

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE AÇIK KANAL AKIMINDA BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN AKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ANALİZİ

Rahim ŞİBİL *

Alınma: 02.06.2023 ; düzeltme: 26.10.2023 ; kabul: 30.01.2024

Öz: Bu çalışmada bitki örtüsünün, dikdörtgen bir açık kanal üzerindeki akım özelliklerine olan etkisi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizi kullanılarak incelenmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. Akımın üç boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı ve kararlı olduğu kabul edilmiştir. Sayısal çalışma literatürde yapılan deneysel bir çalışma ile doğrulanmıştır. Sayısal çalışmanın deney sonuçlarını başarılı bir şekilde tahmin ettiği gözlemlenmiştir. Sayısal çalışma ve ölçüm sonuçları arasındaki bağıl hata %10'un altında bulunmuştur. Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda, bitki örtüsünün kanalın akım ve türbülans özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bitki örtüsü olan bölgelerde, su yüzeyinde hızların çok düşük olduğu, yaprak örtüsünün altında kökler arasında ise hızların yüksek olduğu ve maksimum hızın 0,1177 m/s ile bu bölgede gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca türbülans viskozitesinin serbest alanlarda fazla olduğu gözlemlenirken türbülans enerji kırılımının katı-sıvı temas bölgelerinde fazla olduğu görülmüştür. Bu çalışma, açık kanal akışının bitki örtüsüyle etkileşimini anlamak ve açık kanal sistemlerinin hidrolik açıdan performansını geliştirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açık-kanal akımı, Bitki örtülü kanal, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Türbülans,

Analysis of the Effect of Vegetation on Flow Characteristics in Open Channel Flow Using Computational Fluid Dynamics

Abstract: In this study, the impact of vegetation on flow characteristics in a rectangular channel was investigated using Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis. Ansys Fluent software was used for CFD analyses. The flow was assumed to be three-dimensional, incompressible, turbulent, and steady. The numerical study was verified against an experimental study conducted in the literature. The numerical study predicts the measurement results successfully. The relative error between the numerical study and measurement values was found to be under %10. The study shows that the vegetation alters the flow and turbulent characteristics significantly. In regions with vegetation, the velocities on the water surface were very low, while velocities were high between the roots beneath the vegetative cover, with maximum velocity occurring in this region with the value of 0.1177 m/s. Also, turbulence viscosity is high in the free regions, while turbulent eddy dissipation is high in the solid-liquid contact zones. This study provides important insights to understand the interaction of open channel flow with vegetation and to enhance the hydraulic performance of open channel systems.

Keywords: Open-channel Flow, Vegetated-channel, Computational Fluid Dynamics, Turbulent,

1. GİRİŞ

Açık kanal hidroliği, akan sıvının serbest bir yüzey oluşturduğu ve yerçekimi tarafından yönlendirildiği sıvı akışının fiziğinin incelenmesidir. Açık-kanallar günümüzde tarımsal sulama sistemlerinde, balık yetiştirme havuzlarında, su arıtma veya aktarma sistemlerinde, akarsularda

* Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
İletişim Yazarı: Rahim Şibil (rahimsibil@gumushane.edu.tr)

yaygın olarak kullanılmaktadır (Jebelli ve diğ., 2022; Sturm ve diğ., 2021). Suların bulunduğu akarsular, göller, sulak alanlar ve yapay yüzen adalar gibi birçok yerde yaygın olarak bulunan sucul bitkiler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkileyebilir ve çeşitli ekosistem işlevlerini sağlayabilir. Özellikle açık kanal hidroliğinin en önemli örneklerinden biri olan akarsular da bitki büyümesi akım ve türbülans özelliklerini önemli derece etkilemektedir.

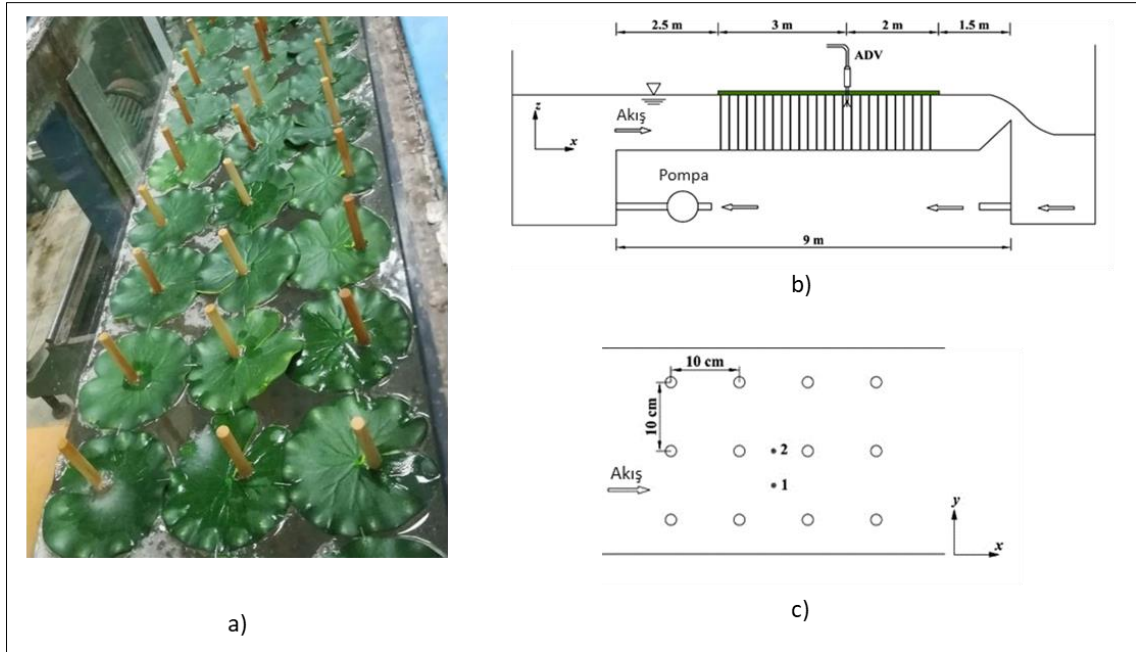
Açık-kanal akımı konusunda literatürde yapılmış birçok sayısal ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Farklı hidrolik parametrelerin etki ettiği açık kanal akımının hız alanları ve su yüzü profilleri gibi hidrodinamik özellikleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı Ansys Fluent ile iki boyutlu olarak akışkan hacimleri yöntemi ve farklı türbülans modelleri kullanılarak modellenmiştir (İspir ve diğ., 2016; Şimşek, 2020; Şimşek ve diğ., 2016). Açık kanal akımında bitki büyümesi sebebiyle özellikle taban pürüzlülüğü değişmekte, bu da kanalın hidrolik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Açık kanallarda sucul bitki örtüsü akım koşullularına ve bitki habitatına bağlı olarak yüzen yapraklı, askıda veya batık olabilmektedir (W. Huai ve diğ., 2012). Farklı bitki örtülerinin batıklık seviyelerinin açık-kanal akımının hidrodinamik özellikleri üzerine etkileri birçok çalışmada deneysel ve sayısal olarak irdelenmiştir. Han ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada, kanal yatağı ve bitki örtüsünün birleşik etkisi altında akış yönündeki hızın dikey profili ve türbülans karakteristiklerini araştırmak amacıyla, yapay lotus yaprağı kaplı bir kanalda laboratuvar deneyleri gerçekleştirmiştir. W. X. Huai ve diğ. (2019) akış hızının sabit olduğu, bitki yerleşiminin düzenli olduğu ve Froude sayısının alt-kritik koşullarda tutulduğu kontrol edilen bir kanal ortamında, ortalama akışı ve türbülans özelliklerini araştırmışlardır. Stoesser ve diğ. (2009) Büyük Eddy Simülasyonları (LES), batık bitki örtüsüne sahip bir açık kanal akışında hız alanlarının hesabı için gerçekleştirmiştir. Rahim ve diğ. (2023) yaptıkları çalışma da yüzen bitki örtüsünün yoğunluğunun türbülanslı akış yapısı üzerindeki rolünü ve etkilerini incelemek üzere akış hızı dağılımı, türbülans karakteristikleri ile kütle ve momentum değişiminin dahil olduğu parametrelerin farklı yaklaşma ve dağılma açılarındaki karşılaştırılmasını ele almışlardır. Tang ve diğ. (2023) yaptıkları deneysel çalışmada bitki örtüsüyle kaplı bir kanalda (10, 15 ve 20 cm yüksekliklerinde) lineer bir düzenleme ile ve batık koşullar altında hız alanlarını bulmuşlardır. Bununla birlikte, gelişen teknoloji sayesinde açık kanal akımı gibi hidrolik problemler için HAD analizleri yapabilen bilgisayar programları kullanılarak akım özellikleri sayısal olarak kolaylıkla tahmin edilebilmektedir. Bu da deneysel çalışmalarla ilgili zaman, iş gücü ve maliyet gibi kısıtlamaların üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda Yılmaz ve diğ. (2022) 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. Wang ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada farklı batıklık oranlarına ve bitki yoğunluğuna sahip açık bir kanalda sıvı-yapı etkileşimini dikkate alarak akım özelliklerini sayısal olarak incelemiştir. Amina ve Tanaka (2022) İki Fazlı Akışkan Hacimleri Modelleme Tekniği (Volume of Fluid) kullanarak sınırlı yükselen bitki çevresindeki üç boyutlu akış özelliklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Anjum ve Tanaka (2020), kanalın yarı genişliğini kaplayan kesikli, sert bitki örtüsüne sahip bir açık kanal içindeki akış karakteristiklerini, üç boyutlu olarak ve Reynolds stres türbülans modeli ile sayısal olarak incelemişlerdir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında bitkili açık kanal akımının akım ve türbülans özelliklerinin üç boyutlu olarak HAD yazılımlarıyla sayısal olarak analizi üzerine sınırlı sayıda çalışma vardır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak adına bu çalışmada, su yüzeyinde bitki örtüsüne sahip dikdörtgen kesitli bir açık kanalın hidrodinamik özelliklerinin HAD yazılımı ANSYS Fluent kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Sayısal çalışma, Li ve diğ. (2020) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçlarıyla doğrulama yapılarak yürütülmüştür. Akım üç boyutlu, sıkışmayan, kararlı ve türbülanslı olarak modellenmiştir. Bu analizler, açık kanal akışının bitki örtüsüyle etkileşimini anlamak ve açık kanal sistemlerinin hidrolik açıdan performansını geliştirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Deneysel Çalışma

Sayısal model için Li ve diğ. (2020)'nin fiziksel modeli kullanılmıştır. Deneyler laboratuvar ölçeğinde 9 m uzunluğunda, 0,3 m genişliğinde ve 0,5 m derinliğinde dikdörtgen bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanal sonundaki arka kapak ayarlanarak su derinliği sabit tutulmuş ve elektromanyetik debimetre kullanılarak debi kaydedilmiştir. Yapay yüzen yapraklı bitki örtüsü, etilen vinil asetat kopolimer malzemelerinden yapılmış yüzen bir biyonomik nilüfer yaprağı ve 10 cm çapında, sert bir ahşap silindir gövdeden oluşmaktadır. Şekil 1-a'da gösterildiği gibi yaprak, kanal yatağına sabitlenmiş ağaçlık gövde boyunca hareket ettirilebilir ve her zaman çeşitli derinliklerde su yüzeyinde yüzmektedir. Bitki örtüsü bölgesinin uzunluğu 5,0 m ve kanal girişinden 2,5 m sonra başlamaktadır. Bitki örtüsü, sırasıyla 0,1 m x 0,1 m'lik uzunlamasına ve enine aralıklarla paralel bir düzende yerleştirilmiştir. Kanal girişinde $x = 0$ ayarlandığında, $x = 5,0$ m, 5,5 m ve 6,0 m'de ortalama akış yönünde hız profilleri arasında yalnızca küçük bir fark gözlenmiştir. Bu nedenle, akışın $x = 5,5$ m'den sonra tamamen geliştiği varsayılmış ve ölçüm bölümü kanal girişinin 5,5 m aşağısına ayarlanmıştır (Şekil 1-b). Boyuna, enine ve dikey yönlere karşılık gelen hız verileri (u , v , w), her örnek için örnekleme frekansı 50 Hz ve örnekleme süresi 120 s olan bir Akustik Doppler Hız Ölçer (ADV) kullanılarak kaydedilmiştir. Hız ölçümleri için iki örnekleme yeri seçilmiştir (Şekil 1-c). İlk konum, iki çubuk arasındaki merkez çizgi üzerinde (konum 1) ve diğer konum, bitki örtüsünün arkasındadır (konum 2). Mekânsal ortalama hız ve Reynolds gerilimini elde etmek için bu konumlardan hız istatistiklerinin ortalaması alınmıştır.



Şekil 1:

a-) Bitki örtüsünün yerleşim düzeni, b-) deney düzeneğinin şeması, c-) ADV hız ölçümleri için örnekleme konumlarının plan görünümü. (Li ve diğ., 2020)

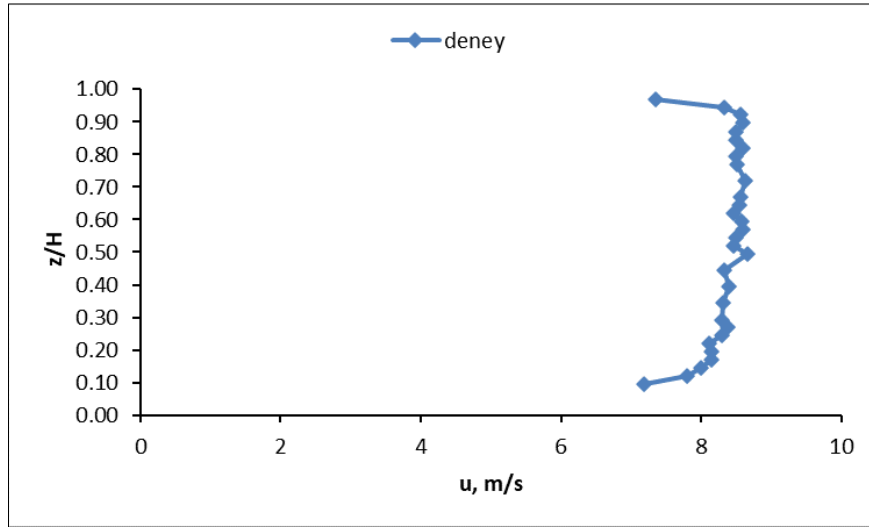
Her bir ölçüm hattındaki ölçüm noktalarının dikey aralığı 0,5 cm ile 1,0 cm arasında değişmektedir. Deney özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel parametrelerin özeti (Li ve diğ., 2020)

Q (L/s)	H (cm)	B (cm)	ϕ	U (cm/s)	R (cm)	Re
5,00	20,0	30	8,38	8,57	28,641	5,00

Not: Q; akış debisi; H; akış derinliğidir; B; kanal genişliğidir; ϕ ; dalların işgal ettiği katı hacim oranıdır; U; $U = Q / ((1-\phi)HB)$ tarafından hesaplanan ortalama hızdır; R, hidrolik yarıçaptır; ve Re, Reynolds sayısıdır.

Deneysel çalışma sonucu elde edilen hız profili değerleri Şekil 2' de verilmiştir.



Z: düşey mesafe,m, H: su yüksekliği, 20 cm.

Şekil 2:

Ölçülen hız profili değerleri (Li ve diğ., 2020)

2.2 Sayısal Modelleme

Bu çalışmada bitki büyümesi gelişen açık bir kanalda akım özelliklerinin tahmin edilebilmesi için HAD analizi yapabilen Ansys Fluent programı kullanılmıştır. Sayısal model için literatürde Li ve diğ. (2020)'nin deneysel çalışması dikkate alınmıştır. Öncelikle sayısal modelin doğrulaması yapılmış ve daha sonra aynı model üzerinde açık kanalda bitki büyümesinin akım ve türbülans özelliklerine etkisi HAD yardımıyla incelenmiştir.

ANSYS Fluent programıyla üç boyutlu, sıkıştırılmayan, kararlı ve türbülanslı akım koşullarında analizler yapılmıştır. Fluent yazılımı kütle korunumu, momentum korunumu ve akışkan parçacıklarının hareketi için Navier-Stokes (N-S) denklemleriyle çözüm sunmaktadır. Türbülans modeli olarak bu tür akışlarda literatürde sıklıkla kullanılan gerçekleştirilebilir k- ϵ (realizable k- ϵ) türbülans modeli kullanılmıştır (ANSYS Fluent, 2013; Hou ve Zou, 2005; Launder ve diğ., 1975; Launder ve Spalding, 1974; Skote ve diğ., 1998; Wilcox, 2006; Yakhot ve Orszag, 1986). Türbülans modelleriyle ilgili detaylı bilgi ayrıca önceki çalışmamızda verilmiştir (Şibil ve diğ., 2021).

Gerçekleştirilebilir k-ε modeli (real), standart k-ε modelinden farklıdır çünkü gerçekleştirilebilir k-ε modelinde türbülans viskozitesi için başka bir ifade kullanılır. Ayrıca, türbülans dağılım oranı için taşıma denklemi revize edilmiştir.

Gerçekleştirilebilir k-ε modeli için revize edilmiş taşıma denklemleri şunlardır:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (2)$$

Burada

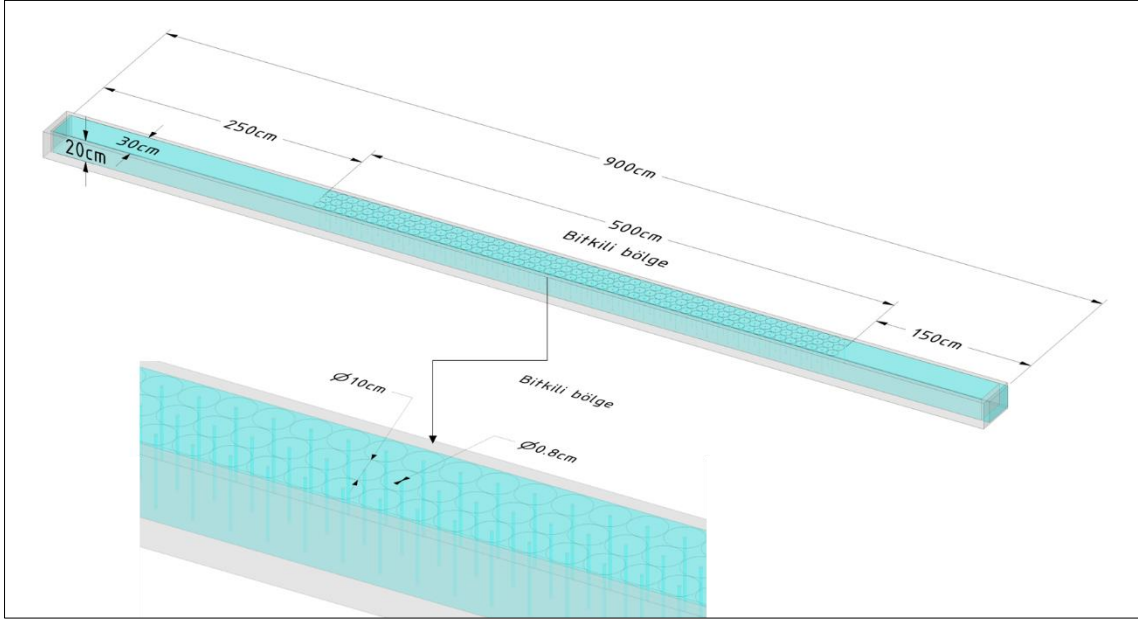
$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, \quad S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (3)$$

Shih ve arkadaşları gerçekleştirilebilir k-ε modelini geleneksel k-ε modellerinin eksikliklerini gidermek için geliştirmişler (Shih ve diğ., 1995).

2.3 Sayısal Modelin Doğrulaması

Yukarıda deney düzeneği verilen deneysel çalışma sayısal olarak Ansys Fluent HAD yazılımında modellenerek sayısal modelin doğrulaması yapılmıştır.

Bu sayısal modelin geometrisi Ansys Workbench arayüzüne bütünleşmiş SpaceClaim üç boyutlu çizim programında hazırlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3:
Doğrulaması yapılan modelin geometrisi ve boyutları

Sayısal model, Ansys Meshing programında optimum mesh boyutları gözetilerek yapısal olmayan üçgen prizma elemanlarıyla bölünmüştür. Ağdan bağımsızlık testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir. Ağdan bağımsızlık testi sonucunda kaba ve orta ağ seçenekleri için elde edilen sonuçlar arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Bu nedenle, ekonomiklik göz önünde bulundurularak kaba ağ seçeneği tercih edilmiş ve 4.124.275 eleman ile 754.583 düğüm noktasını içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur (Şekil 4).

Sınır koşulları olarak, kanal girişinde kütle akış girişi, kanal çıkışında basınç çıkışı, su yüzeyinde simetri, katı yüzeylerde standart duvar sınır koşulları uygulanmıştır. Analizde kullanılan akışkan su olup, suyun fiziksel özellikleri şu şekildedir: yoğunluk $\rho=998,2 \text{ kg/m}^3$, dinamik viskozite $\mu=0,001003 \text{ kg/m-s}$.

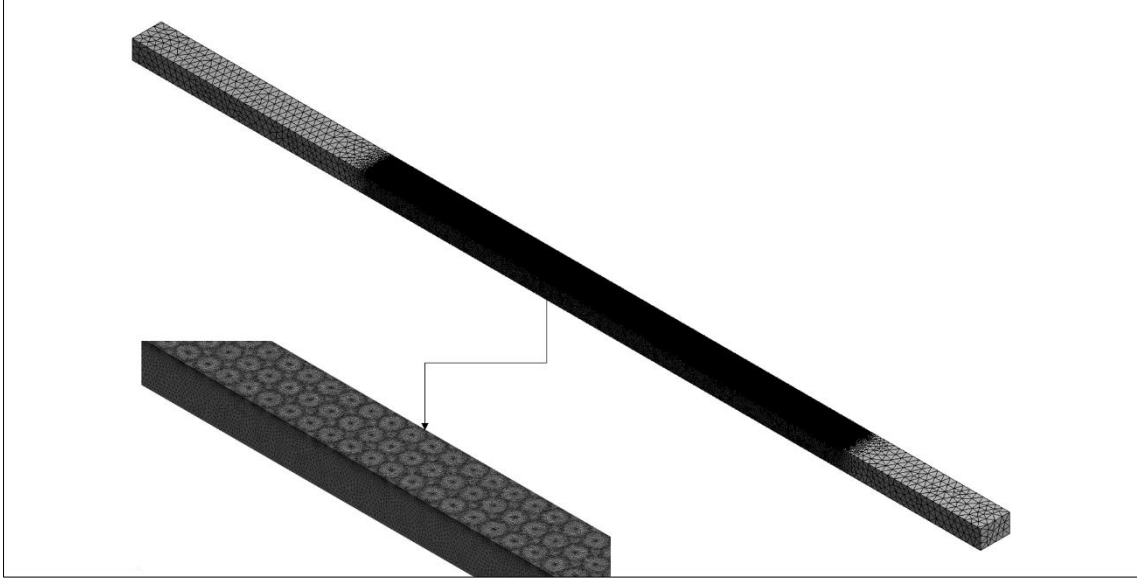
Tablo 1'deki deney parametreleri dikkate alınarak, denklem 4'ten kütle akış girişi değeri 4,991 kg/s olarak hesaplanmıştır. Kanaldaki su yüksekliği 20 cm'dir. Duvar sınır koşulu için, kanalda pürüzlülük yüksekliği $k_s=0,0021 \text{ m}$ ve yapraklarda $k_s=0,0010 \text{ m}$ olarak alınmıştır. Pürüzlülük katsayısı C_d ise 1 olarak kabul edilmiştir (Li ve diğ., 2020).

Analizler, kalan değeri 10^{-6} seçilerek ve 2000 iterasyonla gerçekleştirilmiş ve gerekli yakınsama sağlanmıştır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi, ilgili grafikler ve şekillerle birlikte başlık 3'te detaylı olarak sunulmuştur.

$$m \quad Q \quad 998,2 \text{ kg/m}^3 \quad 510^3 \text{ m}^3/\text{s} \quad 4,991 \text{ kg/s} \quad (4)$$

Tablo 2. Ağdan bağımsızlık testi

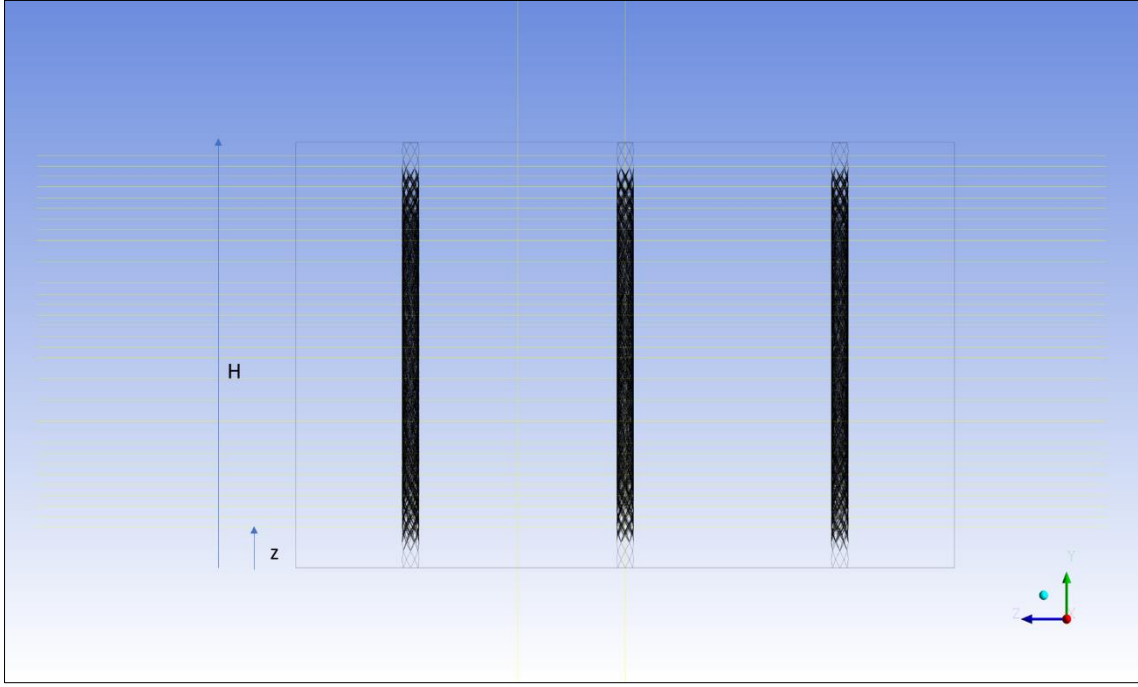
Ağ	Eleman sayısı	Çıkış hızı m/s	Türbülans kinetik enerji m^2/s^2	Türbülans dağılım oranı m^2/s^3	Efektif viskozite kg/m-s
Kaba	4.124.275	0,0808	4,75E-05	6,46E-06	0,042
Orta	13.279.488	0,0805	4,81E-05	7,17E-06	0,039



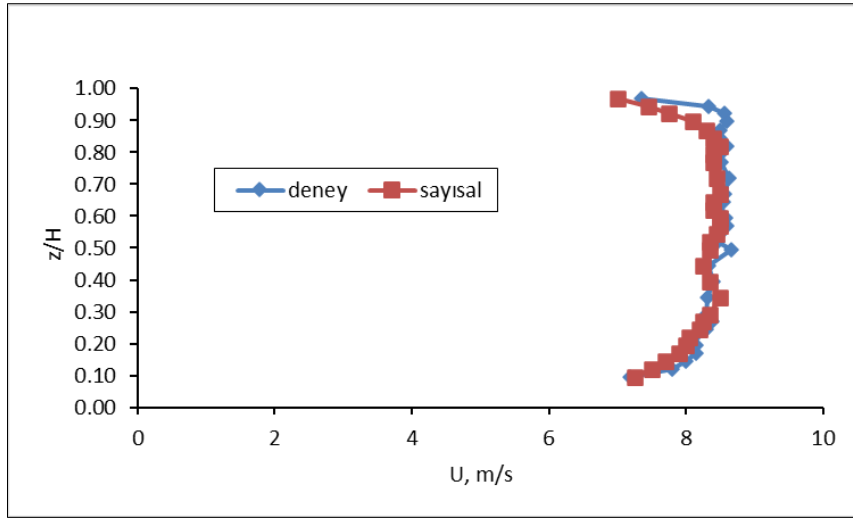
Şekil 4:
Modelin sonlu elaman (mesh) yapısı

3. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan sayısal çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda sunulmuştur. Öncelikle sayısal modelin doğrulaması için sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 5'te sayısal çalışmadan elde edilen hız değerlerinin okunduğu noktalar gösterilmektedir. Şekil 6 ve Tablo 3'te deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının detaylı karşılaştırılması sunulmaktadır.



Şekil 5:
Sayısal modelde hız okuma noktalarının yerleri



Şekil 6:
Sayısal ve deneysel çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 3. Deney ve sayısal çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

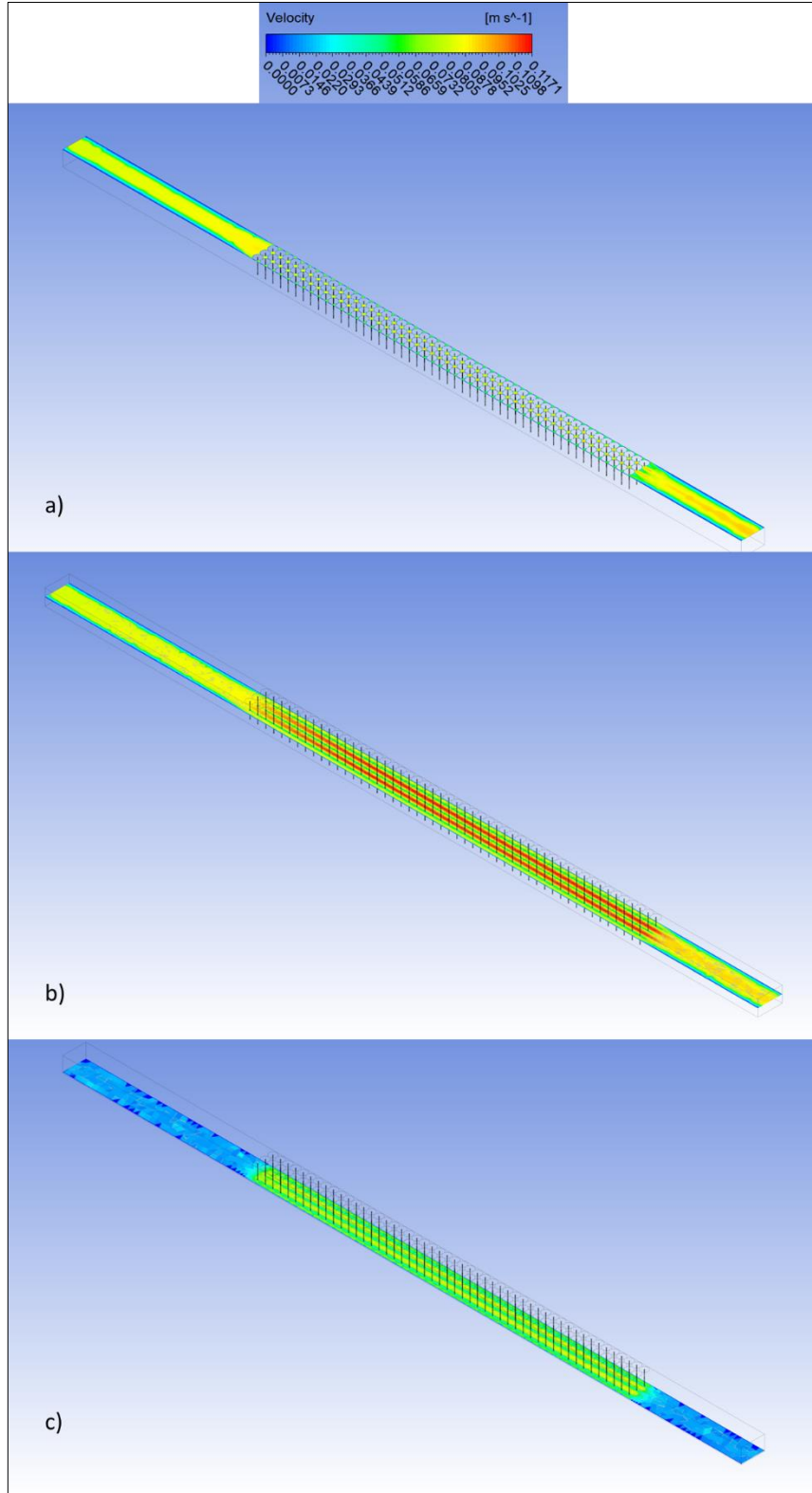
z/H	Deney	Sayısal	Bağlı hata
	u, cm/s	u, cm/s	
0,10	7,18	7,25	-1%
0,12	7,80	7,50	4%
0,14	8,00	7,70	4%
0,17	8,15	7,90	3%
0,19	8,15	8,00	2%
0,22	8,12	8,05	1%
0,25	8,31	8,20	1%
0,27	8,38	8,25	2%
0,29	8,31	8,35	-1%
0,34	8,32	8,50	-2%
0,39	8,40	8,35	1%
0,45	8,34	8,25	1%
0,49	8,67	8,35	4%
0,52	8,46	8,35	1%
0,54	8,49	8,45	1%
0,57	8,59	8,50	1%
0,59	8,57	8,50	1%
0,62	8,46	8,40	1%
0,64	8,54	8,40	2%
0,67	8,56	8,50	1%
0,72	8,64	8,45	2%
0,77	8,51	8,40	1%
0,79	8,49	8,40	1%
0,82	8,59	8,50	1%
0,85	8,49	8,40	1%
0,87	8,49	8,30	2%
0,90	8,59	8,10	6%
0,92	8,56	7,75	9%
0,94	8,34	7,45	11%
0,97	7,36	7,00	5%

Şekil 6 ve Tablo 3 incelendiğinde, sayısal çalışmanın deney sonuçlarını başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Tablo 3 de bağlı hataların bir değer dışında % 10 dan küçük olduğu görülmektedir. Sayısal çalışmalarda % 10 dan küçük bağlı hata değerleri başarılı bir tahmin performansı demektir (Huang ve diğ., 2013; Littleton ve diğ., 2007). Yukarıdaki şekil ve tablo incelendiğinde sayısal çalışma sonuçlarının yaprak temas yüzeylerinde kanal tabanındaki diğer bölgelere kıyasla daha az başarılı tahminler verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi, deneysel çalışmada kullanılan yüzen biyotik lotus yaprağı (etilen vinil asetat kopolimer malzemedan yapılmış) ve fiberglas malzemedan oluşan kanalın pürüzlülük yüksekliği ve katsayısı gibi malzeme özelliklerinin tam olarak hesaplanamaması ve dolayısıyla sayısal çalışmaya yansıtılamaması olabilir. Ayrıca, deney düzeneğinde yaprakların kanalın bitkili bölgesinde tamamen su yüzeyinde yüzdüğü belirtilmesine rağmen, bazı yerlerde suya battığı,

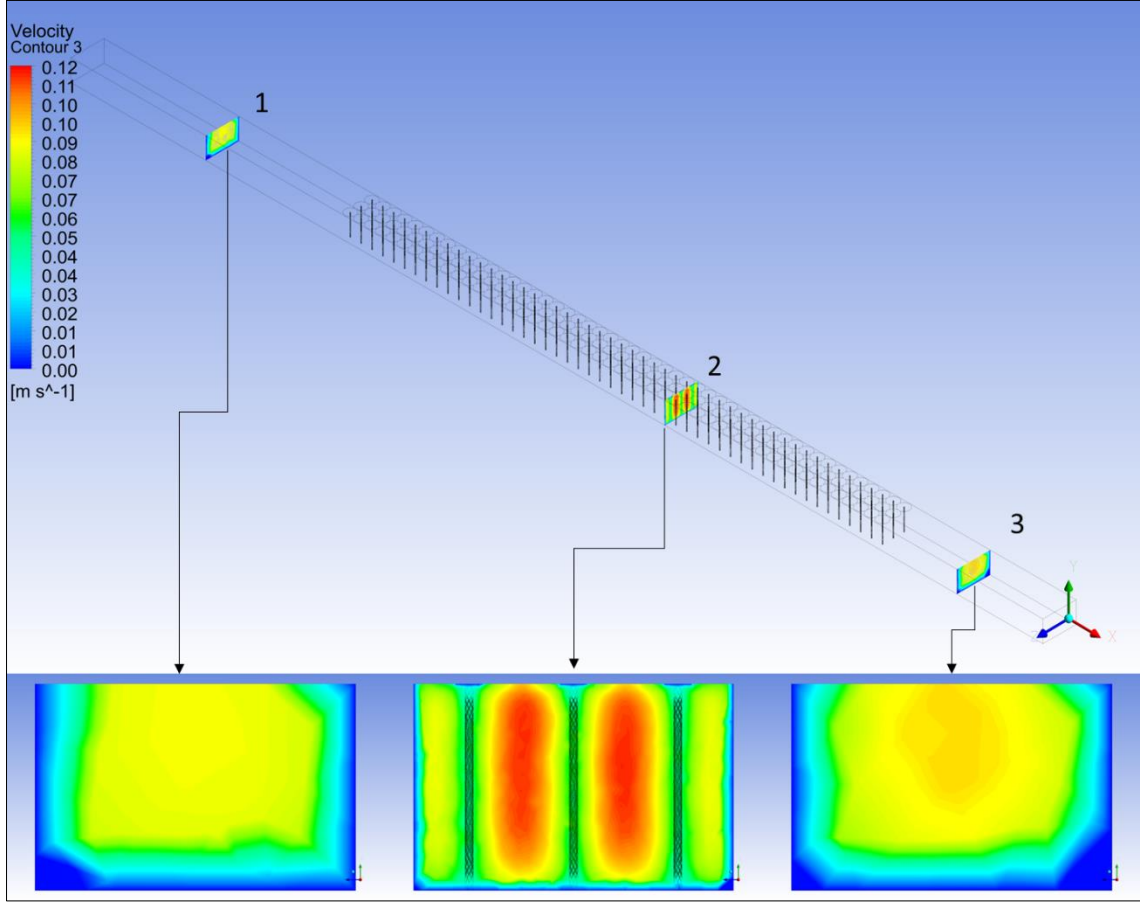
birbirlerinin üzerine bindiği ve eşit şekilde kanala yerleştirilemediği gözlemlenmiştir. Bu tespit edilen durumlar, sayısal çalışmanın temas bölgelerinde hız dağılımlarını tahmin etmesinde deney sonuçlarından bir miktar farklılık göstermesinin temel nedenleri olarak düşünülmektedir.

Şekil 7'de kanalın farklı su yüksekliklerinde boy kesit boyunca hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil 7 a) incelendiğinde, su yüzeyinde yapraklarla kaplı bölgede hızların oldukça düşük olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, kanalın yan duvarlarında sürtünmeden dolayı hızlar minimum seviyededir. Bitki örtüsü olmayan bölgelerde ise hızlar, temas bölgelerinden uzaklaştıkça artmaktadır. Su yüzeyinde hesaplanan maksimum hız değeri ise 0,0986 m/s olarak bulunmuştur. Şekil 7 b) de $y=10$ cm de kanalın ortasında boy kesit boyunca hız dağılımları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere bitki kök ve gövdeleri arasında maksimum hızların oluşmuştur. Bu bölgede hesaplanan maksimum hız değeri 0,1169 m/s dir. Şekil 7 c) de $y=1$ cm de boy kesit boyunca hız dağılımları verilmiştir. Bu bölgede kanal tabanında hızların sürtünmeden dolayı çok düşük olduğu ve maksimum hız değerinin de 0,1896 m/s ile bitki gövdeleri arasında oluştuğu görülmüştür.

Şekil 8'de üç farklı bölgedeki enkesit boyunca hız dağılımları gösterilmiştir. 1. ve 3. bölgeler bitki örtüsü bulunmayan bölgeler, 2. bölge ise bitki örtüsünün olduğu bölgedir. Şekil incelendiğinde, 1. ve 3. bölgelerde hızlar, kanal duvarlarından yani temas bölgelerinden uzaklaştıkça ve su yüzeyine yaklaştıkça artmaktadır. 1. bölgede maksimum hız değeri 0,086 m/s, 3. bölgede ise 0,094 m/s olarak hesaplanmıştır. 2. bölgede ise yapraklar ve kökler arasında, yan duvarlardan uzaklaştıkça ve sürtünmenin olmadığı kanalın orta bölgesinde kesit alanının azalmasıyla birlikte hızların maksimum olduğu, diğer yan bölgelerde ise nispeten daha düşük hızların olduğu görülmüştür. 2. bölgede hesaplanan maksimum hız değeri ise 0,114 m/s'dir.

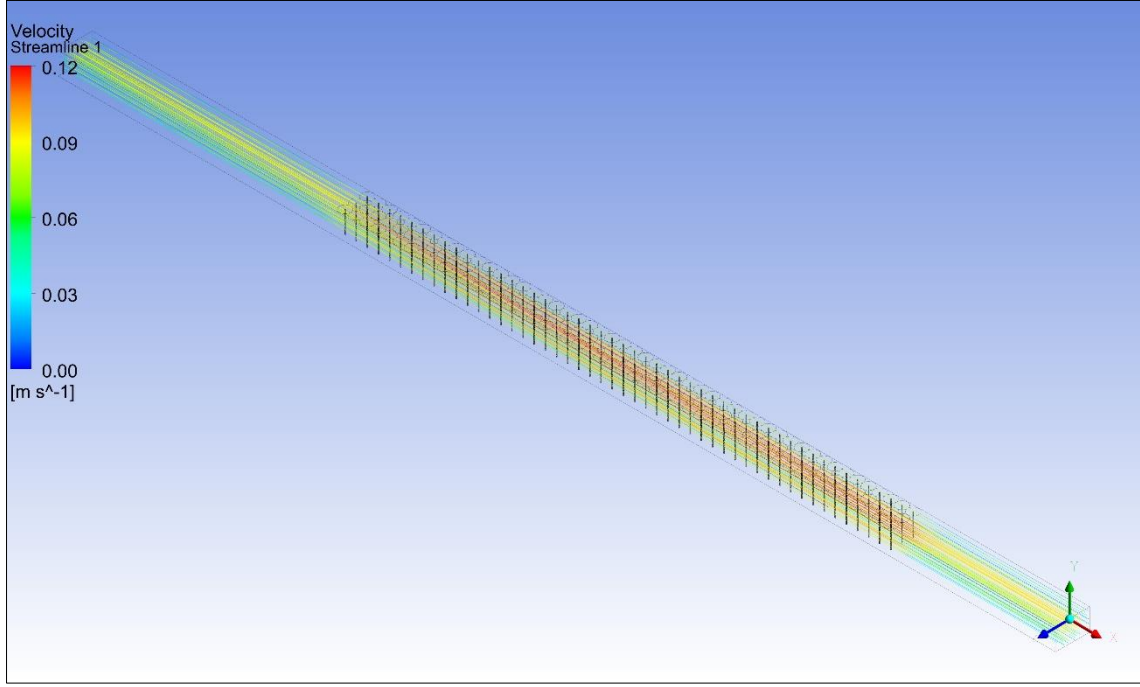


Şekil 7:
Kanalda farklı su yüksekliklerinde boy kesitler boyunca hız dağılımları a) su yüzeyi, b) $y=10cm$,
c) $y=1 cm$



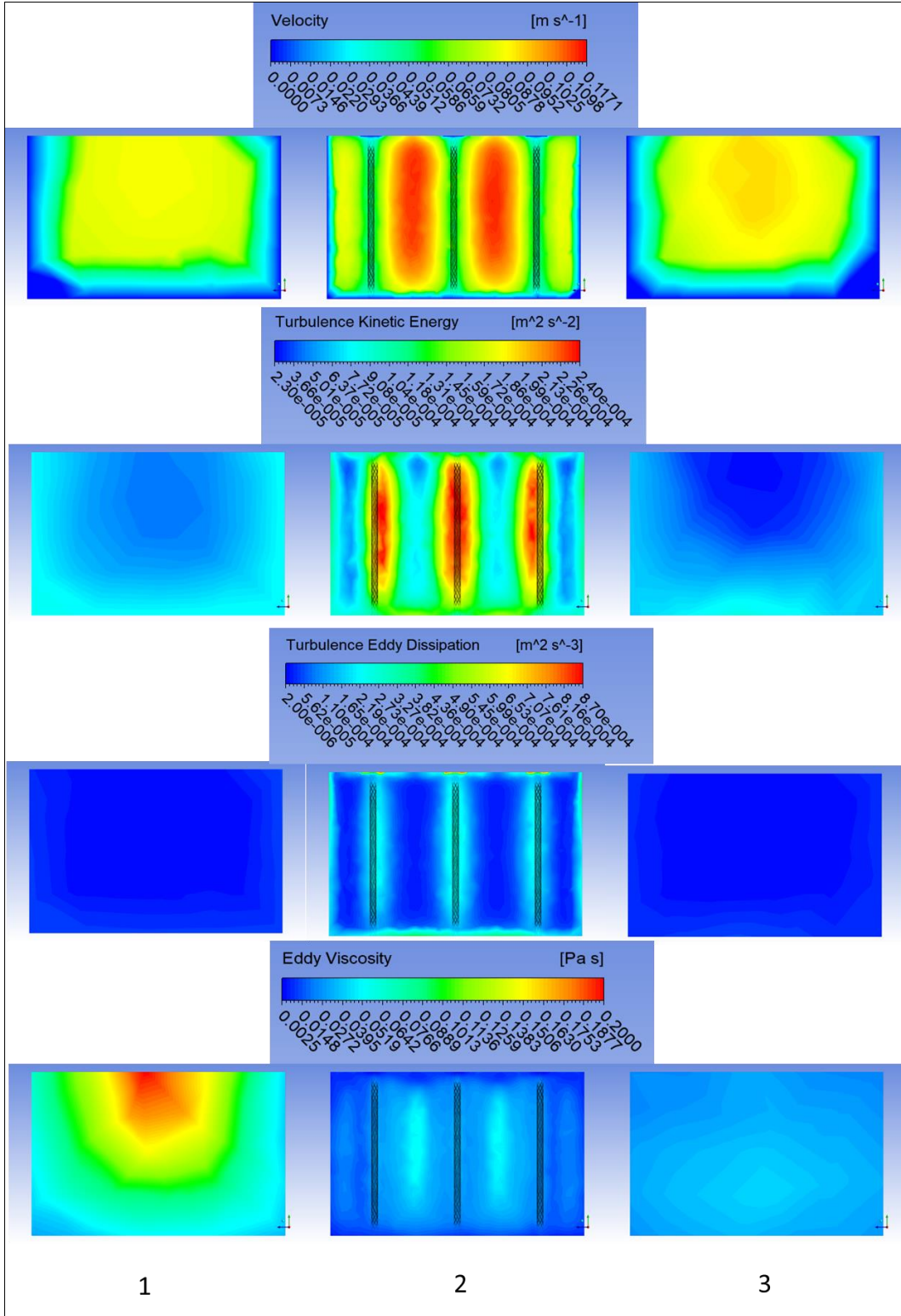
Şekil 8:
Kanalda farklı bölgelerde enkesit boyunca hız dağılımları

Şekil 9'da akım çizgileri yoluyla kanal boyunca hızın dağılımı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, maksimum hızlar bitki örtüsünün bulunduğu bölgede, yaprak yüzeylerinin altında ve bitki gövdelerinin arasında, kesit alanının azaldığı bölgelerde olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde hesaplanan maksimum hız değeri 0,1177 m/s dir. Ayrıca, temas bölgeleri olan kanal tabanı, yan duvarlar ve yapraklı bölgede minimum hız değerleri gözlemlenmiştir.



Şekil 9:
Kanalda akım çizgileri yoluyla hız dağılımlarının gösterimi

Şekil 10 derinlik ile birlikte bitkili ve bitkisiz bölgelerde ($x=1,25$ m, $x=5$ m ve $x=8,25$ m) enkesit boyunca akış ve türbülans karakteristiklerini göstermektedir. Bitkisiz bölgede beklenildiği gibi, maksimum hızlar (velocity) ve maksimum türbülans viskozitesi (Eddy Viscosity) serbest bölgede oluşurken hızlar ile türbülans viskozitesi kanal duvarlarına yaklaştıkça azalmaktadırlar. Diğer taraftan, türbülans kinetik enerji (Turbulence Kinetic Energy) ve türbülans girdap dağılımı (Turbulence Eddy Dissipation), serbest bölgeden kanal duvarlarına doğru ilerlerken artmaktadır. Bitkili bölgede ise hızlar ve türbülans viskozitesi benzer bir davranış göstermektedir. Yüzen yapraklı bölgenin altında ve bitki gövdelerinin arasında maksimum değerlerini almaktadırlar. Türbülans kinetik enerji ve türbülans girdap dağılımı ise bitkili bölgede yaprak yüzeyleri ve bitki gövdelerinde maksimumken serbest bölgelerde minimumdur.



Şekil 10:

Kanalda farklı bölgelerde enkesit boyunca akım ve türbülans özelliklerinin gösterimi 1) x=1,25 m de bitkisiz bölge, 2) x= 5m bitkili bölge, 3) x=7,25m de bitkisiz bölge

4. SONUÇ

Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli açık bir kanalın hidrolik özellikleri üzerinde bitki örtüsünün etkisi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizi kullanılarak Ansys Fluent yazılımıyla tahmin edilmiştir. Sayısal çalışmanın sonuçları, deneysel ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulanmış ve başarılı bir uyum sağladığı görülmüştür. Doğrulan sayısal çalışma, bitki örtüsüne sahip dikdörtgen kesitli açık bir kanalın hidrolik özelliklerini detaylı bir şekilde analiz etmiş ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- Bitki büyümesi, kanal akımı üzerinde akım ve türbülans özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir.
- Kanal boyunca hız dağılımları homojen bir şekilde dağılmamakta, sıvı-katı temas bölgelerinde hızlar düşükken diğer bölgelerde artmaktadır.
- Maksimum hız değeri 0,1177 m/s olarak, bitkili bölgede yaprak yüzeyinin altında bitki gövdeleri arasında kesitin daraldığı serbest bölgede gözlemlenmiştir.
- Minimum hızlar ise yine kanalda bitki büyümesinin geliştiği bölgede, su yüzeyinde bulunan yapraklı kısımda ve kanal duvarlarında elde edilmiştir.
- Türbülans viskozitesi serbest alanlarda, türbülans enerji kırılımı ise sıvı-katı temas bölgelerinde fazladır.
- Sayısal model deney sonuçlarını %10'un altında bağıl hata oranlarıyla başarılı bir şekilde tahmin etmiştir. Dolayısıyla bitkili açık kanal akımının sayısal modellemelerinde kullanılabilir. Ayrıca bu çalışma, açık kanal akışının bitki örtüsüyle etkileşimini anlamak ve açık kanal sistemlerinin hidrolik açıdan performansını geliştirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Makalenin tüm aşamaları Rahim ŞİBİL tarafından yapılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Amina, ve Tanaka, N. (2022). Numerical Investigation of 3D Flow Properties around Finite Emergent Vegetation by Using the Two-Phase Volume of Fluid (VOF) Modeling Technique. *Fluids*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/fluids7050175>
2. Anjum, N., ve Tanaka, N. (2020). Investigating the turbulent flow behaviour through partially distributed discontinuous rigid vegetation in an open channel. *River Research and Applications*, 36(8), 1701-1716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rra.3671>
3. ANSYS Fluent. (2013). *ANSYS Fluent* (13). Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
4. Han, L., Zeng, Y., Chen, L., ve Li, M. (2018). Modeling streamwise velocity and boundary shear stress of vegetation-covered flow. *Ecological Indicators*, 92, 379-387. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.04.012>
5. Hou, Q., ve Zou, Z. (2005). Comparison between standard and renormalization group k-ε models in numerical simulation of swirling flow tundish. *ISIJ International*, 45(3), 325-330. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.325>

6. Huai, W., Hu, Y., Zeng, Y., ve Han, J. (2012). Velocity distribution for open channel flows with suspended vegetation. *Advances in Water Resources*, 49, 56-61. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2012.07.001>
7. Huai, W. X., Zhang, J., Wang, W. J., ve Katul, G. G. (2019). Turbulence structure in open channel flow with partially covered artificial emergent vegetation. *Journal of Hydrology*, 573, 180-193. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.03.071>
8. Huang, W., Li, K., Wang, G., ve Wang, Y. (2013). Computational Fluid Dynamics Simulation of Flows in an Oxidation Ditch Driven by a New Surface Aerator. *Environmental Engineering Science*, 30(11), 663-671. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0313>
9. İspir, M. A., Kırkgöz, M. S., ve Gümüş, V. (2016). Yavaş Değişen Kritik-Altı Açık Kanal Akımının k-ε Türbülans Kapatma Modelleri ile Sayısal Hesabı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 145-156. <https://doi.org/10.21605/ÇUKUROVAUMMF.242859>
10. Jebelli, A., Mahabadi, A., Saeid Zare, M., ve Ahmad, R. (2022). Numerical simulations of lateral input effect in an open channel to reduce disturbances in the mainstream channel using CFD. *Water-Energy Nexus*, 5, 39-49. <https://doi.org/10.1016/J.WEN.2022.11.001>
11. Launder, B. E., Reece, G. J., ve Rodi, W. (1975). Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure. *Journal of Fluid Mechanics*, 68(3), 537-566. <https://doi.org/10.1017/S0022112075001814>
12. Launder, B. E., ve Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269-289. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(74\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(74)90029-2)
13. Li, Q., Zeng, Y. hong, ve Zha, W. (2020). Velocity distribution and turbulence structure of open channel flow with floating-leaved vegetation. *Journal of Hydrology*, 590, 125298. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125298>
14. Littleton, H. X., Daigger, G. T., ve Strom, P. F. (2007). Application of Computational Fluid Dynamics to Closed-Loop Bioreactors: I. Characterization and Simulation of Fluid-Flow Pattern and Oxygen Transfer. *Water Environment Research*, 79(6), 600-612. <https://doi.org/10.2175/106143006x136739>
15. Rahim, A. S., Yonesi, H. A., Rahimi, H. R., Shahinejad, B., Podeh, H. T., ve Azamathulla, H. M. (2023). Effect of vegetation on flow hydraulics in compound open channels with non-prismatic floodplains. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(5), 781-797. <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.043>
16. Shih, T. H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., ve Zhu, J. (1995). A new k-ε eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. *Computers and Fluids*. [https://doi.org/10.1016/0045-7930\(94\)00032-T](https://doi.org/10.1016/0045-7930(94)00032-T)
17. Skote, M., Henningson, D. S., ve Henkes, R. A. W. M. (1998). Direct numerical simulation of adverse pressure gradient turbulent boundary layers. *Fluid Mechanics and its Applications*, 46, 171-174. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5118-4_42
18. Stoesser, T., Salvador, G. P., Rodi, W., ve Diplas, P. (2009). Large eddy simulation of turbulent flow through submerged vegetation. *Transport in Porous Media*, 78(3 SPEC. ISS.), 347-365. <https://doi.org/10.1007/S11242-009-9371-8/METRICS>

19. Sturm, T. W., York, N., San, C., Athens, F., ve Madrid, L. (2021). *Open channel hydraulics* (Third Edition), McGraw-Hill.
20. Şibil, R., Aras, E., ve Kankal, M. (2021). Comparison of various turbulence model performance in computational fluid dynamics analyses of the oxidation ditches with experimental validation. *Process Safety and Environmental Protection*, 154, 43-59. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.07.046>
21. Şimşek, O. (2020). Farklı Akım Koşullarına Sahip Açık Kanal Akımının Sayısal Modellemesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 91-100. <https://doi.org/10.46810/TDFD.725612>
22. Şimşek, O., Aköz, M. S., ve Gümüş, V. (2011). Eğrisel Geniş Başlıklı Savak Üzerinden Geçen Açık Kanal Akımının Deneysel ve Teorik Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 47-55.
23. Tang, X., Guan, Y., Cao, J., Wang, H., Xiao, N., ve Zhang, S. (2023). Effect of Vertically-Layered Vegetation on the Velocity of Open Channel Flow. İçinde Z. Sun ve P. Das (Ed.), *Proceedings of the 9th International Conference on Energy Engineering and Environmental Engineering* (ss. 319-328). Springer International Publishing.
24. Wang, J., He, G., Dey, S., ve Fang, H. (2022). Fluid–structure interaction in a flexible vegetation canopy in an open channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 951, A41. <https://doi.org/DOI: 10.1017/jfm.2022.899>
25. Wilcox, D. C. (2006). *Turbulence Modeling for CFD* (Third). DCW Industries, Inc.
26. Yakhot, V., ve Orszag, S. A. (1986). Renormalization group analysis of turbulence. I. Basic theory. *Journal of Scientific Computing*, 1(1), 3-51. <https://doi.org/10.1007/BF01061452>
27. Yılmaz, D., Ayna, G., Ozan, A. Y., ve Cihan, K. (2022). Tam batmış bitki tarlasının açık kanal akım hızlarına etkisinin flow-3d ile modellenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 757-769. <https://doi.org/10.25092/BAUNFBED.1066999>

