplamalı ızgara ile çözülebilen tüm türbülanslı akım yapılarını doğrudan hesaplamak ve yalnızca çözümleyecek kadar küçük olan özellikleri yaklaşık olarak hesaplamak olmalıdır.

7.3. Akışkanın Tanımlanması

Flow 3D programı “Fluid” sekmesi altında programın kütüphanesinde 20°C sıcaklıktaki suyun yanında 15°C deki hava, 100 °C deki yağ ve döküm simülasyonlarında kullanılmak üzere bir çok metal alaşımının sıvı hallerinin karakteristik özellikleri tanımlanmıştır. Simülasyon için sunulan kütüphaneden 20°C sıcaklıktaki su seçilmiştir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Flow 3D, Model Setup, Fluid altında sunulan materyal kütüphanesi.

7.4. Simülasyon Modelinin Oluşturulması

Akımın düzenleneceği 11m x 1,2m x 0,75m boyutlarındaki kanal yapısı deney düzeneğine uygun olarak Flow 3D programının sağladığı “Geometry” arayüzü (Şekil 7.5) üzerinden “box” yapısı ile oluşturulmuştur. Yine yüzey pürüzlülüğü olarak laboratuvar

ortamına uygun olabilmesi için kanal yapısının yan duvarları ve tabanı farklı pürüzlülük değerlerinin tanımlanabilmesi için ayrı yapılar olarak tanımlanmıştır. Yan duvarlar laboratuvar çalışmasında cam olduğu için bilgisayar simülasyonunda pürüzlülük değeri olarak 0,0001 metre; taban kaplaması olarak ise beton kullanıldığı için simülasyonda pürüzlülük değeri 0,001 metre olarak tanımlanmıştır. Bu değerler Flow 3D User Manual [34]'te sayfa 593'te verilen denklem 7.6 ile literatürde sıklıkla kullanılan manning değerlerinden SI birim sistemine dönüştürülerek bulunan pürüzlülük değerleridir.

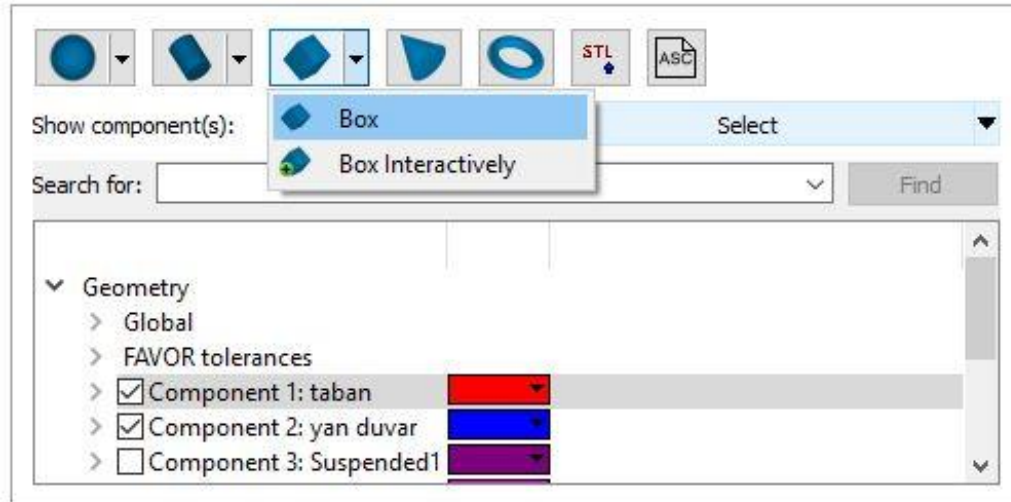
$$k \cong 3,72067D_h \exp\left(\frac{-0,103252D_h^{\frac{1}{6}}}{n}\right) \quad (7.6)$$

Burada;

n : manning katsayısı

D_h :Hidrolik Çap

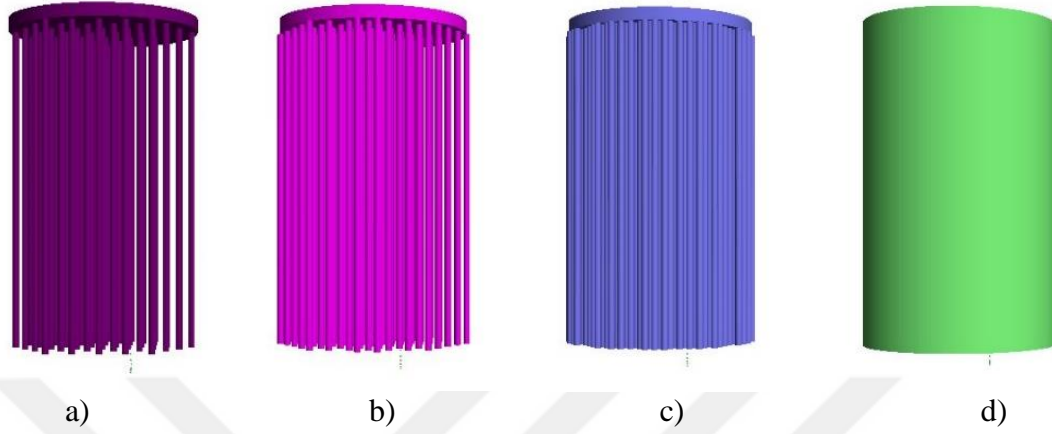
k : yüzey pürüzlülük değeri (metre)



Şekil 7.5. Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry altında geometri oluşturma arayüzü.

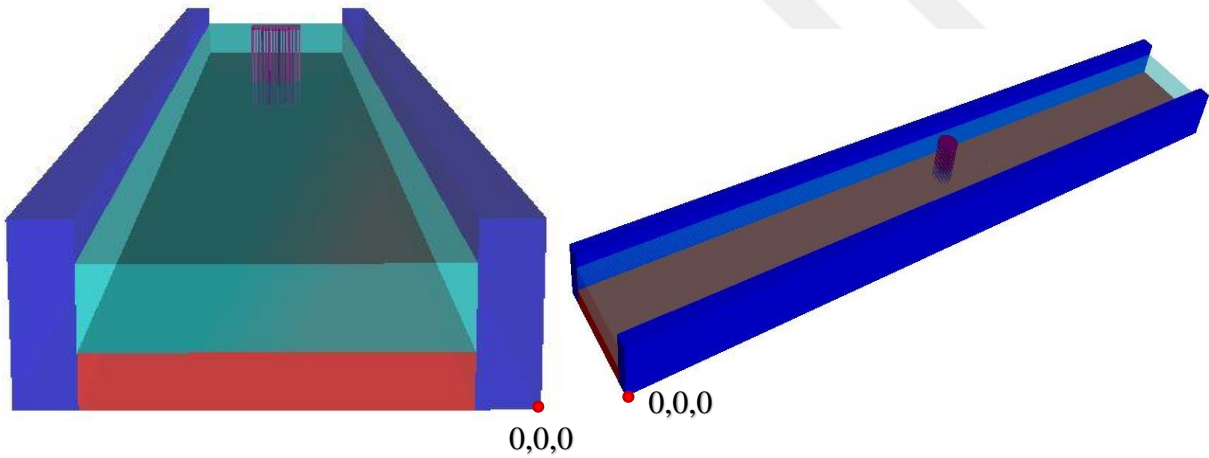
Bitki modelleri, laboratuvar ortamında tasarlanan modellere uygun olarak, Autocad programında hazırlanmış ve STL dosyası olarak kaydedilip, Flow 3D programında yine “Geometry” penceresinde yer alan STL upload butonu (Şekil 7.5) ile çağırılmıştır. Burada önemli olan nokta, hazırlanan çizimlerde Flow 3D programında belirlenen 0,0,0 orijin noktasına göre hangi konumda yer alacaksa autocad ortamında da aynı noktada konumlandırılmış olmalıdır.

Simülasyonda, akımın daha kısa sürede kararlı akıma geçebilmesi için $t=0$ anında 30 cm durgun su kütlesi tanımlanmıştır (Şekil 7.7).



Şekil 7.6 Farklı yoğunluklardaki bitki modelleri.

a)SVF₁=%5, b)SVF₂=%9, c) SVF₃=%36, d)SVF₄=%100

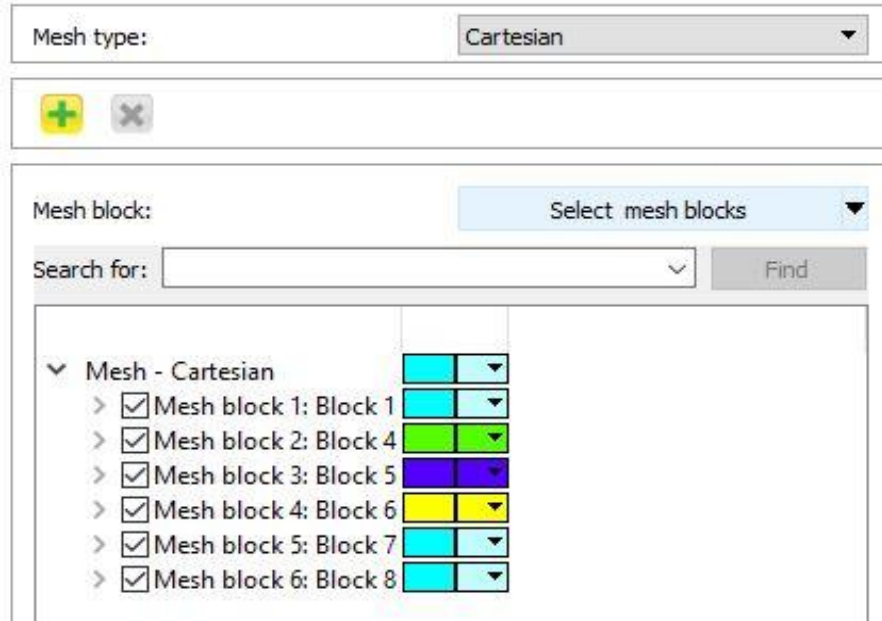


Şekil 7.7 Flow 3D programında oluşturulan sayısal model perspektif görünüşü.

7.5. Simülasyon Çözüm Ağının (Mesh) Tanımlanması

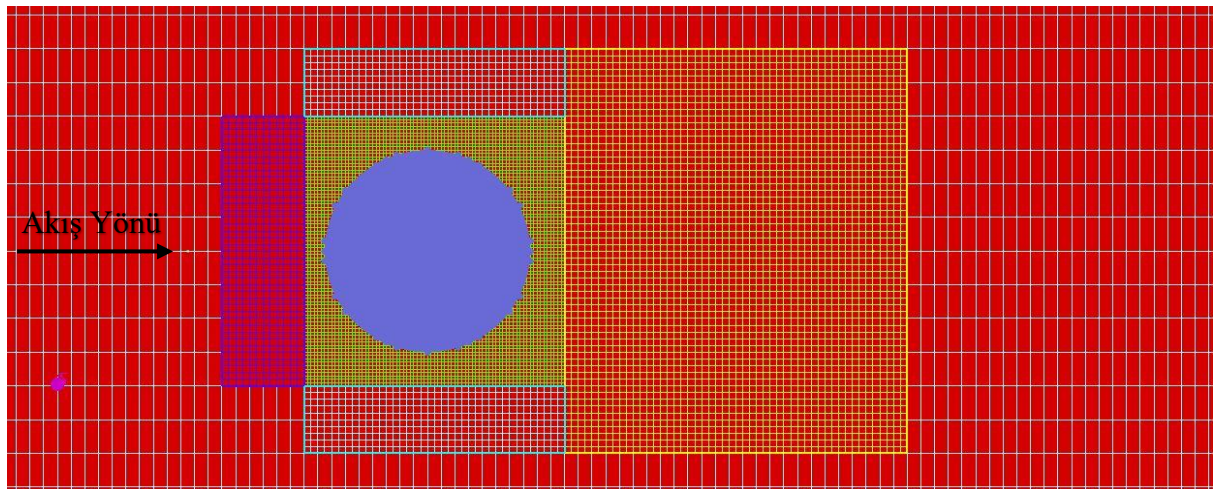
Simülasyon çözüm ağının doğru şekilde tanımlanması, alınacak çözümün güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Mesh çizgilerinin katı sınırlara ve komşu mesh çizgilerine tam denk gelecek şekilde konumlandırılması, sonlu hacimler metodunda akım parametrelerinin düğüm noktalarından bir sonraki düğüm noktasına doğru şekilde aktarılabilmesi açısından son

derece önemlidir. Çözüm ağlarının tanımlanması programın sağladığı ara yüz üzerinden kolaylıkla tanımlanıp (Şekil 7.8), sonrasında düzenlenebilmektedir.



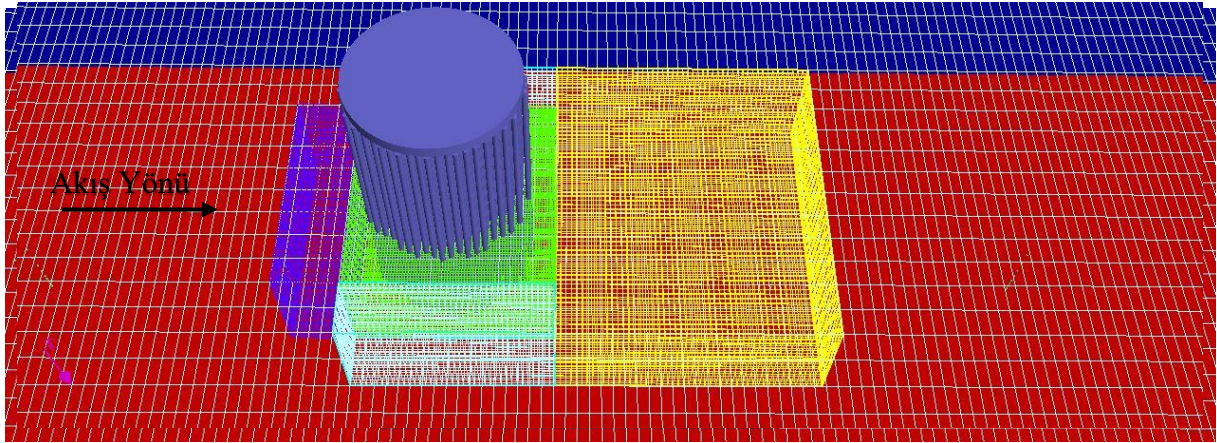
Şekil 7.8. Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry altında “Mesh Operations” arayüzü.

Bitki modellerinin program tarafından daha detaylı algılanabilmesi, türbülanslı bölgelerde hız dağılımlarının detaylandırılması ve aynı zamanda çözümün daha stabil ve hızlı olabilmesi için farklı mesh düzenlerinde ve farklı türbülans modellerinde çok sayıda deneme çözümleri yapılmıştır. Sonuç olarak en optimum mesh düzeni Şekil 7.9’da verildiği gibi iç içe çoklu mesh sistemi şeklinde tanımlanmıştır.



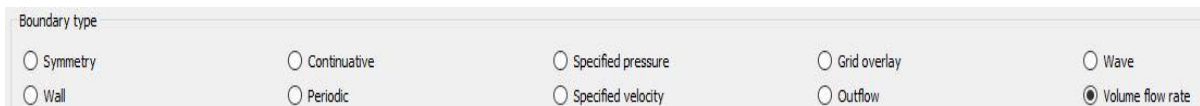
Şekil 7.9. Sayısal model çözüm ağı (mesh) plandan görünüş 1.

Mesh 1, laboratuvar düzeneğinde ölçüm yapılan 11 noktayı, bitki modelini ve diğer mesh sistemlerini kapsayacak şekilde kanalın başlangıç noktasından 4 ile 8 metre arasında konumlandırılmış olup, iç ölçüleri 4cm x 1cm x 1cm olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 7.9. ve Şekil 7.10). Mesh 2, 1 cm çapındaki bitki demetlerinin tanımlanabilmesi için sadece bitki modelinin akım içindeki kısmını kapsayacak şekilde konumlandırılmış ve iç ölçüleri 0,5 cm x 0,5cm x 0,5cm olarak boyutlandırılmıştır. Mesh 3, mesh 4, mesh 5 ve mesh 6 bitki modelinin membası, mansabı ve iki yanındaki hız geçişlerinin daha iyi hesaplanabilmesi için sadece bu geçiş bölgelerinde konumlandırılmış ve iç ölçüleri 1cm x 1cm x 1cm olarak boyutlandırılmıştır.



Şekil 7.10. Sayısal model çözüm ağı (mesh) görünüş 2.

Oluşturulan bu çözüm ağlarına sınır koşulların (Boundary Layers) tanımlanması gerekmektedir. Programın sağladığı “Boundary Type” ara yüzü (Şekil 7.11) ile sunulan 10 farklı sınır tipinden uygun olan seçilerek sınır koşullar belirlenebilmektedir.



Şekil 7.11. Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry, Boundary Conditions altında Boundary Types.

Mesh 1, sistemin ana çözüm ağı olduğu için akımın giriş (Volume flow rate) ve çıkış şartları bu ağ üzerinden tanımlanmıştır. Mesh 1 çözüm ağında, Xmin “volume flow rate” altında verilen arayüzle X üzerinde pozitif yönde laboratuvar çalışmasında olduğu gibi 45 lt/sn lik debi tanımlanmış ve aynı zamanda su seviyesinin sabit kalması için taban plağı kalınlığı da (0,2 m) ilave edilerek su kotu 0,5 m olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.12).

Mesh 1 çözüm ağının Xmax sınır koşulu içinde aynı şekilde, “Specified pressure” altında sadece sabit su seviyesi yine taban plağı kalınlığı 0,2 m ilave edilerek su kotu (Fluid elevation) 0,5 m olarak tanımlanmıştır.

The image shows two screenshots of the software interface. The top screenshot is titled "Volume flow rate must be positive" and contains a checkbox for "Volume flow rate" which is unchecked. Next to it is a text input field containing "0,045" and a unit label "m^3/s". Below this are three input fields for "X flow direction vector:", "Y flow direction vector:", and "Z flow direction vector:", all of which are empty. The bottom screenshot shows a dropdown menu set to "Use fluid elevation". Below it are three options: "Fluid fraction" with a checkbox and a value of "1", "Fluid elevation" with a checked checkbox and a value of "0,5" and unit "m", and "Rating Curve" with a checked checkbox and unit "m".

Şekil 7.12. Flow 3D, Model Setup, Mesh and Geometry, Boundary Conditions, Boundary Types altında Volume Flow Rate ara yüzü.

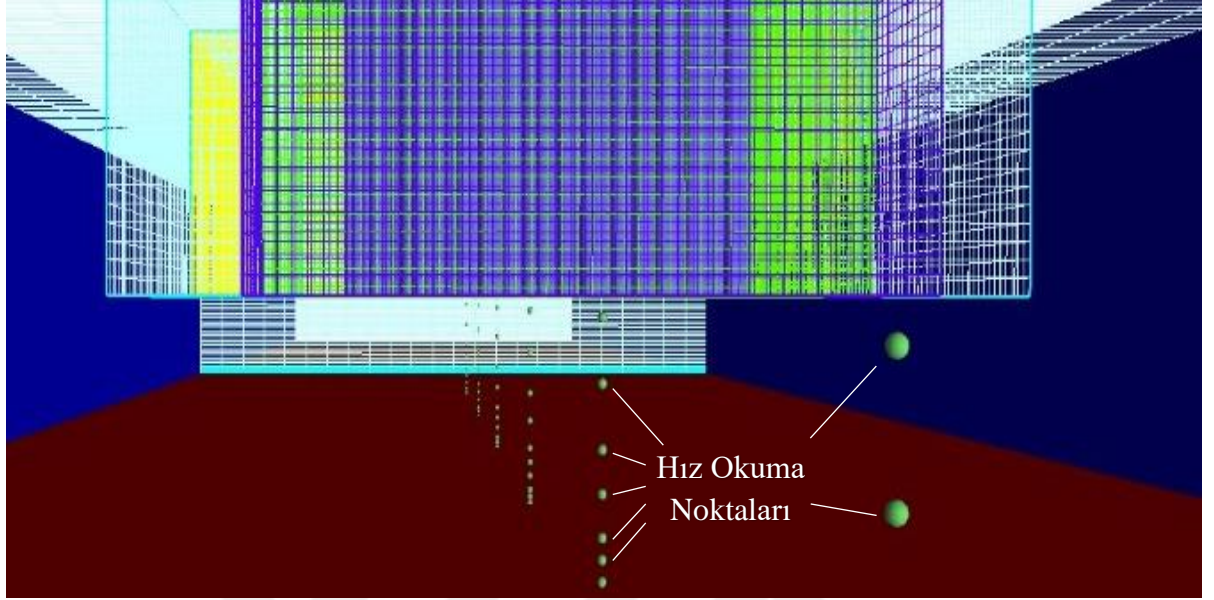
Diğer tüm çözüm ağlarında sınır koşulların tamamı simetri (Symmetry) olarak tanımlanmış ve bu sayede Mesh 1 ile çakışan düğüm noktalarından gerekli parametreleri almışlardır.

7.6. Analiz Çıktılarının Belirlenmesi Analizlerin Elde Edilmesi

Laboratuvar çalışmasında hız okunan noktalara uygun olarak, modelden analiz sonuçlarının alınacağı noktaların koordinatları, çözüm öncesinde “History Probes” olarak tanımlanmıştır (Şekil 7.13). Ayrıca, “History Probes” lar dan okunan hız verilerinin program çözümü sırasında oluşturulması, sonrasında yapılacak okumaların daha hızlı alınması ve iterasyona gerek kalmaması için sistemin orta aksındaki düğüm noktaları, “History Probes” lara denk gelecek şekilde tasarlanmıştır.

Flow 3D programından alınan çözüm analizlerinin görselleştirilmesi için kurulum sırasında yardımcı program olarak “Flow Sight” programı da kurulmuştur. Flow Sight yardımıyla çözüm öncesinde tanımlanmış olan “History Probes” lardan akım hızları liste halinde alınmıştır. Ayrıca, Flow Sight yardımıyla akım vektörleri görselleştirilmiştir.

Ayrıca, 8. bölümde verilen grafiklerde laboratuvar çalışmasının sonuçları ile bilgisayar simülasyonundan elde edilen sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilerek karşılaştırılmış ve tüm sonuçlar değerlendirilmiştir.

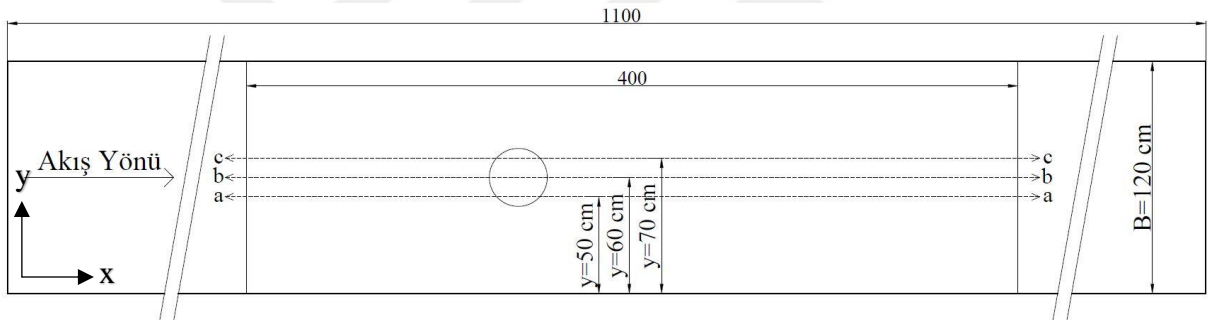


Şekil 7.13. Sayısal model çözüm ağı (mesh) ve hız okuma noktaları (History Probes).

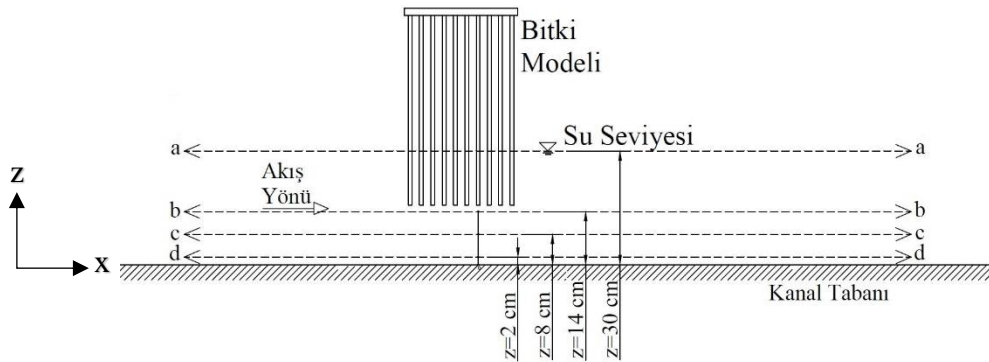
8. ARAŞTIRMA BULGULARI

Boş kanalda laboratuvarda yapılan çalışmada, kanal boyunca pürüzsüz bir su yüzü profili ve üniform bir akım gözlenmiştir. Kanalda sabit 45 lt/sn lik debi sabit 30 cm su derinliğinde sağlanmıştır. Laboratuvar düzeneğinin verimli çalışıp çalışmayacağını araştırmak ve proje debisini sağlayacak pompa devrini belirleyebilmek için yapılan boş kanal çalışmasında oldukça tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Laboratuvar çalışmasında olduğu gibi akımın modellenmesi sırasında parametrelerin kontrollü şekilde programa tanımlanabilmesi için bitki modeli tanımlanmadan oluşturulan boş kanalda 45 lt/sn akım hızında ve sabit 30 cm su derinliğinde çok sayıda çözüm alınmıştır. Alınan çözüm sonuçları hız vektör alanı olarak renklendirilmiş ve Şekil 8.1’de gösterildiği aks noktalarından alınan hız vektör alanı profil görünümü ile Şekil 8.2’de gösterilen aks noktalarından alınan hız vektör alanı plan görünümü belirlenmiştir.

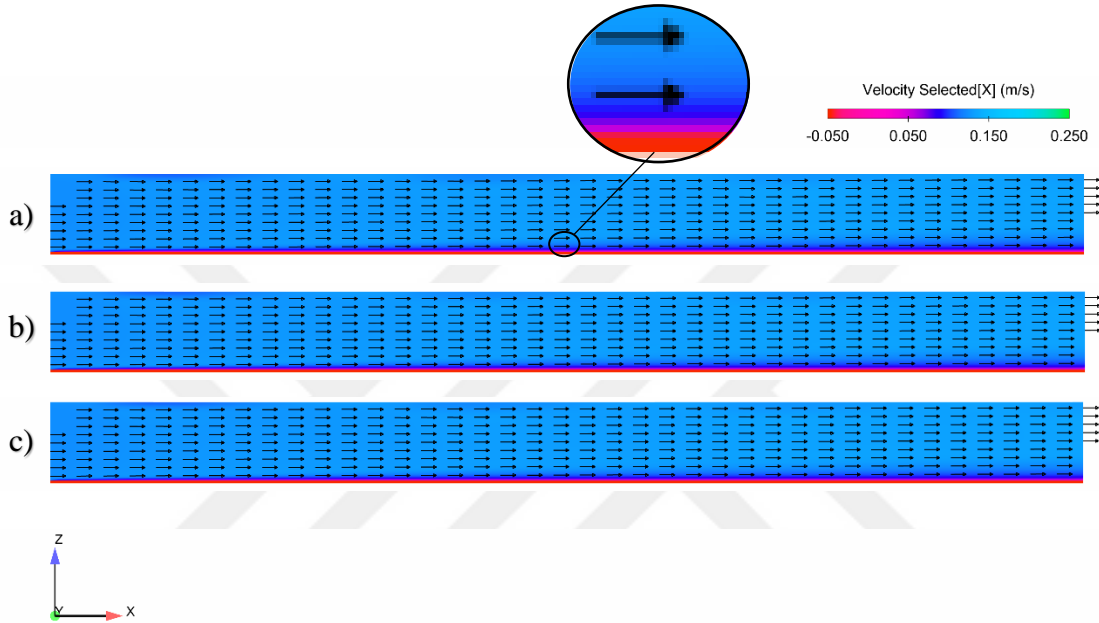


Şekil 8.1. X-Y düzleminde a, b, c hız vektör alanı en kesit aksları.



Şekil 8.2. X-Z düzleminde a, b, c, d hız vektör alanı kesit aksları.

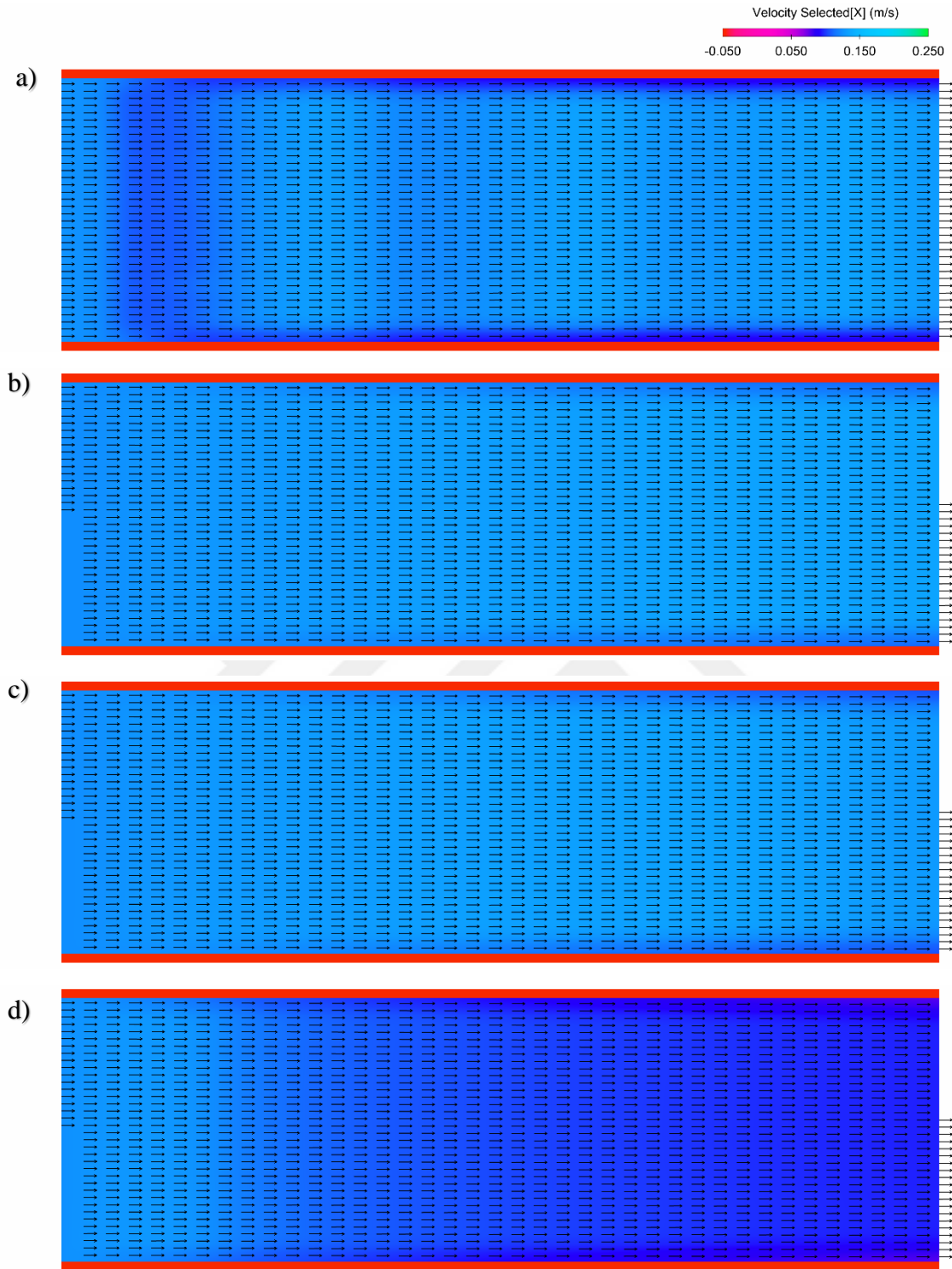
Boş kanal modelinden elde edilen hız vektör alanının renklerle derecelendirilmiş olup iki boyutlu plan ve profil görünümü incelendiğinde (Şekil 8.3 ve Şekil 8.4), kanalda üniform bir akımın elde edildiği ve sınır tabakaya kadar hız dağılımının üniform olduğu görülmüştür. Hem laboratuvarında ölçülen akım hızı sonuçlarının hem de simülasyondan alınan akım hızı sonuçları logaritmik dağılıma uygun elde edilmiştir.



Şekil 8.3. Boş kanalda X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü (y, akıma göre sağ sahil duvarından olan uzaklık; B kanal genişliği olmak üzere, a)y/B=0,42 b)y/B= 0,5 c)y/B= 0,58).

Flow 3D programının çözüm mantığından dolayı akışkanın dikdörtgen kanala girdiği noktada sınır tabakası bulunmamaktadır. Bu büyük bir hazneden bir boruya giriş yapan akışkanın davranışı gibi düşünülebilir. Ancak, kanala giriş yaptıktan sonra katı sınırı hisseden akışkan kısa mesafede sınır tabakayı oluşturmuştur (Şekil 8.3 ve Şekil 8.4). Şekil 8.3 (a)'deki renk dağılım skalası detayında ve Şekil 8.5'te hız grafiklerinden sınır tabakanın gelişimi ve katı sınıra doğru hızın sifira yaklaştığı ve nihayetinde katı sınırdaki sıfırlanmışlığı görülmektedir.

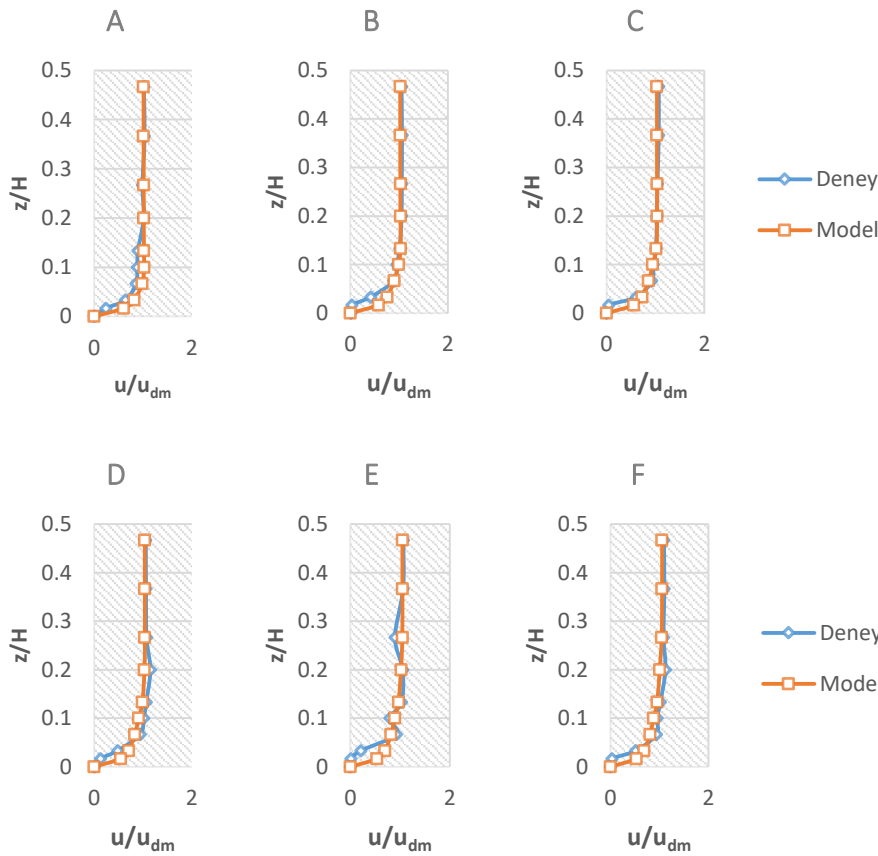
Deneyde bitki altında kalan kısımlarda ADV cihazıyla ölçüm yapılamamıştır. Bu kısımlar, diğer noktalarda laboratuvar sonuçları ile sayısal çözüm sonuçlarının uygunluğuna olan güvenle sadece sayısal model çözümünden okunmuş ve B1, B2, B3 şeklinde isimlendirilmiştir. Bu kısımlardan okunan hızlar ilerleyen bölümlerde değerlendirilmiştir.



Şekil 8.4. Boş kanalda X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü (z tabandan olan yükseklik, H toplam akım derinliği olmak üzere, a) $z/H=1$; b) $z/H=0,47$; c) $z/H=0,27$; d) $z/H=0,07$).

Tüm grafiklerin düşey eksenleri kanaldaki su derinliği olan $H=30$ cm'e, yatay eksendeki hız büyüklükleri ise kanal derinlik ortalama hızı olan $u_{dm}=12,5$ cm/sn'ye bölünerek boyutsuz büyüklükler olarak belirlenmiştir.

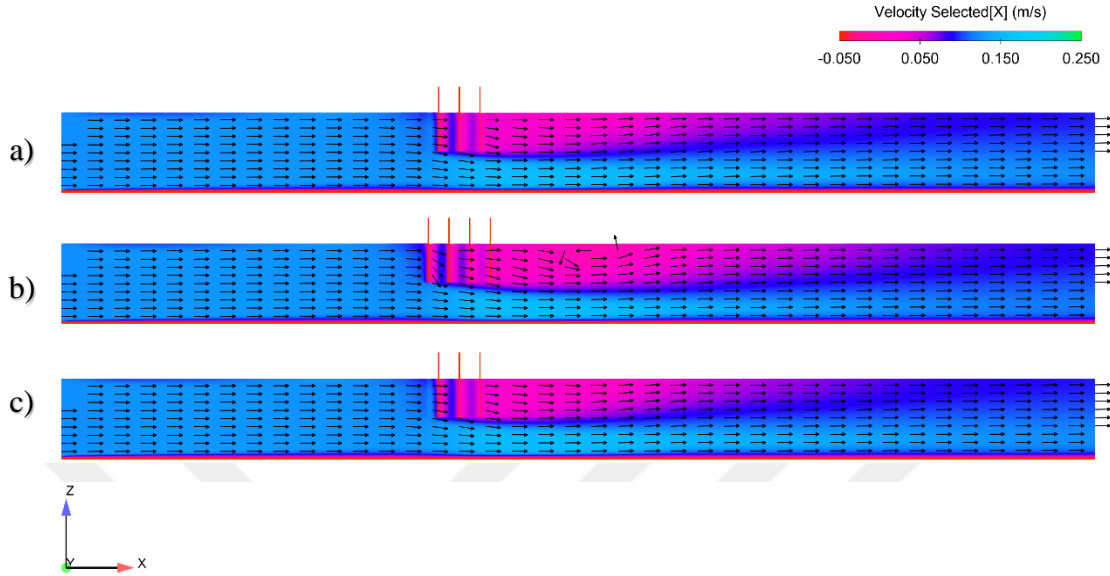
Deney düzeneğinde üniform akım kontrolü yapmak için ölçüm yapılan A,B,C,D,E,F noktalarındaki hızlar ile sayısal model çalışmasından bitkisiz kanaldan aynı noktalardan alınan sonuçların, akımın üniform olmasından ve türbülans oluşmamasından dolayı çok küçük sapmalar dışında büyük oranda uyduğu görülmüştür (Şekil 8.5) . Oluşan küçük sapmaların sınır tabakaya yakın kısımlarda olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar program girdilerinin doğru olduğunu ispatlamış ve akabinde bitki modelleri de sayısal ortama dâhil edilerek sayısal çözümler alınmıştır.



Şekil 8.5. Boş kanal boyutsuz hız grafikleri.

%5 yoğunluğunda bitki içeren kanal modelinden elde edilen hız vektör alanının renklerle derecelendirilmiş iki boyutlu plan ve profil görünümünü incelendiğinde (Şekil 8.5 ve Şekil 8.6), bitki modelinin mansap kısmında model çapının yaklaşık 3 katı uzunluğunda bir alanda akımın önemli ölçüde yavaşladığı ve bu alanın orta kısmına ve yüzeye yakın bir

kesiminde küçük çapta vorteks oluştuğu, buna bağlı olarak da akım hızının bitki altında ve iki yanında arttığı görülmüştür. Ayrıca, hızın arttığı katı yüzeye yakın kesimlerde sınır tabakanın baskılandığı ve sınır tabaka kalınlığının azaldığı görülmüştür.



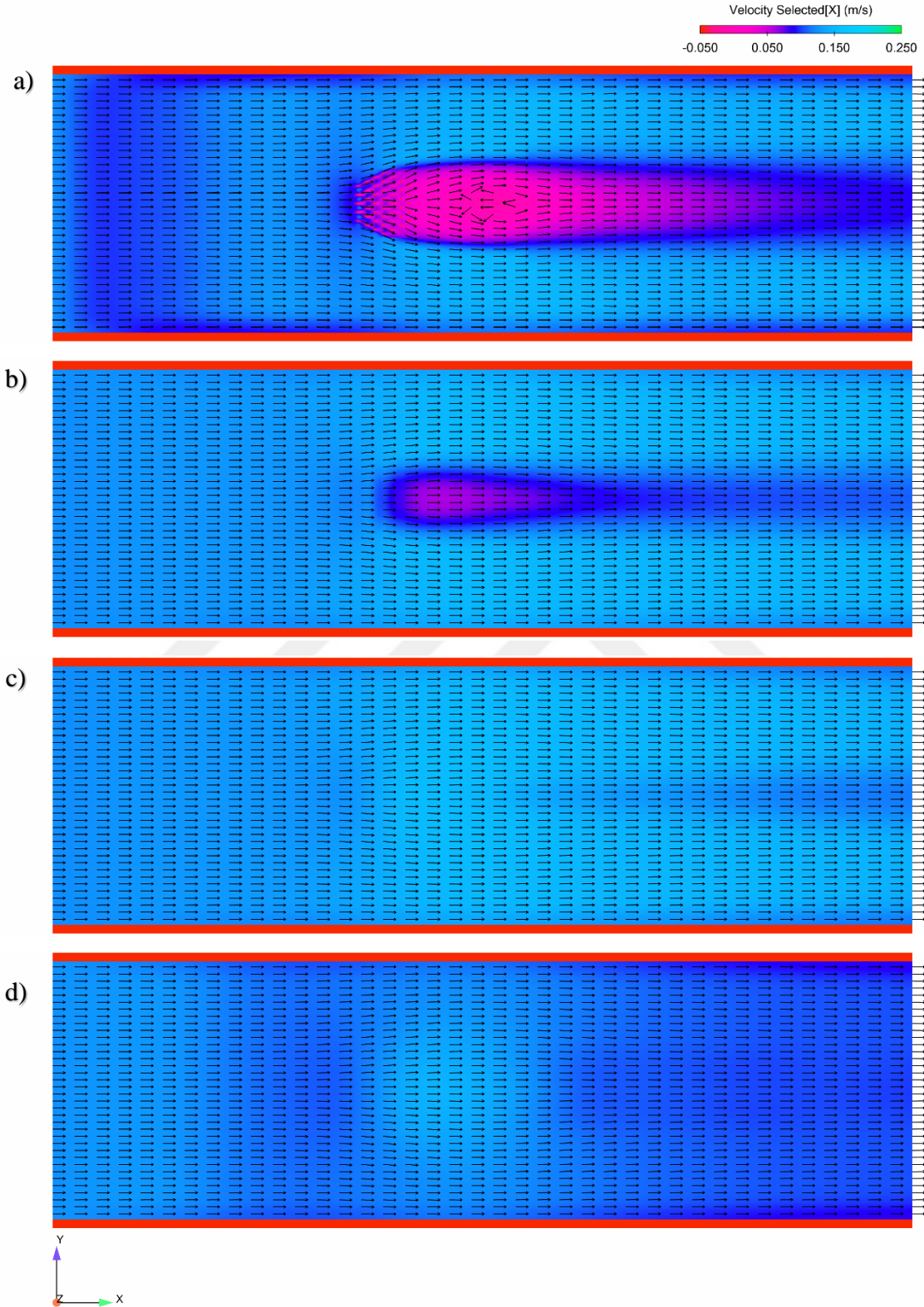
Şekil 8.6. X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a) $y/B=0,42$; b) $y/B= 0,5$; c) $y/B= 0,58$ ve $SVF_1=\%5$).

Bitki yoğunluğunun düşük olması nedeniyle akım, bitki demeti önünde bir miktar hız kaybederek bitki demetinin içinden geçip sonrasında türbülansa girerek vorteks oluşturmaktadır. Akım daha yoğun bitki modellerinden elde edilen akım karakterine kıyasla fazla hız kaybetmediği ve bitki demetinin içinden geçebildiği için bitki demetinin mansabında oluşan vorteks bitki demetine uzak, yüzey akım alanına yakın ve küçük bir bölgede görülmektedir.

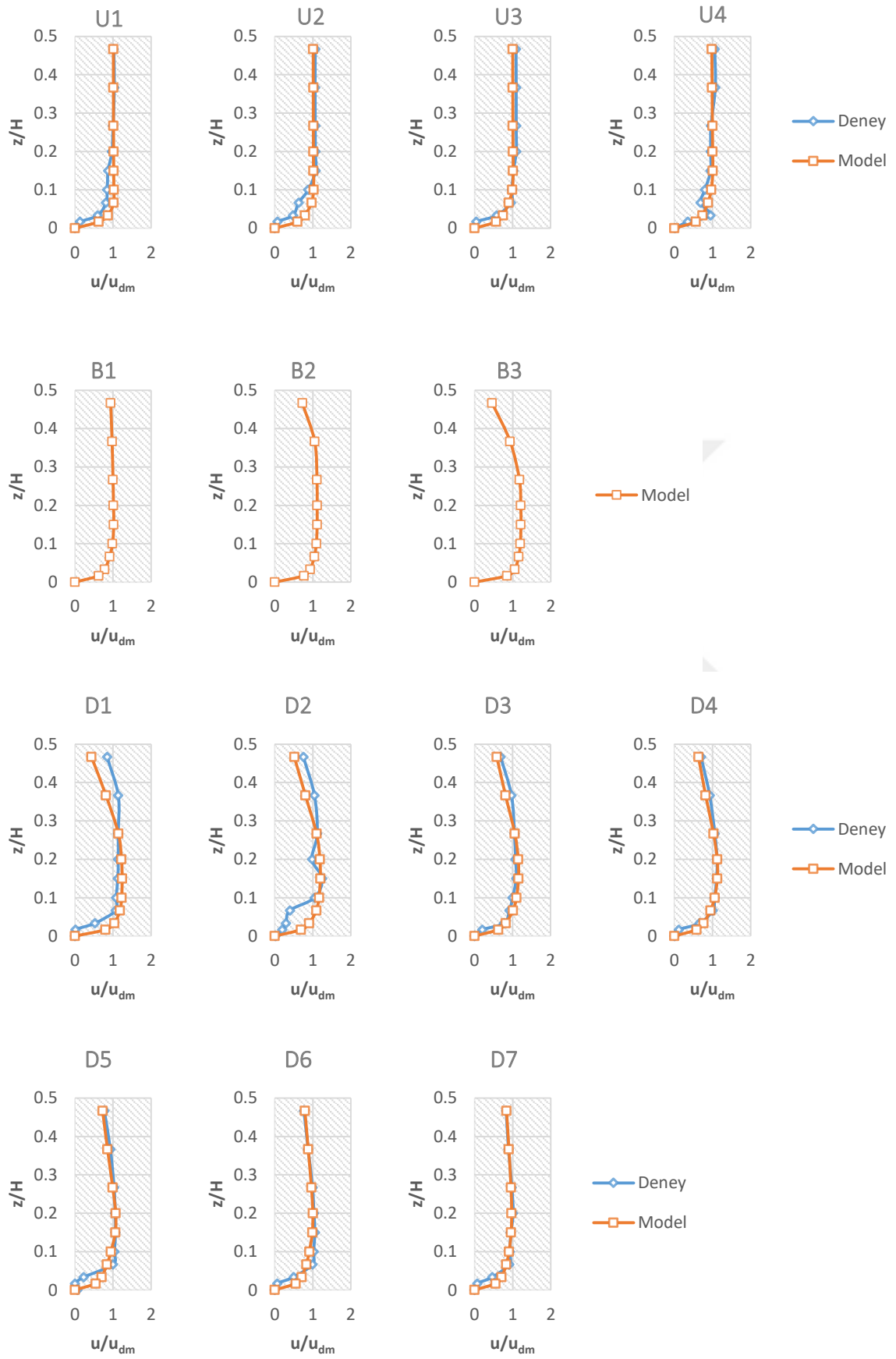
$\%5$ yoğunluğunda bitki içeren kanal modelinden elde edilen X yönündeki hızlar ile deney düzeneğiyle ölçülen X yönündeki hızlar incelendiğinde (Şekil 8.6) , sayısal model çalışması ile deney sonuçlarının türbülansın olmadığı U1,U2,U3,U4 noktalarında oldukça yakın sonuçlar verdiği; bitkinin varlığı nedeniyle türbülansın başladığı kanalın orta kısmından itibaren D1,D2,D3,D4 noktalarında D1 ten D4'e doğru azalır şekilde sapmalar oluştuğu görülmüştür. D5, D6, D7 noktalarında, türbülans etkisinin azalması nedeniyle sayısal model çalışması ile deney sonuçlarının yine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

$\%5$ yoğunluğunda bitki içeren kanal modelinden elde edilen akımın hız grafiğinin B1 noktasına kadar logaritmik hız dağılımına uygun olarak geliştiği görülmüştür. B1 noktasından itibaren akışkanın bitki tabanını hissederek yeni bir sınır tabaka oluşturmasıyla hız grafiklerinde

üst noktalarda da hızın yavaşlamaya başladığı ve bu yavaşlamanın iki sınır tabaka ortasında akım hızının artmasına yol açarken alttaki sınır tabakayı da baskıladığı mütalaa edilmektedir.



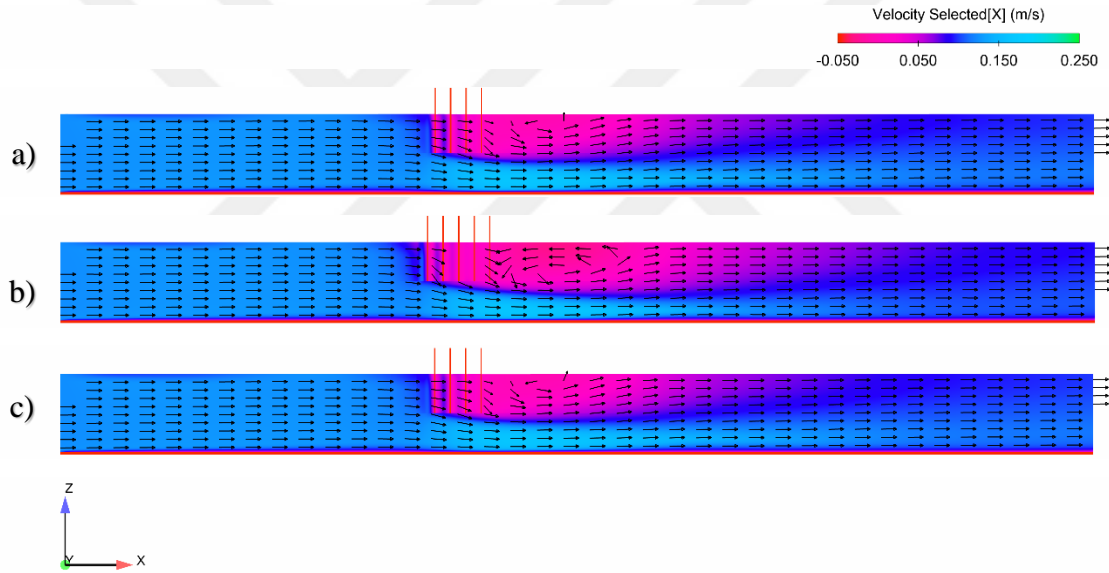
Şekil 8.7. X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü a) $z/H=1$; b) $z/H= 0,47$; c) $z/H= 0,27$; d) $z/H= 0,07$ ve $SVF_1=\%5$).



Şekil 8.8. $SVF_1=\%5$ bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.

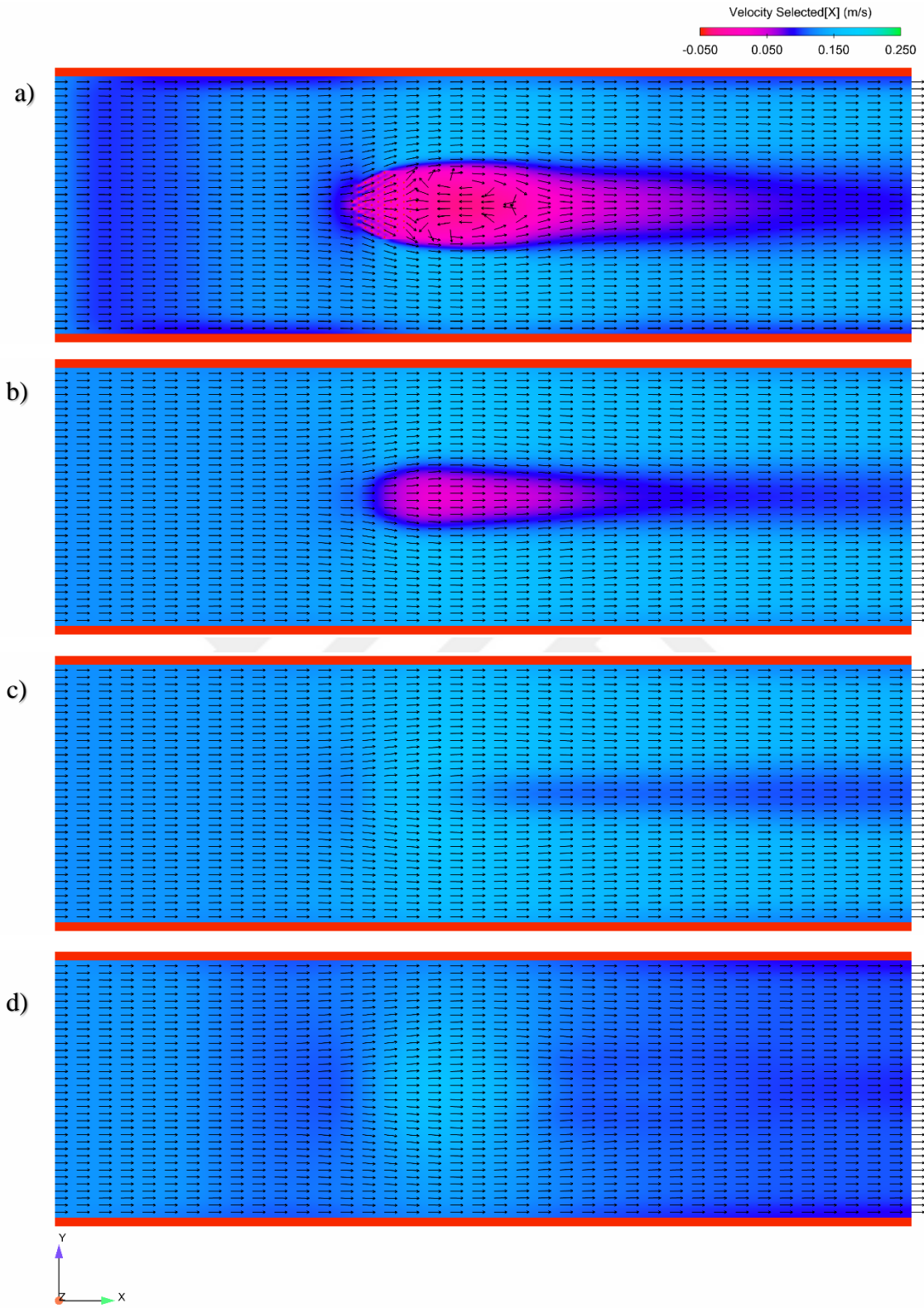
%9 yoğunluğunda bitki içeren kanal modelinden elde edilen hız vektör alanının renklerle derecelendirilmiş iki boyutlu plan ve profil görünümü incelendiğinde (Şekil 8.9 ve Şekil 8.10), yine bitki modelinin arka kısmında türbülanslı bir bölgenin oluştuğu ancak; bu bölgenin Şekil 8.5 ve Şekil 8.6’da gösterilen %5 yoğunluğundaki bitki modelinin arkasında oluşan hız azalma alanından daha küçük olduğu gibi türbülans yoğunluğunun ise daha fazla olduğu ve daha geniş çapta vorteks oluşumlarının geliştiği görülmüştür. Bu durumun, bitki yoğunluğunun artışıyla, bitki modelinin arasından geçen akımın etkisinin azalması ve buna bağlı olarak bitki demeti yanlarındaki akım hızının artmasıyla bitki modeli mansabında yer alan katmanlar arasındaki hız farklarının büyümesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

%9 yoğunluktaki bitki demeti modelinin içinde hala akım koridorları oluşabildiği için bitki demeti önündeki hız azalması yoğun olarak gözlenmemiştir.

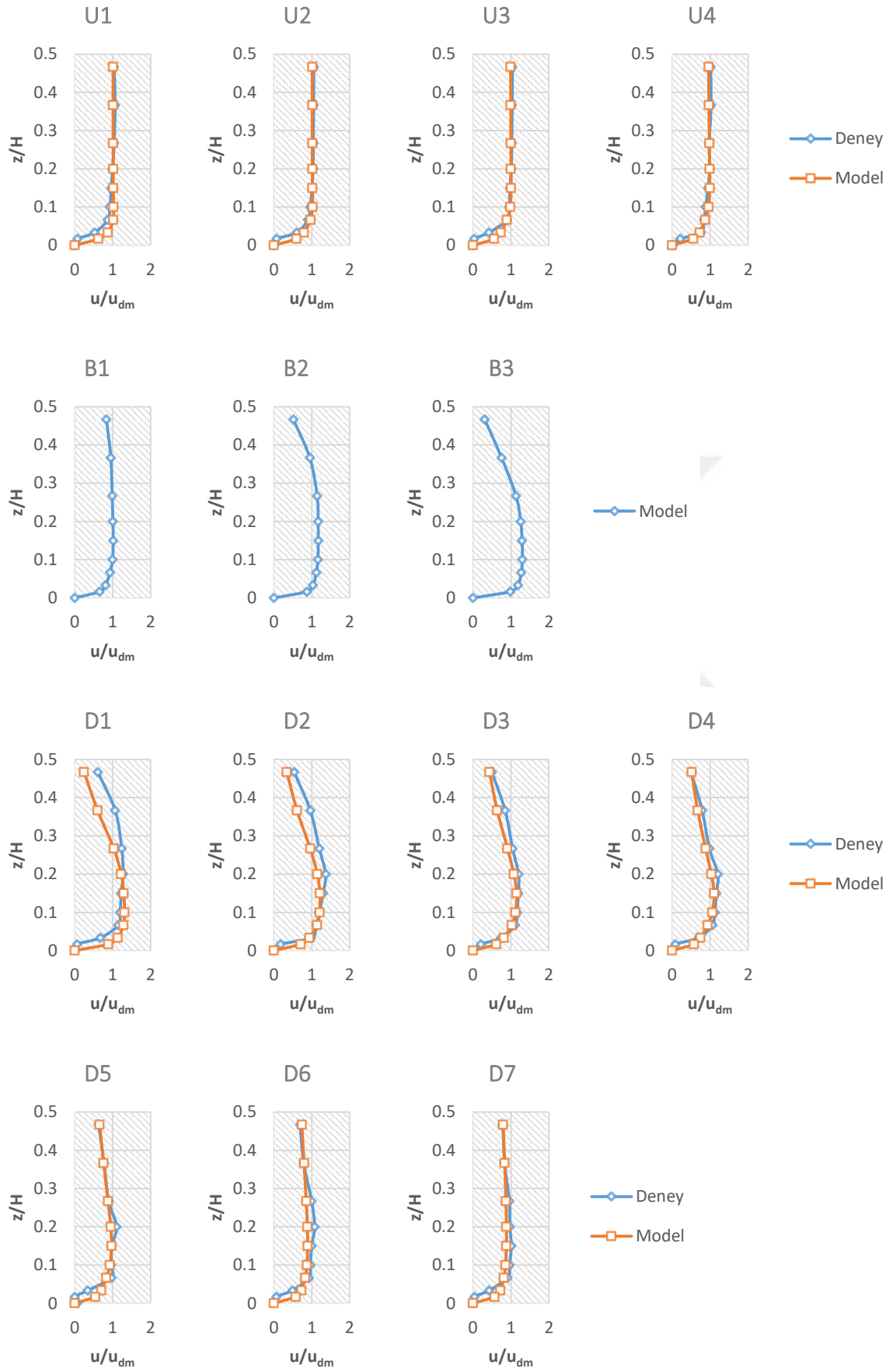


Şekil 8.9. X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58 ve SVF₂=%9).

Bitki demeti arkasındaki bitki demetinin varlığının oluşturduğu direnç sebebiyle akım hızlarının düştüğü alan ile bitki demeti iki yanında ve altında yer alan akım hızının arttığı alanlar arasındaki hız farklılıkları arttıkça bitki demeti arkasında oluşan vorteks yoğunluğu ve devinim hızları artmaktadır. Oluşan vorteks, bitki demetinin arkasındaki yüzey akım alanından bitki demetinin uç kısımlarına kadar uzanmakta ve bitki demetinin mansabında ki sınıra kadar yakın konumda devinimini sürdürmektedir (Şekil 8.9 ve Şekil 8.10). %9 yoğunluğunda bitki demeti içinde hala bir miktar x yönünde akım gözlemlendiği için vorteks sistemi henüz bitki demetinin iç kısmına ilerlememiş sadece bitki demeti sınırında kalmıştır.

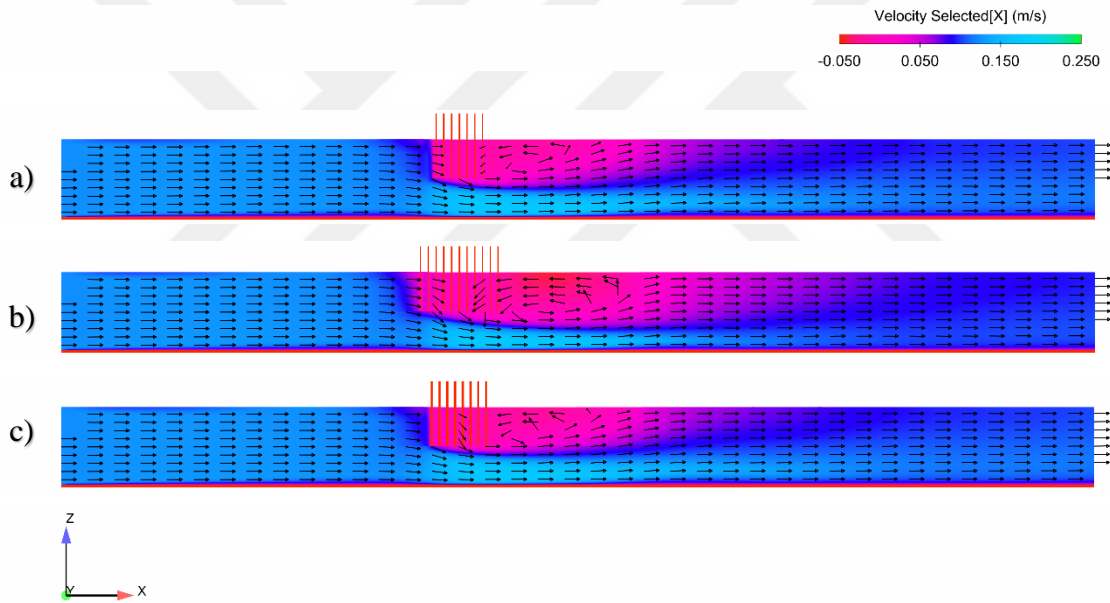


Şekil 8.10. X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü a) $z/H=1$; b) $z/H= 0,47$; c) $z/H= 0,27$; d) $z/H= 0,07$ ve $SVF_2=\%9$)



Şekil 8.11. $SVF_2=9\%$ bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.

Bitki içeren sayısal model çalışmaları ve deney çalışmalarının sonuçlarına bakıldığında genel olarak, bitki yoğunluğu arttıkça bitki içinden geçen ve bitki modeli arkasındaki hız düşmektedir. Aynı zamanda bu kısımlarda hızların azalması bitki modelinin altında ve yanlarındaki tabakalarda akım hızının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum farklı hızların hakim olduğu bu tabakalar arasında bir sınır oluşturmaktadır. Renklerle derecelendirilmiş plan ve profil görünüşleri incelendiğinde, hız artış alanı ile hız düşüş alanı arasında oluşan bu sınır tabakanın bitki yoğunluğunun artışıyla daralmış olduğu ve hız vektör alanında daha keskin hız geçişlerin olduğu görülmüştür. Bitki yoğunluğunun artmasıyla daha da büyüyen vorteks sisteminin hız artış alanlarına baskı yapmasının buna sebep olduğu düşünülmektedir. Aynı durum bitki yoğunluğunun artmasıyla taban betonu ve yan duvarların katı yüzeylerinde oluşan sınır tabakalarda da gözlenmektedir. Dorcheh (2007) nin çalışmasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.



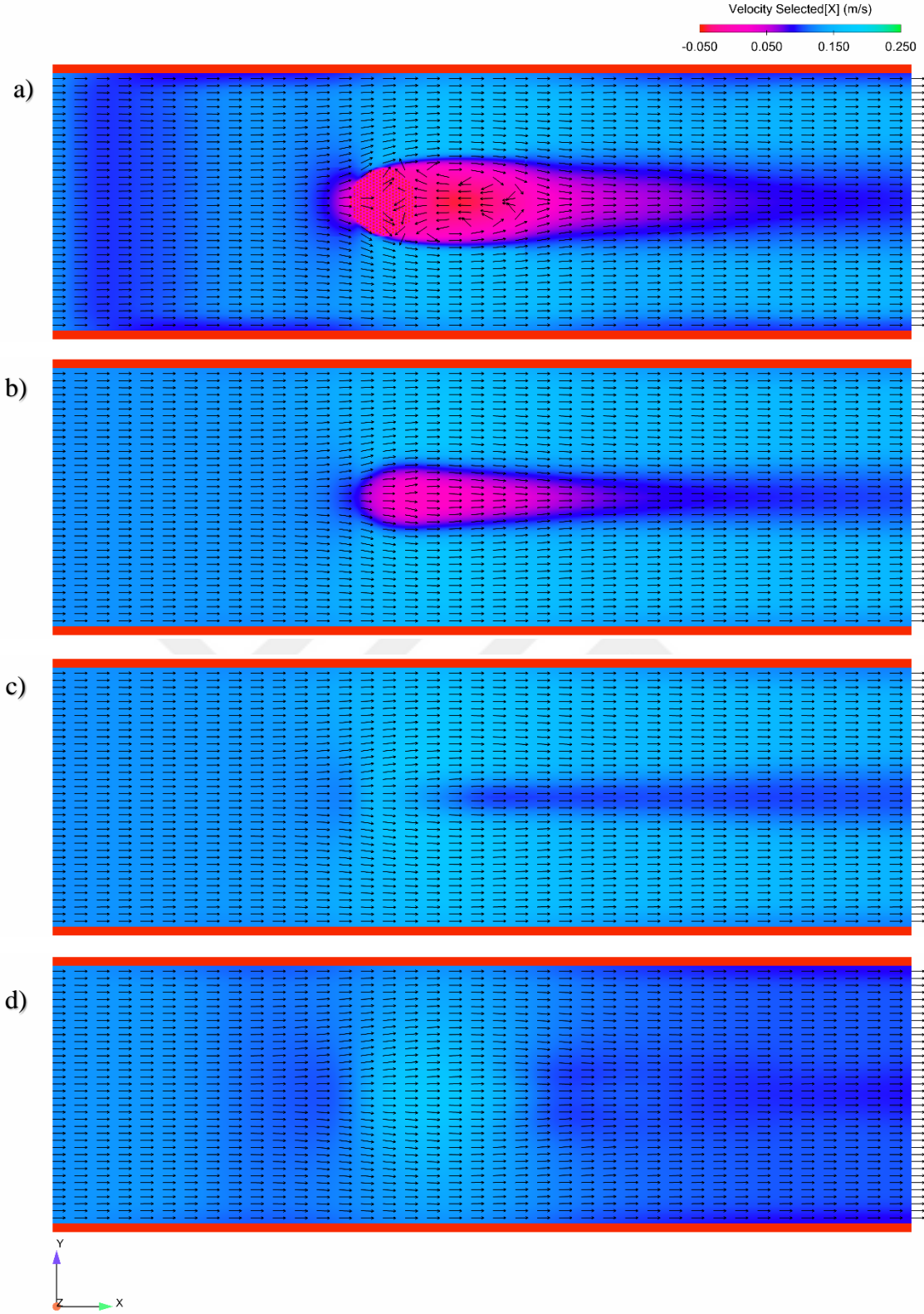
Şekil 8.12. X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58 ve SVF₃=%36).

Bitki modelinin hemen altında ve mansabında türbülansın en yoğun olduğu durum %36 bitki yoğunluğunda oluşmuş ve bu noktada hız, bitki altında ve mansabında sifira oldukça yaklaşmıştır. Bitki sapları arasından geçen akımın etkisinin azalmasıyla tek parça bir bitki modeli gibi etki gösteren bitki demeti dış katmanda da parçalı yapısından dolayı oldukça pürüzlü bir sınır koşul oluşturduğundan dolayı bitki önünde ve mansabında akım hızını önemli ölçüde düşürmüştür. Sayısal çözümden alınan bu sonuçlar laboratuvar deneylerinde yapılan gözlemlerle birebir uyuşmaktadır.

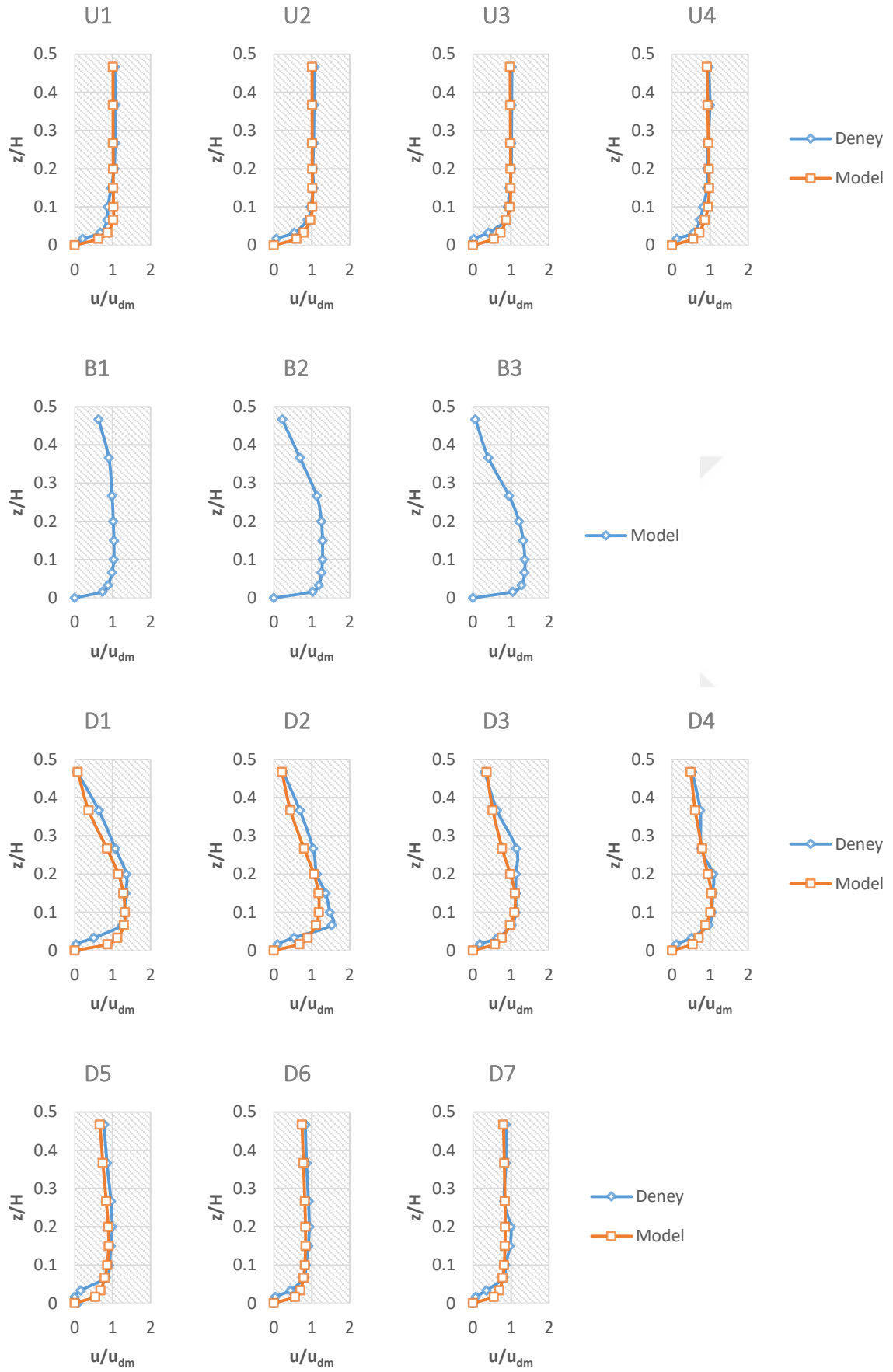
Bitki yoğunluğunun artmış olması nedeniyle bitki demeti içinden geçen akım x yönünde belirgin şekilde hız kaybetmiş ve $-z$ yönünde ilerleyerek bitki demetinin altında ki tabanda baskı oluşturmaktadır. Artan baskı ile birlikte bitki modeli altındaki akım alanı taban pürüzlülüğünü daha fazla hissetmeye ve sınır tabaka kalınlığını baskılamaya başlamıştır. Dorcheh [21] çalışmasında “en yüksek stres, yüksek yoğunluklu durumda kanalın her iki tarafında, bitki ve serbest bölge arasındaki yüzeyde oluşmuştur.” diyerek benzer çıkarımlarda bulunmuştur.

Farklı bir bakış açısıyla, taban pürüzlülüğünün askıdaki canopy dip akımları üzerine olan etkisi ile ilgili, Zho Zhou ve Venaygamorthy [3] yuvarlak bir tabla üzerinde dizilmiş farklı yoğunluklardaki bitki modelleriyle farklı derinliklerde yaptığı çalışmasında, sığ sudaki askıda canopy'ler için taban sürtünmesi, canopy yanındaki boşluklarda ve taban sınırına yakın olan dip akıntısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olma eğiliminde olduğunu; ancak derin suda, sınır tabakanın askıdaki canopy akımları üzerindeki etkisi, canopy ile taban sınırı arasındaki geniş boşluk nedeniyle büyük oranda ihmal edilebilir olduğunu ileri sürmüştür.

Bitki demetinin arkasında oluşan vorteks, yüzey akım alanından bitki demetinin uç noktalarına kadar uzanmaktadır. Bitki demetinin içinden geçen akımın x yönündeki bileşenlerinin etkisi oldukça azaldığı için vorteks sistemi bitki demetinin iç kısımlarına ilerleyerek bitki demetinin içinde de negatif yönde ($-x$) hız vektörlerinin oluşmasına sebep olduğu görülmüştür.

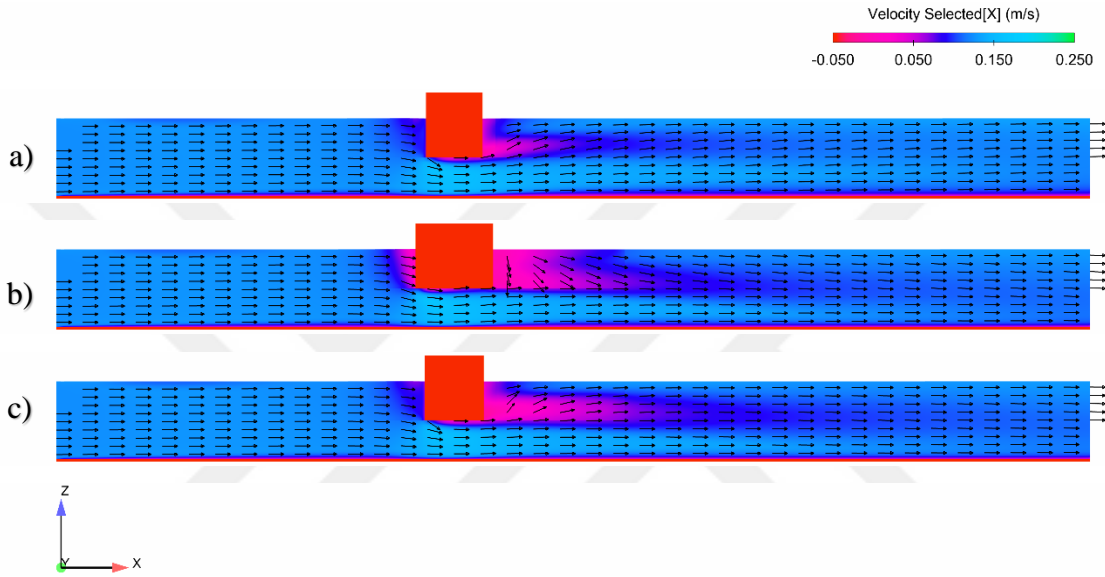


Şekil 8.13. X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü (a) $z/H=1$; b) $z/H= 0,47$; c) $z/H= 0,27$; d) $z/H= 0,07$ ve $SVF_3=\%36$).



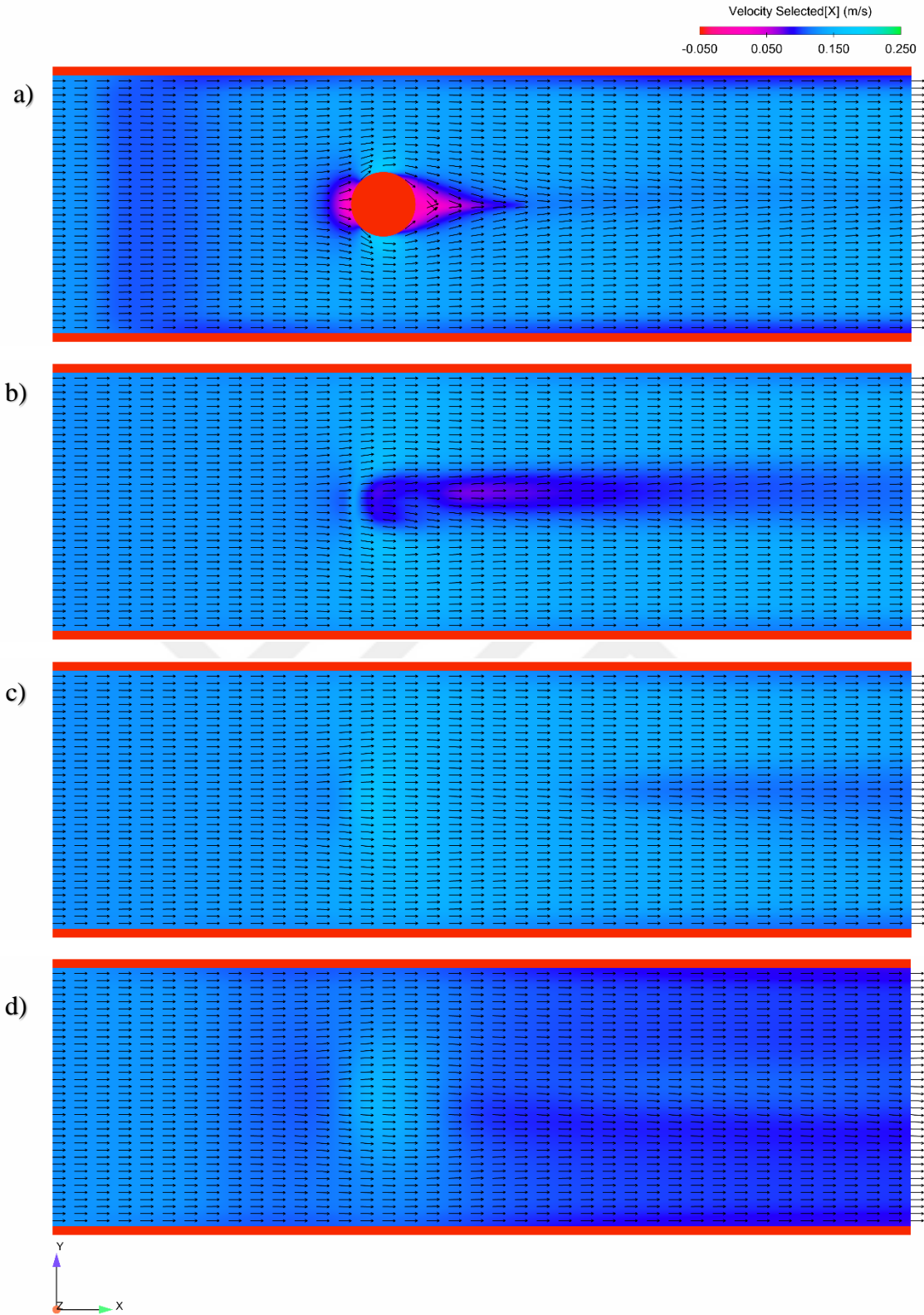
Şekil 8.14. SVF₃=%36 bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.

%100 yoğunluklu tam dolu bitki modelinden elde edilen hız vektör alanının plan ve profil görünüşleri incelendiğinde (Şekil 8.15 ve Şekil 8.16), çok parçalı ve daha az yoğunluklu bitki modellerinin aksine tam dolu bitki modelinin arkasında çok küçük boyutta bir türbülans alanı oluştuğu ve akımın çok kısa bir mesafede üniform akım modeline geçme eğiliminde olduğu görülmüştür. Yani, %100 yoğunlukta bitki modelinin varlığı x yönündeki akım hızını memba ve mansap bölgesinde yavaşlatmakta olduğu, ancak akım içinde oluşan farklı hız tabakaları kısa zaman içinde sönmülenererek üniform akım düzenine geçtiği gözlenmiştir.

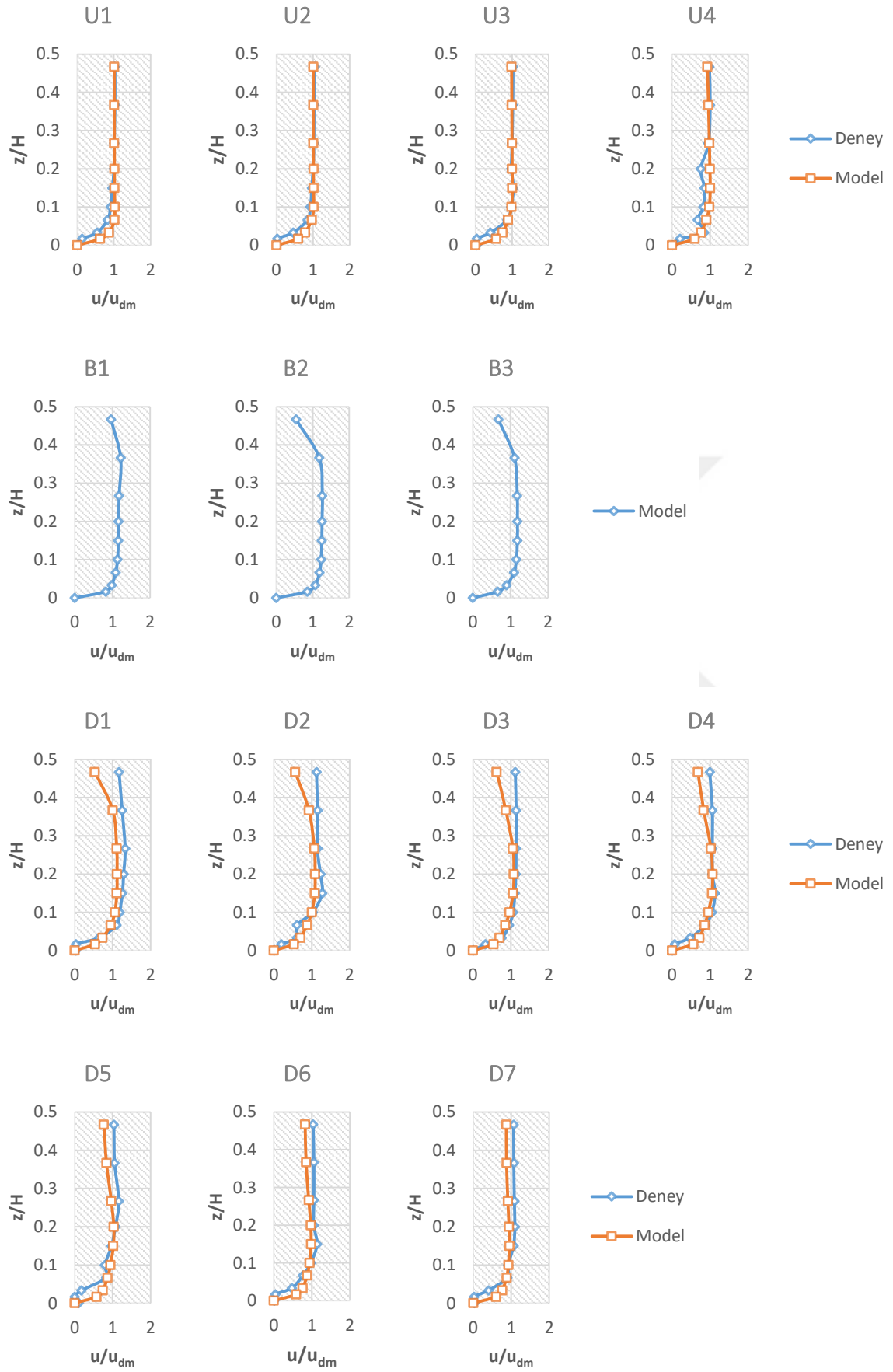


Şekil 8.15. X Yönündeki hız vektör alanının profil görünüşü a)y/B=0,42 ; b)y/B= 0,5 ; c)y/B= 0,58 ve SVF₄=%100).

Bitki modelinin altında ve iki yanında oluşan sınır tabaka baskısının da, çok parçalı ve daha az yoğunluklu bitki modellerinin altında ve iki yanında oluşan sınır tabaka baskısına kıyasla daha az ve daha küçük bir alanda olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, tek parça ve tam dolu bitki modelinin, çok parçalı ve daha az yoğunlukta bitki modellerine göre sınır koşullarında daha pürüzsüz bir tabaka oluşturmuş olmasıdır (Şekil 8.15 ve Şekil 8.16). Ancak bu durum, bitki modelinin önünde daha belirgin ve daha geniş alanda hız azalmasına sebep olmuştur. Aynı sebepten bitki modeli mansabında kütle ve momentum transferleri ile hız değişimleri, %5, %9 ve %36 yoğunlukta bitki modellerinden alınan sonuçlara göre çok daha küçük bir alanda gerçekleşmiş ve akım çok kısa bir mesafede yine üniform hale geçmiştir.



Şekil 8.16. X Yönündeki hız vektör alanının plan görünüşü (a) $z/H=1$; b) $z/H= 0,47$; c) $z/H= 0,27$; d) $z/H= 0,07$ ve $SVF_4=\% 100$).



Şekil 8.17. $SVF_4=100\%$ bitki modeli boyutsuz hız grafikleri.

9. SONUÇ VE TARTIŞMA

Laboratuvar sonuçları ile Flow 3D programında hazırlanan sayısal modelden alınan analiz sonuçları yüksek oranda uyum göstermiştir. Her iki çalışmada da açık kanal içinde askıdaki bitki demetinin, memba ve mansap taraflarında akım hızının azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Akıma engel bitki yoğunluğu arttıkça bitki önünde ve arkasında oluşan hız azalma oranı artmaktadır. Aynı şekilde bitki demetinin altında ve yanlarındaki akım hızı bitki yoğunluğunun artışıyla artmaktadır. Bitki demeti yoğunluğu arttıkça bitki demeti içinden geçen akımın etkisi azaldığından dolayı bitki demeti yanından ve alt kısmından daha fazla akım geçmekte ve bu bölgelerdeki akım hızları artmaktadır. Aynı zamanda bitki yoğunluğunun artmasıyla bitki demetinin içinden geçen akımın etkinliğinin azalması ile bitki demetinin mansabında oluşan vorteks alanı bitki demetinin iç kesimlerine kadar uzanmaktadır. Burada vorteks alanı, bitki modeli içinden geçmeye çalışan akım çizgileri ile karşılaşır bitki modelinin alt ve yan taraflarına doğru itilmektedir. Bu etki ile birlikte türbülans alanı genişleyerek bitki modelinin iki yanında ve altındaki akım koridorlarına olan baskı artmaktadır. Bitki demeti yoğunluğunun artmasıyla artan baskı iki tabaka arasındaki stresi arttırmaktadır.

Hem Laboratuvar deneylerinde hem de sayısal model sonuçlarında, bitki demeti arkasında oluşan türbülans bölgesinin büyüklüğü bitki yoğunluğu ile ters orantılı olarak değişmekte; bitki demeti arkasında oluşan vorteks yoğunluğu, bitki yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yani, çok parçalı bitki modellerinde yoğunluğun artmasıyla türbülans alanı bir miktar kısalmış ancak türbülans devinimleri daha yoğun şekilde gerçekleşerek tabana ve yanlara olan baskı artmıştır. Bu durumun gerçekleşmesinde, bitki içinden geçen akım çizgilerinin x yönündeki hız bileşenlerinin etkisinin, bitki yoğunluğunun artmasına bağlı olarak azalmasının payı olduğu düşünülmüştür.

Bu sebeple, doğal enkesitli akarsu yataklarında yetişen ağaç gövdelerine kıyasla, aynı kesit alanına sahip sazlık alanların ve su yüzeyine doğru sarkan ağaç dallarının akıma olan etkisinin daha büyük olduğu düşünülmektedir.

Askıdaki bitki demetinin bulunduğu kısımdan dolayı bitki altında akım hızının arttığı ve sınır tabakanın baskılandığı görülmüştür. Sınır tabaka kalınlığının azalmasına bağlı olarak bu bölgelerde taban oyulmalarının olabileceği dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü İşletme Ve Bakım Dairesi Başkanlığı, *DSİ Su Yabancı Otları*, DSİ İdari ve Mali İşler Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü Ankara, 2009
- [2] Wenxin Huai, Yang Hu, Yuhong Zeng, Jie Han, *Velocity distribution for open channel flows with suspended vegetation*, Advances in Water Resources, (2012), 49,56-61.
- [3] Jian Zhou and Subhas K. Venayagamoorthy, *Near-field mean flow Dynamics of a cylindrical canopy patch suspended in deep water*, J.Fluid Mech, 2019 634-655.
- [4] David R. Plew, *Depth-Averaged drag coefficient for modelling flow through suspended canopies*, Journal of Hydraulic engineering, 2011, 137(2), 234-247.
- [5] Wolverton BC, Mcdonald RC. *Energy from vascular plant wastewater treatment systems*, Econ Botany 1981;35(2):224–32.
- [6] Xavier M.L., M. Janzen, Nepf H., *Numerical modeling study to compare the nutrient removal potential of different floating treatment island configurations in a stormwater pond*. Ecol. Engng 111, 78-84.
- [7] Aure, J., Strohmeier, T., and Strand, O. *Modelling current speed and carrying capacity in long-line blue mussel *Mytilus edulis* farms*. Aquacult. Res., 2007, 38_3_, 304–312.
- [8] Hawkins, A. J. S., James, M. R., Hickman, R. W., Hatton, S., and Weatherhead, M., *Modelling of suspension-feeding and growth in the green-lipped mussel *Perna canaliculus* exposed to natural and experimental variations of seston availability in the Marlborough Sounds, New Zealand.*, Mar. Ecol.: Prog. Ser., 1999, 191, 217–232.
- [9] Ogilvie, S. C., *Phytoplankton depletion in cultures of the mussel *Perna canaliculus**, Univ.of Canterbury, Christchurch, New Zealand 2000.
- [10] Pilditch, C. A., Grant, J., and Bryan, K. R., *Seston supply to scallops in suspended culture*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 2001, 58-2, 241–253.
- [11] Jackson, G. A., *Currents in the high drag environment of a coastal kelp stand off California*. Cont. Shelf Res., 1998, 17-15, 1913–1928.
- [12] Rosman, J. H., Koseff, J. R., Monismith, S. G., and Grover, J., *A field investigation into the effects of a kelp forest *Macrocystis pyrifera* on coastal hydrodynamics and transport.*, J. Geophys. Res., 2007, 112, 2016.
- [13] Yunus A. Çengel, John M. Cimbala, *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*, İzmir Güven Kitapevi, 2008.

- [14] Tülay Özbek, *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği*, Teknik Yayınevi Mühendislik ve Mimarlık Yayınevi, 2009.
- [15] Tülay Özbek, Çağlar Özcan, *Akarsularda Katı Madde*, 2001
- [16] Kubrak, E. , Kubrak, J. And Rowinski, P.M., *Vertical Velocity Distributions Through And Above Submerged, Flexible Vegetation.*, Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, August (2008), 53(4).
- [17] Yiping Li, Ying Wang, Desmond Ofosu Anim, Chunyan Tang, Wei Du, Lixiao Ni, Zhongbo Yu, Kurnud Acharya, *Flow Characteristics in different densities of Submerged Flexible Vegetation From An Open Channel Flume Study of Artificial Plans*, Geomorphology 204, 2014, 314-324.
- [18] Beihaan Jiang, Kejun Yang, Shuyou Cao, *An Analytical Model for the Distributions of Velocity and Discharge in Compound Channels with Submerged Vegetation*, Plos One, 2015.
- [19] Ayşe Yüksel Ozan, *Bitki Parçasının Açık Kanal Enkesiti Boyunca Neden Olduğu Akım Yapısı*, Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Derg. 2017, 23(6), 726-731.
- [20] Didem Yilmazer, Ayşe Yüksel Ozan, *Açık Kanalda batmış bitkinin akıma etkisi*, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 2017, 19(2) 214-226.
- [21] Dorcheh, S. A. M., *Effect Of Rigid Vegetation On The Velocity, Turbulence and Wave Structure in Open Channel Flows.*, PhD Thesis, Cardiff University., 2007.
- [22] Selcan Sovukluk, Önder Koçyiğit, Bahadır Alyavuz, *Akarsu Yatağındaki Bitki Örtüsünün Akım Şartlarına Etkisinin Sayısal Yöntemle İncelenmesi*, 4. Su Yapıları Sempozyumu. 361-370.
- [23] Birol ATAY, *Ana Yatakta ve Taşkın Yatağında Bitki Örtüsü Bulunan Açık Kanal Akımlarının Sayısal Model İle İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [24] Selcan Koç, *Bitki Örtüsü İçeren Açık Kanal Akımının ANSYS-CFX Programı ile Sayısal Modellenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [25] Plew, D. R., Spigel, R. H., Stevens, C. L., Nokes, R. I., and Davidson, M. J., “*Stratified flow interactions with a suspended canopy.*” Environ. Fluid Mech., 2006, . 6, 519–539.
- [26] Theoharris Koftis, Panayotis Prinos, *Reynolds Stress Modelling Of Open Channel Flow With Suspended Vegetation*, E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, 2015.

- [27] Long-Huan Zhu, Qing-Ping Zou, *Three-Layer Analytical Solution For Wave Attenuation By Suspended And Nonsuspended Vegetation Canopy*, Coastal Engineering, 2016
- [28] Didem Yilmazer, Ayşe Yüksel Ozan, *Açık Kanalda askıda bitki etkisindeki akımın yatay hız bileşeninin derinlik boyunca değişiminin incelenmesi*, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 2019, 21(1) 9-20.
- [29] Xiaoyu Liu, Wenxin Huai, Yufei Wang, Zhonghua Yang, Jiao Zhang, *Evaluation of a random displacement model for predicting longitudinal dispersion in flow through suspended canopies*, Ecological Engineering 116, 2018, 133-142.
- [30] Haifei Chen, Xiaofeng Liu, Qing Ping Zou, *Wave-driven flow induced by suspended and submerged canopies*.Advances In Water Resources, 2018.
- [31] Didem Yilmazer, Ayşe Yüksel Ozan, Kubilay Cihan, *Flow Characteristics in The Wake Region of a Finite-Length Vegetation Patch in a Partly Vegetated Channel*. Water, 2018, 10, 459.
- [32] .
- [33] Sontec Flow Tracker Handheld ADV Technical Manual Firmware Version 3.3 Software Versiyon 2.2., 2007.
- [34] Flow 3D User Manual Release 11.0.3, Flow Science, Inc. 2014
- [35] Soulliotis D. ve Prinos P., *Macroscopic turbulence models and their application in turbulent vegetated flows*, Journal of Hydraulic Engineering (2011), 137 (3), 315-332.
- [36] Ayotte K.W. , Finnigan J.F., ve Raupach M.R. *A second-order closure for neutralley stratified vegetative canopy flow*, Baunday Layer Meteorology, 1999, 90, 189-216.
- [37] Kobayashi, N., Raichle, A.W. ve Asano, T., *Wave attenuation by vegetation*. *Journal of waterway, port, Coastal, and Ocean Engineering*, 1993, 119(1), 30-48.
- [38] Dimou, K., *Simulation of Estuary Mixing Using a 2-Dimensional Random Walk Model*. MIT M.Sc Thesis., 1989.
- [39] Liang, D., ve Wu, X., *A random walk simulation of scalar mixing in flows through submerged vegetations*, J. Hydrodyn, 2014., 26 (3), 343–350.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Bartın ilinde doğdu. İlkokul eğitimini Adıyaman merkez Cumhuriyet ilkokulunda, ortaokul eğitimini Adıyaman Merkez Yavuz Sultan Selim ortaokulunda tamamladıktan sonra 2004 yılında Lüleburgaz Anadolu Lisesinden mezun oldu. Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2010 yılı Ocak ayında tamamlayarak İnşaat Mühendisi ünvanını aldı.

2010 yılında askerlik görevini tamamladıktan sonra 2011 yılında YDA İnşaat bünyesinde Malatya Devlet Hastanesi yapım işinde saha mühendisi olarak çalışmaya başladı. Burada yaklaşık 2 yıl çalıştıktan sonra, 2012 yılı Temmuz ayında DSİ Erzurum 8. Bölge Müdürlüğü Proje ve İnşaat Şubesinde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2017 yılında DSİ Tekirdağ 113. Şube Müdürlüğüne tayin oldu ve halen buradaki görevine devam etmektedir. 2018 yılında Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini 2019 yılında başarıyla tamamladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.