

# Tam batmış bitki tarlasının açık kanal akım hızlarına etkisinin flow-3d ile modellenmesi

**Didem YILMAZER<sup>1\*</sup>, Gökhan AYNA<sup>2</sup>, Ayşe YÜKSEL OZAN<sup>3</sup>  
Kubilay CİHAN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çorlu/Tekirdağ.

<sup>2</sup>DSİ.Tekirdağ, 113. Şube Müdürlüğü,

<sup>3</sup>Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

<sup>4</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Geliş Tarihi (Received Date): 02.02.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.07.2022

## Öz

*Bu çalışmada, deneysel olarak yapılan tam batmış bitkilerin açık kanal akımlarına olan etkisinin incelendiği bir çalışma, FLOW-3D ile modellenmiştir. Deneysel sonuçları ve sayısal model sonuçları karşılaştırılmıştır. Modellemede Yilmazer ve ark. [10] tarafından gerçekleştirilen deneye ait veriler kullanılmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Batık bitki, açık kanal akımları, Flow-3D

## Modeling the effect of fully submerged plant field on open channel flow velocities using flow-3d

### Abstract

*In this study, an experimental study examining the effect of submerged plants on open channel flows was modeled using FLOW-3D. Experimental results and numerical model results were compared. For modelling, the data of the experiment performed by Yilmazer et al. [10] were used.*

**Keywords:** Submerged vegetation, open channel flow, Flow-3D

\*Didem YILMAZER, dyilmazer@nku.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-6947-8262>

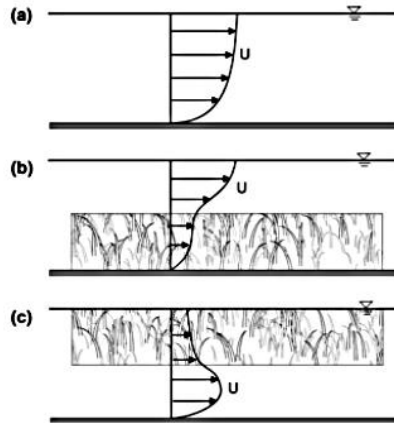
Gökhan AYNA, aynagokhan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6047-1291>

Ayşe YÜKSEL OZAN, ayseyukselozan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1931-3528>

Kubilay CİHAN, kubilaycihan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0177-4345>

## 1. Giriş

Bitki örtüsü oluşumu, doğal akarsu ve nehirlerde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Doğal en kesitli açık kanal akımlarında akım kapasitesinin belirlenmesinde en fazla taban yüzey pürüzlülüğü etkilidir. Serbest akımlı açık kanal akımlarında direnç etkisi çok sayıda değişken parametreye (bitki çapı, yüksekliği, şekli, esnekliği, mekânsal dağılımı, yoğunluğu vb.) bağlıdır. Oluşan bitki örtüsü, akımın hidrodinamik koşullarında değişikliğe sebep olur ve böylece, sediment taşınımı, besin sağlanması, kirleticiler, çözünmüş oksijen ve fauna da etkilenir [1-2]. Bitki örtüsünün varlığı, akım alanında çeşitli ölçeklerde değişimlere sebep olur. Değişim ölçekleri, bitkinin yapısına (dallarına, yapraklarına, toplu veya bireysel oluşuna) göre değişir. Akıma direnç gösteren bitki örtüsü, su seviyesinde yükselmeye ve debide düşüşe neden olur. Taşkın güvenliği açısından çok önemli olan bu direnç mekanizmasının dikkatle incelenmesi gerekir. Özellikle taşkın kontrolü amaçlı projelerde akıma rahatsızlık veren her türlü engelin debi ve akım yapısı üzerindeki etkilerinin incelenmelidir [3]. Sucul bitkiler; tam batık bitki, kısmi batık bitki ve askıda bitki olarak sınıflandırılmaktadır [4-5]. Şekil 1’de bitkisiz durum, askıda ve batmış bitki durumunda hız dağılımları verilmektedir [6]. Şekil 1’den de görüldüğü gibi açık kanallarda bitkisiz durumda tabandaki sürtünmeye bağlı logaritmik hız dağılımı gözlenmektedir [1]. Şekil 2’de ise  $\lambda(ah)$ -boyutsuz bitki yoğunluğu’na göre sınıflandırma verilmektedir [2].

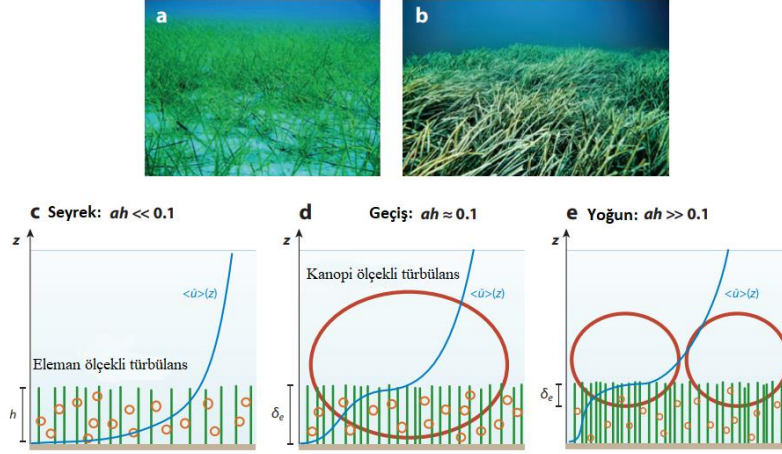


Şekil 1. Hız dağılımları

- a) Bitkisiz ortamda hız dağılım gösterimi, b) Tam batık bitki durumunda hız dağılım gösterimi, c) Askıda bitki durumunda hız dağılım gösterimi [6]

Bitki-akım etkileşimi ile ilgili birçok çalışmada, farklı kabuller altında çevreye etkileri [7,8,9], hidrodinamik etkileri [10,11,12], dalga enerjisi sönümlenmesine etkileri [13,14,15,16] incelenmiştir. Çalışmaların bir kısmı sadece saha çalışmaları [17, 18, 19], bir kısmı sadece laboratuvar deneyleri [10,11,20,21] olarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut araştırmaların bir kısmını da sayısal modeller [22,23,24,25] oluşturmaktadır.

Açık kanal akımlarında tabandaki bitki örtüsü, akım parametrelerini belirleyici özelliktedir ve bu nedenle çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Akarsu ve dere tabanlarında pürüzlülük değerleri belli olan malzemeler ile iyileştirme çalışmaları yapılmakta, bununla birlikte zamanla tortular üzerinde büyüyen bitki yapısı akıma etki etmektedir. Böylece pürüzlülük değerinin değişmesiyle birlikte, sınır koşulları akıma karşı direnç oluşturacak şekilde değişmekte ve akım hızı yavaşlamaktadır.



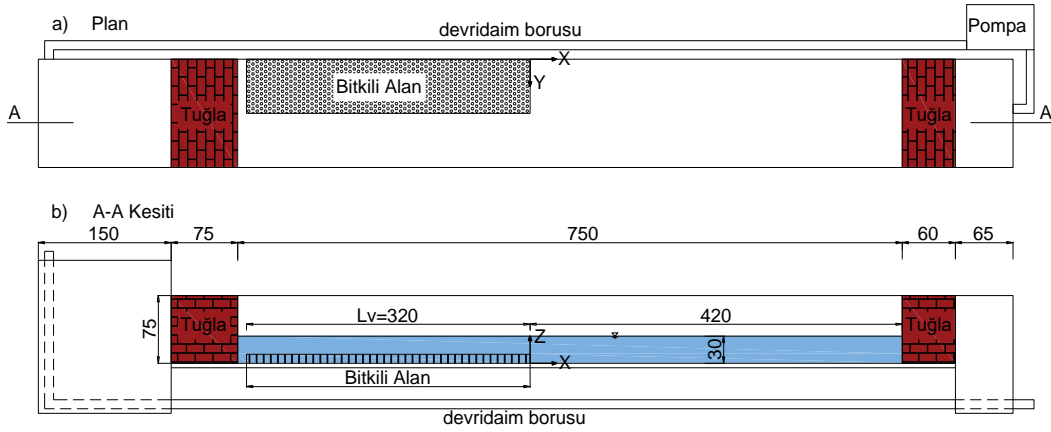
Şekil 2. Farklı yoğunluktaki batmış bitki tabakaları, a) Seyrek deniz yosunu, b) Yoğun deniz yosunu, c) Seyrek bitki, d) Geçiş bitkisi, e) Yoğun bitki [2]

Kubrak ve ark. [26] bir boyutlu ve kararlı bir akım modeli kurmuşlar ve tam batmış ve esnek bitkilerin, içindeki ve üstündeki akım yapısının düşey hız profil dağılımlarını incelemişlerdir. Li ve ark. [27] batık bitkinin açık kanal akımına etkilerini Akustik Dopler Hız Ölçer (ADCP) ile üç boyutlu hız ölçümü yaparak deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, akım ve hız profillerine ait değişimler ve bitki yoğunluğuna bağlı türbülans yapısının incelemesi amaçlanmıştır. Jiang ve ark. [28] batmış bitki örtüsünü içeren bütünleşik kanalda hız ve debi için analitik bir tasarım üzerinde çalışmışlardır. Dorcheh [29] çeşitli yoğunluktaki kısmi batık bitki modelleriyle, bitkinin akım üzerindeki etkilerini birleşik kanal kesit modelleri üzerinde araştırmıştır. Dorcheh'in [29] çalışması, Birol [30] tarafından Flow-3D ile Sovukluk ve ark. [31] tarafından ise ANSYS-CFX ile modellenmiş ve sonuçları Dorcheh [29] ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, Yılmaz ve ark. [10] tarafından yapılan açık kanaldaki batmış bitkinin, kanal akım hızları üzerindeki etkilerinin incelenmesi için düzenlenmiş olan deney sistemi, Flow-3D ile modellenmiş ve model ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 2. Laboratuvar çalışmaları

### 2.1. Deney kanalı

Laboratuvar çalışmaları, Yılmaz ve ark. [10] tarafından, uzunluğu 1100cm, genişliği 120cm ve yüksekliği 75cm olan doğrusal bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanal, yan duvarları cam olarak ve dikdörtgen kesitli teşkil edilmiştir. Akım, kanal içerisinde suyun devir daim yaptırılması ile sağlanmıştır. Kanal tabanı beton ile kaplanmış, bitkilerin yerleştirildiği kontrplak tabaka bu beton kaplamanın üzerine serilmiştir. Şekil 3'de kanalın kesitleri, Şekil 4'de ise yapay bitki yerleşimi görülmektedir. Şekil 3'de kanalın mansap ve membasında görülen delikli tuğlalar, çalkantının önlenmesi amacı ile yerleştirilmiştir. Çalışmalar SONTEK-Akustik Dopler Hız Ölçer (Acoustic Doppler Velocimeter- ADV) ile yürütülmüştür.



Şekil 3. Açık kanal, a) Plan, b) A-A kesiti (Ölçüler cm olarak verilmiştir.) [10]



Şekil 4. Parçalı bitkinin kanal içi yerleşimi [10]

Çalışmada; 320cm uzunluğunda ve 60cm genişliğinde bitki örtüsü kullanılmıştır ve kanal en kesitinin yarısında yer alacak şekilde hazırlanmıştır. Bitkiler; çapları  $d=1.0\text{cm}$  ve yükseklikleri  $h_v=5.0\text{cm}$  ve  $h_v=10\text{cm}$  olacak şekilde iki farklı yükseklikte, rijit plastik silindirik yapılardan oluşturulmuştur. Nepf [2]'de  $H$ , su derinliği ve  $h$ , bitki boyu oranına göre üç şekilde sınıflandırılma yapılabileceği belirtilmiştir. Derin bir şekilde (deeply submerged-unconfined) batmış durum ( $\frac{H}{h} > 10$ ), sığ batıklık (shallow submergence) durumu ( $\frac{H}{h} < 5$ ) ve kısmi batık durum (emergent) ( $\frac{H}{h} = 1$ ). Nepf ve diğ. [35]'de ( $\frac{H}{h} = 2$ ) durumunu, sınırlı derinlikli-tam batmış (depth-limited, submerged) olarak belirtmektedir. Bitki yükseklikleri için bu değerler dikkate alınmış ve derin bir şekilde batmış (deeply submerged) ile sınırlı derinlikli-tam batmış (depth-limited, submerged) arasında kalması sağlanmıştır. Bitki yoğunluğu,  $N=1142 \text{ IP/m}^2$  (yüksek yoğunluklu) şeklinde tasarlanmış, bitki sayısı ve bitki boyları Nepf [2]'de verilen aralıklar dikkate alınarak ( $ah \gg 0.1$  dense canopy-yoğun bitki-Denklem 3) düzenlenmiştir. Burada,  $\text{IP/m}^2$  birim alana gelen bitki sayısını göstermektedir. Bitki parçasındaki yapay silindirik bitkiler dikdörtgen bir levha üzerine şaşıtmalı bir düzende yerleştirilmiştir. Bu geometrik şekil için katı hacim oranı (silindirlerin kapladığı hacmin bitki tabakasının toplam hacmine oranı) ' $\Phi$ ' (SVF- Solid Volume Fraction) White ve Nepf, 2007 (34) tarafından denklem 1'deki gibi verilmektedir. Burada; yapay bitki çapı ' $d$ ', iki bitkinin merkezden merkeze mesafesi ' $s$ ' olarak ifade edilmektedir. Tablo 1'de deneyde ait hidrolik şartlar özetlenmiştir.

$$\Phi = \left(\sqrt{3}\pi/6\right) \left(d^2/s^2\right) \quad (1)$$

Ayrıca bitki tabakası yoğunluğu ‘a’ denklem 2’deki gibi elde edilmektedir. Burada, bitki ön yüzey alanı ‘A’, bitki hacmi ‘V<sub>0</sub>’ ile tariflenmektedir [2].

$$a = \left(A/V_0\right) \quad (2)$$

Bitki yoğunluğunun boyutsuz bir ölçüsü olan ‘λ’ ise denklem 3’de görüldüğü şekilde hesaplanabilmektedir. ‘h’ bitki yüksekliği, ‘d’ bitki çapı ve z=0 tabandan olan mesafeyi ifade etmektedir [2]. Nepf [2]’de, tam batmış bitki durumlarında; ah<<0.1 için ‘seyrek bitki’ ve ah>>0.1 durumlarında yoğun bitki olarak kabul edilebileceğini belirtmektedir. Bundan yola çıkarak, Tablo 1’de verilen hidrolik şartlarda görüldüğü üzere her iki bitki durumu da yoğun olmaktadır.

$$\lambda = \int_{z=0}^h adz = ah \quad (3)$$

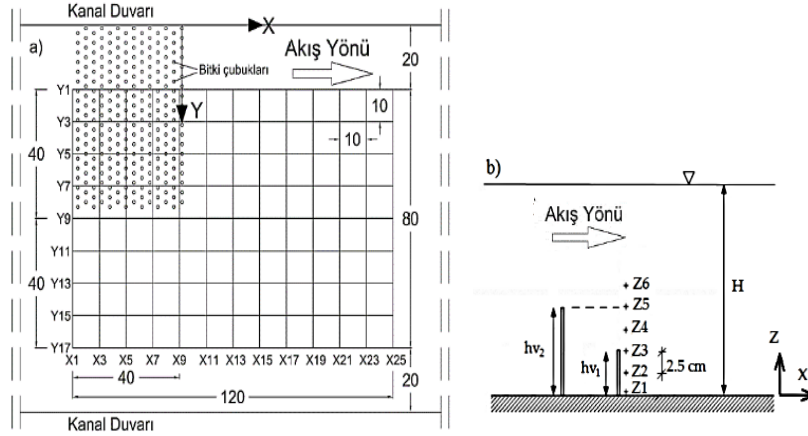
Yılmaz ve ark. [10] tarafından yapılan deneyler sırasında su seviyesi (H=30cm) ve akım hızı sabit tutulmuştur. Kanalda hız ölçümleri X(mansap pozitif yön), Y ve Z (tabanda z=0) doğrultularında gerçekleştirilmiştir. ADV’nin yerleştirildiği tekerlekli araba 3 boyutta ölçüm yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan bilgisayar modelinde de aynı yoğunluk ve boyutlardaki bitki modelleri 1/1 ölçekte solid yapı formunda Autocad ortamında hazırlanarak Flow 3D programına aktarılmıştır.

Reynolds Sayısı [Re = (u<sub>dm</sub>H/v) = 41 000] ve Froude Sayısı (Fr = (U<sub>dm</sub>/√gH)=0.08),

bitkisiz akım şartları için hesaplanan ortalama akım hızı (u<sub>dm</sub>) kullanılarak elde edilmiştir. Burada, H, v ve g sırasıyla; akım derinliği, kinematik viskozite ve yerçekimi ivmesidir. Hız ölçüm noktalarının X ve Y doğrultusundaki konumları ve ölçüm derinlikleri Şekil 5’de, ölçeksiz olarak verilmektedir. Burada; h<sub>10</sub>f<sub>8</sub>, 10 cm yüksekliğinde bitki modelleri ile hazırlanan 1142(IP/m<sup>2</sup>) yoğunluğunda ki bitki modeli düzenlemesini, h<sub>5</sub>f<sub>8</sub> ise 5 cm yüksekliğinde bitki modelleri ile hazırlanan yine aynı şekilde 1142(IP/m<sup>2</sup>) yoğunluğundaki bitki modeli düzenlemesini ifade etmektedir. Deneye ait detaylı bilgi Yılmaz ve ark. [10]’da görülebilmektedir.

Tablo 1. Hidrolik şartlar

Durum	N(IP/m <sup>2</sup> )	Φ	λ(ah)	h <sub>v</sub> (cm)	H/h <sub>v</sub>	u <sub>dm</sub> (cm/s)	v (m <sup>2</sup> /s)
h <sub>10</sub> f <sub>8</sub>	1142	0.08	1.14	10	3	13.6	1x10 <sup>-6</sup>
h <sub>5</sub> f <sub>8</sub>			0.57	5	6		



Şekil 5. Hız ölçüm noktalarına ait bilgiler  
a) Hız ölçüm noktaları b) Hız ölçüm derinlikleri [10]

### 3. Sayısal model çalışması

Hesaplama Akışkanlar dinamiği problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan Sonlu Farklar Metodunda kapalı şema veya açık şema temelinde kurulan algoritmalar ile 1. veya 2. Dereceden diferansiyel denklemler, cebirsel denklemler haline getirilerek bu denklemlerin çözümüne bir yaklaşım sağlanır. Açık şema algoritmalarında, yeni zaman adımının değerleri bir önceki zaman adımının değerlerinden hesaplanır [32]. Ayrıca, ancak courant sayısının 1 olduğu çözümlerde tam stabilite sağlanmaktadır. Bunun için açık şema algoritmalarında stabilite limitlerinin aşılmaması adına zaman adımı aralığı veya fiziksel difüzyon katsayısı gibi courant sayısının bazı değişkenlerinin ayarlanması gerekmektedir. Kapalı şema algoritmalarında ise yeni zaman adımının değerleri yine yeni zaman adımındaki değerler kullanılarak hesaplanır. Kapalı şema algoritmaları koşulsuz stabil olduğu için açık şemaya göre daha büyük zaman adımı aralıklarında dahi stabil sonuçlar alınabilmektedir.

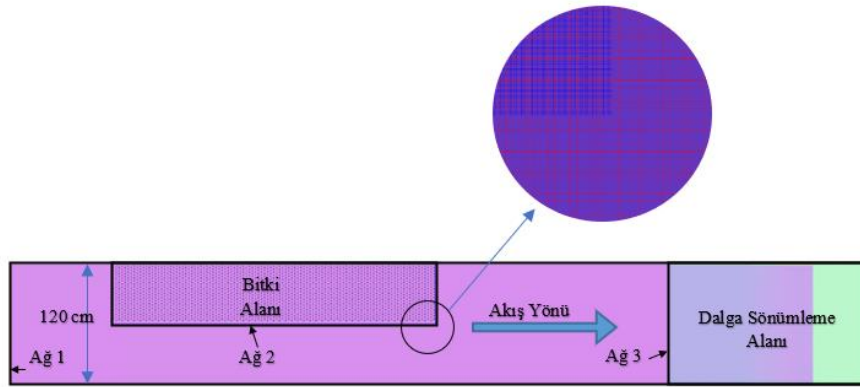
Sayısal modellemede, FLOW-3D ticari HAD (Hesaplama Akışkanlar Dinamiği) yazılımı kullanılmıştır. Flow-3D, Flow Science, Dr. C.W. (Tony) Hirt tarafından oluşturulmuş genel amaçlı, serbest yüzeyli akımların çözümünde oldukça başarılı olan bir HAD yazılımıdır. Bu yazılımla, süreklilik ve 3 boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri, sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözülmektedir. Program, akışkanın değişik koşullar altındaki durumlarına, sonlu hacimler yöntemi ve çeşitli nümerik yöntemlerden yararlanarak üç boyutlu çözümler üretebilmektedir. Çözüm ağı ile başlayan sayısal model, birbirine bağlı birçok yapıdan (eleman ve hücre) oluşur. Düğüm noktaları ile fiziksel alan küçük bölümlere ayrılmaktadır. Çözüm ağı, gerçek fiziksel bölgenin yerini alır ve akım özelliklerini düğüm noktalarında ifade etmek, sınır şartlarını belirlemek ve hareket denklemlerinin sayısal yaklaşımlarını geliştirmek için araçlar sağlar [32]. Flow-3D, serbest yüzeyli akım problemlerinin çözümü için akışkan hacmi (VOF-Volume of Fluid) metodunu kullanmaktadır [33]. Türbülans büyüklüklerinin hesaplanabilmesi için k-ε modeli, Prandtl karışım uzunluğu modeli, türbülans enerji modeli, RNG (Renormalized Group) modeli ve LES (Large-Eddy Simulation-Büyük Eddy Benzeşimi) modeli gibi farklı türbülans yaklaşımlarını kullanabilmektedir [32].

Flow 3D programında basınç hesaplamalarında sıkıştırılamaz akışlarda program kapalı şema algoritması ile çözümüne izin verirken; sıkıştırılabilir akışlarda hem kapalı hemde

açık şema algoritmalarının kullanımını kullanıcıya açmaktadır. Kapalı şema kullanıldığı zaman, Basınçlar her hücrenin içinde yinelemeli olarak belirlenir ve her bir basınç değişikliğinde oluşan hız değişimleri bir önceki adımda hesaplanan hızlara eklenir [32]. Sayısal modelde kullanılan denklemler Flow 3D programının default olarak kullandığı denklemlerdir. Bu denklemler de herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Programın kullandığı bu denklemler [32] de kayıtlı kaynakta bulunmaktadır.

### 3.1 Çözüm bölgesi

Sayısal modelde, deneylerin gerçekleştirildiği sistem dikkate alınmış ve uzunluğu 850 cm, genişliği 120 cm ve yüksekliği 40 cm olan çözüm bölgesi oluşturulmuştur. Kanal yan duvarları ve tabanda sınır şartı olarak “duvar” tanımlanmış ve bu şekilde katı yüzeylerde kaymama şartı (no-slip condition) uygulanmıştır. Pürüz yüksekliği olarak kanal tabanı için  $d_{50}=1\text{mm}$  olarak tanımlanmıştır. Flow-3D programında çözüm ağ aralıklarının küçültülmesi, sınır koşullardaki çözüm hassasiyetini artırırken çözüm süresini uzatmaktadır. Yapılan birkaç deneme sonucunda efektif çözüm olarak, bitki alanında tanımlanan ağ katmanında 5 mm hücre boyutu verilerek tatmin edici sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. Kanalın genelinde ise 2 cm hücre boyutunda ağ tanımlanarak hem bitkili bölgede bitki etrafındaki akımı tanımlayabilecek kadar detaylı hem de nispeten daha hızlı bir çözüm alınmıştır. Çözüm süresi, kararlı akım hali için 180sn olarak belirlenmiştir. Ayrıca, başlangıç dalgalanmalarını sönmölemek için mansap tarafında kanal kesitini kaplayan 1 metre uzunluğunda dalga sönmöleme alanı tanımlanarak toplamda yaklaşık  $33 \times 10^5$  adet hesap ağ elemanı çözülmüştür. Şekil 6’da model çalışmasına ait bir görsele yer verilmektedir.



Şekil 6. Model hesap alanına ait sayısal ağ görünümü

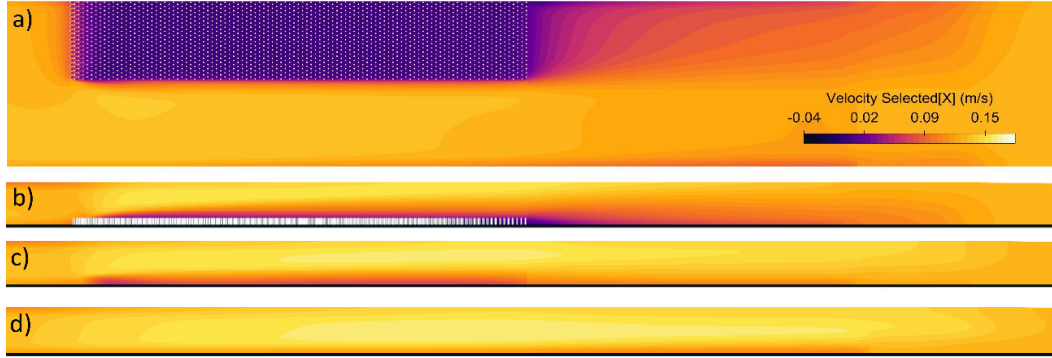
Bitki varlığı ve kanaldaki sınır koşulları nedeniyle viskoz kuvvetler devreye girerek akım içinde hız gradyanları oluşturacaktır. Ayrıca bitki yakınında oluşacak türbülans da düşünülerek programda viskoz akışkan seçilmiş ve türbülans özellikleri aktif hale getirilmiştir. Türbülans modeli olarak RNG (Renormalized Group) modeli ve maksimum türbülans karışım boyu için dinamik hesap kullanılmıştır. RNG modeli düşük yoğunluklu türbülanslı akımları daha doğru olarak tarif edebilmektedir [32].

## 4. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, Didem ve ark. [10] tarafından yapılan deneysel çalışmaya birebir uygun olarak; rijit, 10 cm ile 5 cm yüksekliğinde ve  $1142 \text{ IP/m}^2$  yoğunluğundaki batık bitki modelleri 1/1 ölçeğe Autocad ortamında solid formda hazırlanmıştır. Flow 3D programı



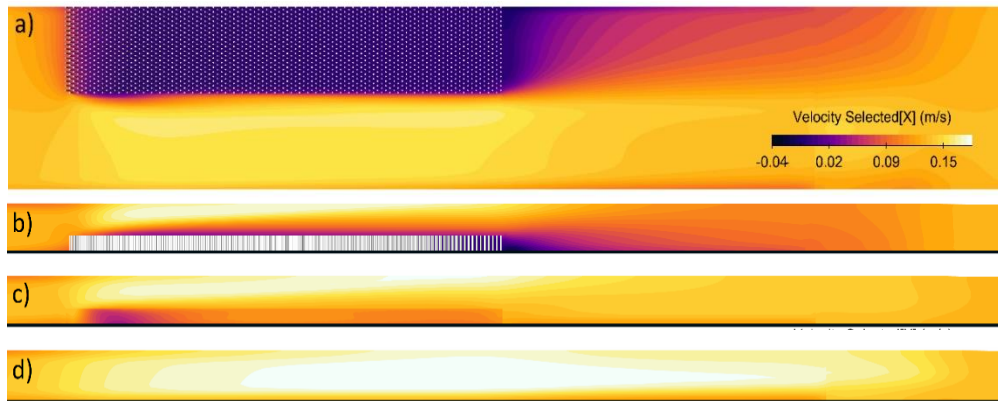
ile sayısal bir model oluşturulmuş ve Şekil 5’de görülen nokta ve derinliklerde oluşan hızların karşılaştırılması yapılmıştır. Oluşturulan sayısal modelde hız dağılımı genel olarak incelendiğinde, bitki modellerinin bulunduğu yarıda hızın, bitki modellerinin içinde oldukça düştüğü, üst kısmında ve bitkisiz yarıda ise arttığı görülmektedir (Şekil 7 ve Şekil 8. Ayrıca bitki art-iz bölgelerinde de akış hızları bitki yüksekliğiyle ters orantılı olarak düşmektedir.



Şekil 7. Hız dağılımları

a) h5f8 plan Z=4cm (Z2-Z3 arasında) b) h5f8-Y3 kesiti c) h5f8-Y9 kesiti d) h5f8-Y15 kesiti

Yüksekliği 10 cm olan bitki modelinde kesit alanı daha fazla sınırlandırıldığı için süreklilik denklemi gereği bu modelde bitkisiz yarı alanda ve bitki tarlası üzerinde gelişmeye başlayan “ikincil sınır tabakası” ile su yüzü arasında kalan dar bir bölgede akış hızı, 5 cm yüksekliğindeki bitki modelinde aynı alanlarda oluşan akış hızlarına kıyasla daha fazla artmıştır. Buna karşın bitki modelinin art-iz bölgesinde ve bitki tarlasının hemen üzerinde oluşan “ikincil sınır tabakası” içinde pürüz yüksekliğinin artmasına bağlı olarak yüksekliği 10 cm olan bitki modelinde daha düşük hızların oluştuğu görülmüştür (Şekil 7/d, Şekil 8/d, Şekil 11 ve Şekil 14).

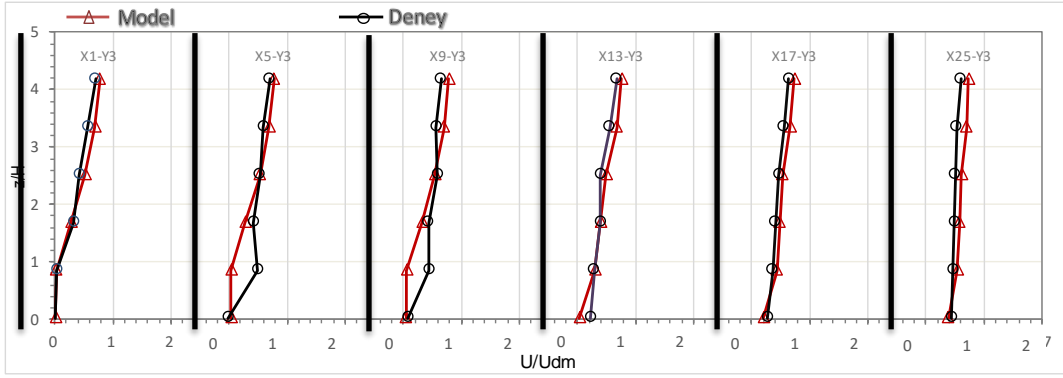


Şekil 8. Hız dağılımları

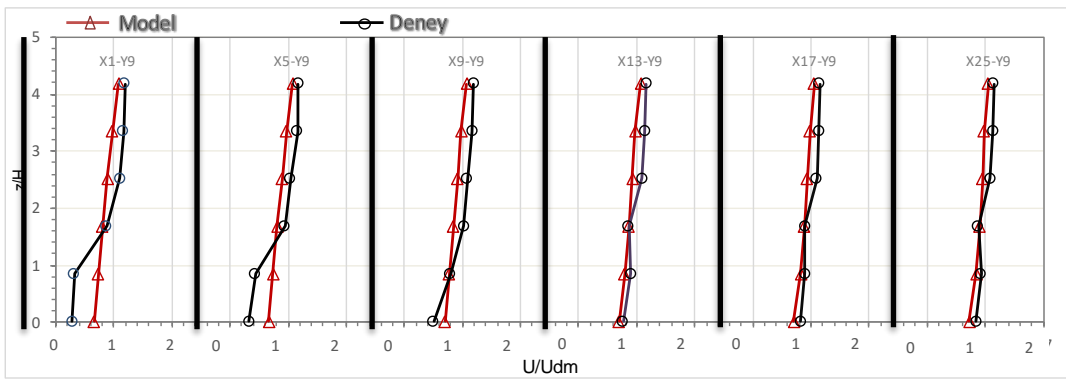
a) h10f8 plan Z=4cm (Z2-Z3 arasında) b) h10f8-Y3 kesiti c) h10f8-Y9 kesiti d) h10f8-Y15 kesiti

Flow 3D programıyla hesaplanan hız değerleri ile deney sonuçları kıyaslandığında, genel olarak iyi bir uyum görülmektedir. Ancak, bitkili ve bitkisiz akış alanları arasındaki sınırda, Y9 olarak isimlendirilen kesitte okunan hızlarda, deney ile Flow 3D program çıktıları arasında sapmalar olduğu görülmektedir (Şekil 10 ve Şekil 13).

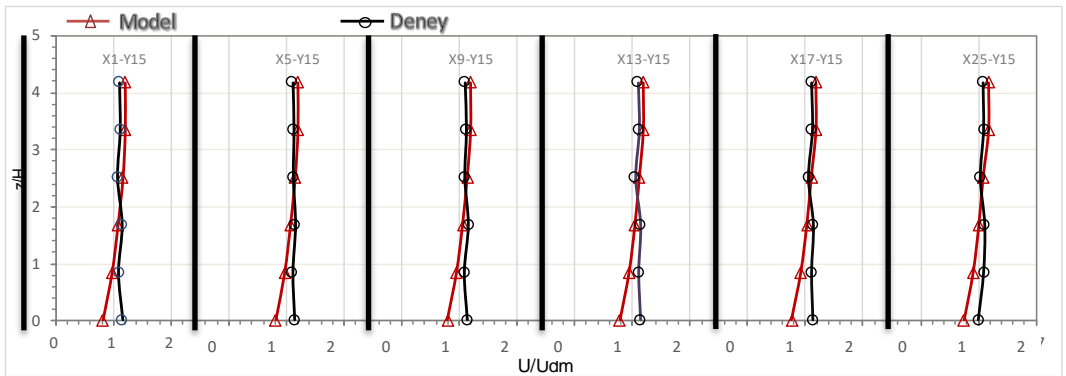




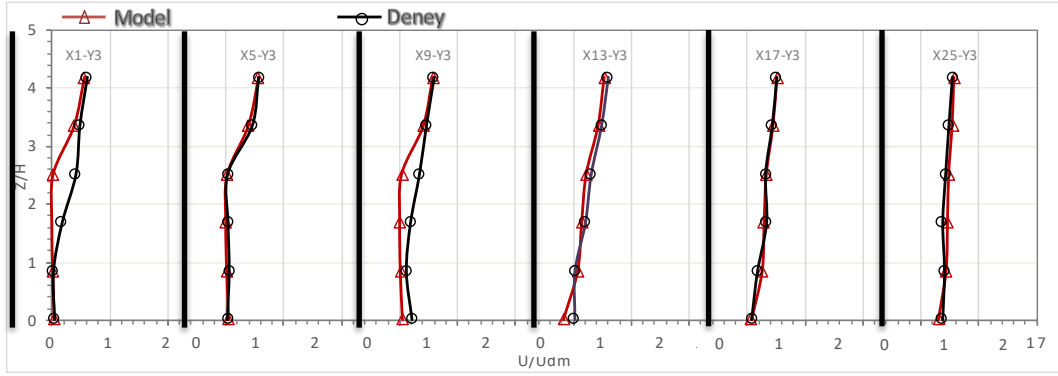
Şekil 9. h5f8 Y3 akışındaki hızlar



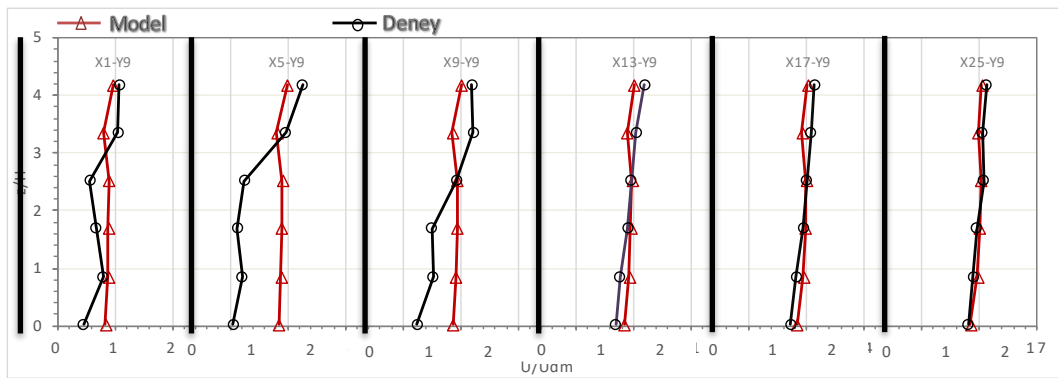
Şekil 10. h5f8 Y9 akışındaki hızlar



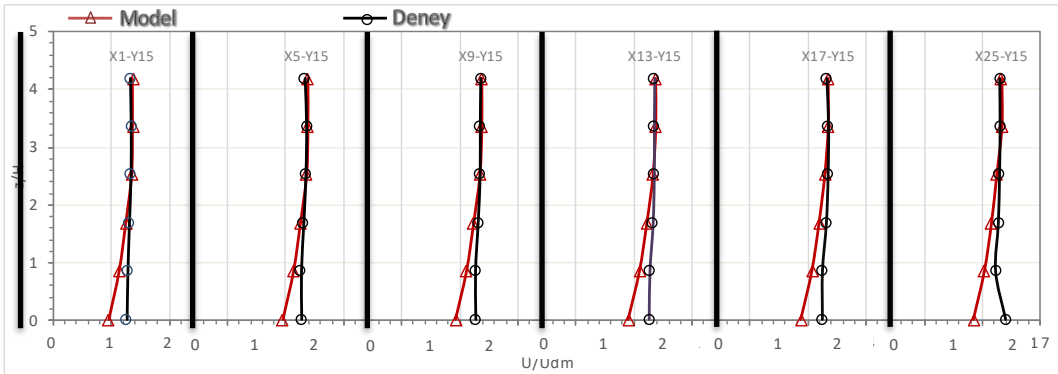
Şekil 11. h5f8 Y15 akışındaki hızlar



Şekil 12. h10f8 Y3 akışındaki hızlar

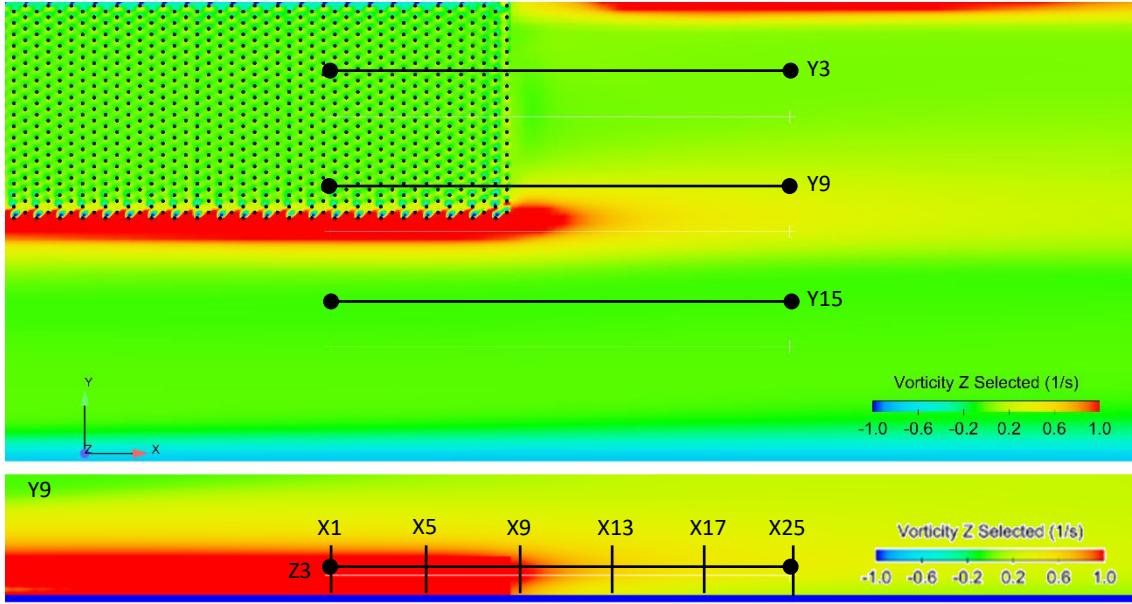


Şekil 13. h10f8 Y9 akışındaki hızlar



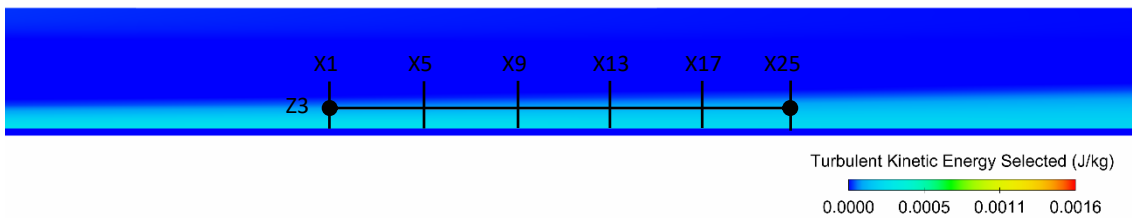
Şekil 14. h10f8 Y15 akışındaki hızlar

Y9 akışında X1, X5 ve X9 kesitlerinde görülen bu sapma Şekil 15’de renk dağılımları ile gösterilen türbülans dağılımı nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Öyle ki bitki bölgesi ile bitkisiz bölge arasındaki sınır bölgede yüksek hızlı akış tabakası ile düşük hızda ki akış tabakası arasındaki momentum transferi mekanizması, tabakalar arasında ki hız farkından oluşan Reynolds Gerilmeleri ve dolayısıyla oluşan türbülanslı akış sayesinde sağlanmaktadır. Bu türbülanslı akış bölgesinde (Y9 akışında X1, X5 ve X9 kesitleri) deney ile bilgisayar modeli hız değerleri arasındaki sapmanın, modelde tanımlanan çözüm ağı sonlu hacim büyüklüğünün  $(0.5 \times 0.5 \times 0.5) \text{cm}^3$  türbülans bölgesinde oluşan küçük ölçekteki çevrilerin (eddy) belirlenmesinde yeterli olamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 15. h10f8 Y9 aksı Z yönündeki vortisite

Ayrıca, Y15 olarak isimlendirilen bitkisiz alanda yapılan hız ölçümlerinde, deney ile Flow 3D program çıktıları arasında tabana yakın bölgede bir miktar sapmanın olduğu görülmüştür. Bitkisiz olan bu bölgede, bitki varlığı ile daralan kesit nedeniyle akış hızı ortalama akışın üzerinde gerçekleşmektedir ve bitki yüksekliği arttıkça Y15 aksındaki akış hızı da artmaktadır. Bu bölgede tabanın kaymama koşulu nedeniyle taban ile üst akış bölgesi arasındaki yüksek hız farklarından dolayı oluşan Reynolds gerilmelerinin viskoz etkiler ile sönmelendirilemeyecek kadar büyük olması dolayısıyla tabana yakın bu bölgede (Z1- Z3 seviyeleri arasında) bir türbülanslı akış bölgesi oluşmaktadır (Şekil 16). Y15 olarak isimlendirilen bitkisiz alanda yapılan hız ölçümlerinde, deney ile Flow 3D program çıktıları arasında tabana yakın bölgede oluşan sapmanın bu türbülans bölgesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 16. h10f8Y15 aksı Türbülans kinetik enerjisi

Bu çalışmada yapılan modelleme sonucunda özellikle Y9 ve Y15 akslarının geçtiği yoğun türbülans alanlarında daha yoğun ağ yapıları ile yapılacak model çalışmalarının tekrarlanması daha iyi olacağı görülmüştür. İleriki çalışmalarda, daha yoğun ağ modeli ile çalışılması planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Fonseca, M.S., Kenworthy, W.J., Effect of current on photosynthesis and distribution of seagrasses, **Aquatic Botany**, 27, 59-78, (1987).

- [2] Nepf, H.M., Flow and transport in regions with aquatic vegetation, *Annual Review Fluid Mechanics*, 44, No.1, 123-142, (2012).
- [3] Altun, Ö., Bitki örtüsü içeren bileşik kesitli kanallarda kapasite tayini yaklaşımlarının model deneylerine göre irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [4] Plew, D.R., Spiegel, R.H., Stevens, C.L., Nokes, R.I., Davidson, M.J., Stratified flow interactions with a suspended canopy, **Environmental Fluid Mechanics**,6, 519-539, (2006).
- [5] Huai,W., Hu, Y., Zeng, Y., Han, J., Velocity distribution for open channel flows with suspended vegetation, **Advances in Water Resources**, 49, 56-61, (2012).
- [6] Plew, D.R., Depth averaged drag coefficient for modeling flow through suspended canopies, **Journal of Hydraulic Engineering**, 137(2), 234-247, (2011).
- [7] Hartshorn, N., Marimon, Z., Xuan, Z.M., Chang, N.B., Wanielista, M.P., Effect of floating treatment wetlands on control of nutrients in three stormwater wet detention ponds, **Journal of Hydraulic Engineering**,21,8, (2016).
- [8] Wu, H., Hao, B., Cai, Y., Liu, G., Xing, W., Effects of submerged vegetation on sediment nitrogen-cycling bacterial communities in Honghu Lake (China), **Science of the total environment**, 755, 1, 142541, (2021).
- [9] Yao, L., Chen, C., Liu, G., Liu, W., Sediment nitrogen cycling rates and microbial abundance along a submerged vegetation gradient in eutrophi lake, **Science of the total environment**, 616-617, 899-907, (2018).
- [10] Yilmazer, D., Ozan, A.Y., Cihan, K., Flow characteristics in the wake region of a finite-length vegetation patch in a partly vegetated channel, **Water**, 10, 4, 459, (2018).
- [11] Ozan, A.Y., Yilmazer, D., Near wake flow structure of a suspended cylindrical canopy patch, **Water**, 12, 84, (2020).
- [12] Kubrak, E., Kubrak, J., Rowinski, P.M., Vertical velocity distribution through and above submerged, flexible vegetation, **Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologique**, 53.4, (2008)..
- [13] Akgül, M.A., Yilmazer, D., Oğuz, E., Kabdaşlı, M.S., Yağcı, O., The effect of an emergent vegetation (i.e. *Phragmites Australis*) on wave attenuation and wave kinematics, **Journal of Coastal Research**, 65(10065),147-152, (2013).
- [14] Mendez, F.J., Losada, I.J., An empirical model to estimate the propagation of random breaking and non-breaking waves over vegetation field, **Coastal Engineering**, 51, 103-118, (2004).
- [15] Möller, I., Quantifying saltmarsh vegetation and its effects on wave height dissipation: results from a UK east coast saltmarsh, estuarine, **Coastal and Shelf Science**, 69,337-351, (2006).
- [16] Myrhaug, D., Holmedal, L.E., Ong, M.C., Non-linear random wave induced drag force on a vegetation field, **Coastal Engineering**, 56,371-376, (2009).
- [17] Rosman, J.H., Koseff, J.R., Monismith, S.G., Grover, J., A field investigation into the effects of a kelp forest (*Macrocystis Pyrifera*) on coastal hydrodynamics on transport, **Journal of Geophysical Research**, 112, C02016, (2007).
- [18] Knutson, P.L., Brochu, R.A., Seelig, W.N. et al. Wave damping in *Spartina alterniflora* marshes. *Wetlands* 2, 87–104 (1982).
- [19] Bradley, K., Houser, C., Relative velocity of seagrass blades: Implications for wave attenuation in low energy environments, **Journal of Geophysical Research Earth Surface**, 114(1),1-13, (2009).
- [20] Ghisalberti, M., Nepf, H.M., The limited growth of vegetated shear layers, **Water Resources Research**, 4, 40, W07502, (2004).

- [21] Ghisalberti, M., Nepf, H., The structure of the shear layer in flow over rigid and flexible canopies, **Environmental Fluid Mechanics**, 6, 277-301, (2006).
- [22] Zhao, F., Huai, W., Li, D., Numerical modeling of open channel flow with suspended canopy , **Advanced Water Resources**, 105, 132-143, (2017).
- [23] Lu, J., Dai, H.C., Numerical modeling of pollution transport in flexible vegetation, **Applied Mathematical Modelling**, 64, 93-105, (2018).
- [24] Anjum, N., Tanaka, N., Numerical modeling of the turbulent flow structure through vertically double layer vegetation, **Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser. B1(Hydraulic Engineering)**, 75, 2, I\_487-I\_492, (2019).
- [25] Hemavathi, S., Manjula, R., Numerical modeling for wave attenuation by coastal vegetation using flow-3d, **International Journal of Recent Techonology and Engineering (IJRTE)**, 7, 65, (2019).
- [26] Kubrak, E., Kubrak, J. And Rowinski, P.M., Vertical velocity distributions through and above submerged, flexible vegetation., **Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques**, 53, 4, (2008).
- [27] Yiping Li, Ying Wang, Desmond Ofori 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 plants, **Geomorphology** 204, 314-324, (2014).
- [28] Beihan Jiang, Kejun Yang, Shuyou Cao, An analytical model for the distributions of velocity and discharge in compound channels with submerged vegetation, **Plos One**, (2015).
- [29] Dorcheh, S. A. M., Effect Of Rigid Vegetation On The Velocity, Turbulence and Wave Structure in Open Channel Flows., **PhD Thesis, Cardiff University.**, (2007).
- [30] Birol ATAY, Ana Yatakta ve Taşkın Yatağında Bitki Örtüsü Bulunan Açık Kanal Akımlarının Sayısal Model ile İncelenmesi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2016).
- [31] Selcan Sovukluk, Önder Koçyiğit, Bahadır Alyavuz, Akarsu Yatağındaki Bitki Örtüsünün Akım Şartlarına Etkisinin Sayısal Yöntemle İncelenmesi, **4. Su Yapıları Sempozyumu**. 361-370, (2015).
- [32] Flow 3D User Manual Release 11.0.3, **Flow Science**, Inc. (2014).
- [33] Hirt, C. W., ve Nichols, B. D., Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries, **Journal of Computational Physics**, 39, 201–225, (1981).
- [34] White, B.L., ve Nepf, H.M., Shear instability and coherent structures in shallow flow adjacent to a porous layer, **Journal of Fluid Mechanics**, 593, 1-32, (2007).
- [35] Nepf, H.M., ve Vivoni, E., R., Flow structure in dept-limited, vegetated flow, **Journal of Geophysical Research**, 105(C12), 28,547-28,557, (2000).