

Bitki Örtülü Kanalların Akım Özelliklerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Belirlenmesinde Yakın Duvar Davranışının Etkisi

Rahim ŞİBİL* 

*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: rahimsibil@gumushane.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 06.07.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 05.10.2023

ÖZ

Bu çalışmada bitki örtülü kanalların akım özelliklerinin sayısal olarak tahmin edilmesinde önemli parametrelerden biri olan yakın duvar davranışı yaklaşımlarının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Bu amaçla sayısal çalışmalar, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metodu ile analiz yapabilen Ansys Fluent yazılımı kullanılarak üç boyutlu, türbülanslı, sıkıştırılmayan ve kararlı akım koşullarında bitki örtülü dikdörtgen kesitli bir kanal için gerçekleştirilmiştir. Türbülans modeli olarak gerçekleştirilebilir $k-\epsilon$ (realizable $k-\epsilon$) türbülans modeli kullanılmıştır. Sayısal çalışmalarda yakın duvar davranışı için farklı yaklaşımlar kullanılarak (standart duvar fonksiyonları, ölçeklenebilir duvar fonksiyonları, denge dışı duvar fonksiyonları ve geliştirilmiş duvar davranışı) kanaldaki hız dağılımları tahmin edilmeye çalışılmış ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar literatürde yapılmış deneysel bir çalışmayla karşılaştırılarak en başarılı metod ortaya konulmuştur. Yapılan karşılaştırma sonucunda "geliştirilmiş duvar fonksiyonu" yaklaşımıyla kurulan sayısal çalışma en başarılı tahmin sonucu veren yaklaşım olmuştur. Ayrıca HAD analizi sonucunda elde edilen kanaldaki hız dağılımları verilerek, bitki örtülü açık kanal akımında hidrolik özellikler incelenmiştir. Kanal içerisinde bitkisiz bölgede minimum hızlar sadece kanal tabanında oluşurken maksimum hız ise $y=14.1$ cm yükseklikte su yüzeyinde $V=0.051$ m/s olarak hesaplanmıştır. Bitkili bölgede ise hızların kanal tabanı ve yüzeydeki yaprak yüzeylerinde sürtünmeden dolayı sıfır olduğu görülmektedir. Maksimum hız tabandan $y=7.8$ cm yükseklikte $V=0.041$ m/s olarak gözlemlenmiştir. Bu çalışma, açık kanal akışının bitki örtüsüyle etkileşimini anlamak ve açık kanal sistemlerinin hidrolik performansını geliştirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açık-kanal akımı, Bitki örtülü kanal, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Yakın duvar davranışı.

The Effect of Near-Wall Treatment on the Determination of Flow Characteristics in Vegetated Channel Using Computational Fluid Dynamics

ABSTRACT

In this study, the effect of different approaches to near-wall treatment, which is one of the important parameters in predicting the flow characteristics of vegetated-channels, was investigated. For this purpose, numerical simulations were conducted using the Ansys Fluent software, which could perform Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis, for a three-dimensional, turbulent, incompressible, and steady flow condition in a rectangular channel vegetated-channel. The $k-\epsilon$ (realizable $k-\epsilon$) turbulent model was used for the turbulent model in the numerical study. In the numerical studies, different approaches (Standard Wall Functions, Scalable Wall Functions, Non-Equilibrium Wall Functions and Enhanced Wall treatment) for near-wall treatment were used to predict velocity distributions in the channel, and the results obtained from the numerical studies were compared with a previously conducted experimental study in the literature to determine the most successful method. The comparison revealed that the numerical study employing the "enhanced wall function" approach yielded the most accurate prediction results. Additionally, hydraulic characteristics in open-channel flow with vegetation were investigated by providing velocity distributions obtained from the CFD analysis. In the vegetation-free zone of the channel, the minimum velocities occur solely at the channel bed, while the maximum velocity has been calculated as $V=0.051$ m/s on water surface at a height of $y=14.1$ cm. In the vegetated region, it is observed that the velocities are zero due to the friction at both the channel bed and the leaf surfaces at the water's top. The maximum velocity is observed to be $V=0.041$ m/s at a height of $y=7.8$ cm from the base. This study provides important information for understanding the interaction of open channel flow with vegetation and improving the hydraulic performance of open channel systems.

Keywords: Open-channel flow, Vegetated-channel, Computational fluid dynamics, Near-wall treatment

Cite as;

Şibil, R. (2023). Bitki Örtülü Kanalların Akım Özelliklerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Belirlenmesinde Yakın Duvar Davranışının Etkisi, *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 109-123. DOI: 10.53501/rteufemud.1323845

1. Giriş

İklim değişikliğine bağlı olarak artan orantısız yağış miktarları ve sonucunda oluşan taşkınlar için nehir akımlarının ve özelinde açık-kanal akımlarının hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır. Sel sırasında, nehir yataklarının akış karakteristiklerini saptamakta en kilit parametrelerden biri pürüzlülük katsayısının belirlenmesidir. Sel durumlarında nehir yatakları sel yataklarıyla birleşir ve birleşik kanallar oluşur. Bu nehir ve birleşen sel yataklarındaki bitki örtüsü, pürüzlülük katsayısını önemli oranda artırır ve dolayısıyla akış karakteristiklerini değiştirir. Bitki örtüsünün kanal akımında akım karakteristikleri üzerindeki en önemli etkilerinden birisi akım hızı üzerinde sebep olduğu değişikliklerdir. Bitki örtüsü, bulunduğu kanal tabakasında sürtünmeye bağlı olarak akım hızını azaltmaktadır. Akım hızına ve kesit özelliklerine bağlı olarak türbülans özellikleri de değişmektedir (Aberle ve Järvelä, 2013; Ben Meftah & Mossa, 2023; Chen vd., 2011; De Marchis vd., 2016; Han vd., 2018; W. Huai vd., 2012; W. X. Huai vd., 2019; Stoesser vd., 2009; Wang, vd., 2021). Bitki örtüsü özellikle geniş yapraklar, temas bölgelerinde hızları sürtünmeden dolayı azaltmaktadır. Burada önemli konulardan biri sürtünme katsayısının belirlenmesi olmaktadır. Literatürde sürtünme katsayısının belirlenmesi için hem deneysel hem de analitik yöntemler kullanılmaktadır. Sıvı damlacıkların katı parçacıklarla etkileşimi karıştırma sistemleri, gaz-buhar damlacık teknolojileri, yangınla mücadele, yakıt sistemleri, ısı alışverişi ve arıtma üniteleri vb birçok pratik uygulamada yaygındır (Anufriev vd., 2017; Breitenbach vd., 2018; Islamova vd., 2023; Li vd., 2022; Malgarinos vd., 2016; Pizziol vd., 2018; Xia vd., 2021; Yang vd., 2021; Zhang, Chen, vd., 2014). Ayrıca, katı-sıvı yüzeyleri arasındaki etkileşimi anlamak üzere moleküler ölçekte yüzey pürüzlülüğünün moleküler adsorpsiyon davranışları üzerine etkileri ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Cao vd., 2009; Li vd., 2022; Huang vd., 2013; Zhang vd., 2014; Zhang, vd., 2014). Bitki bulunan kısımlarda hızlar az, diğer bölgelerde hızlar daha yüksek

olmakta ve üniform olmayan akım koşulları oluşmaktadır. Literatürde bitkili kanalların arayüzünde akış özelliklerini tanımlamak ve tahmin etmek için farklı modeller ve yaklaşımlar sunulmuştur. Bu çalışmaların bazıları basitleştirilmiş bir boyutlu yaklaşımlar ve Darcy-Weisbach sürtünme faktörü içerirken (Helmiö, 2004), bazıları kanalı tek veya bölünmüş kanal olarak ele alıp standart Chezy, Manning ve Darcy-Weisbach denklemlerini kullanarak kesiti tek bir kanal olarak veya yatay, dikey veya çapraz olarak bölerek etkileşmeyen alt alanlara ayırır (Ferro, 2019; Pradhan ve Khatua, 2020; Tang, 2017; Wang vd., 2009; Wang vd., 2022; Yang vd., 2019). Ayrıca açık kanallarda bitki büyümesinin akım özelliklerine etkisini belirlemek için laboratuvar ölçeğinde çalışmalar yapmak ve bulunan sonuçları analitik olarak doğrulamak, gerçek ortam koşullarını tahmin etmekte kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Bunun için çeşitli bitki örtüsü senaryolarına sahip kanallar fiziksel olarak modellenip laboratuvar ortamında hazırlanarak, akım özellikleri ölçülmektedir. Ölçümler genel olarak Akustik doppler hız ölçer ve lazer doppler hız ölçer cihazlarıyla gerçekleştirilmektedir. Bu kanallar genelde fiberglas malzemedan yapılmakta, bitki örtüsü ise yapay veya doğal bitki malzemeleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmalarda bitkilerin ortalama hızı, türbülans karakteristiklerini, hız profillerini bitki düzeni, deseni ve pürüzlülük katsayılarına bağlı olarak önemli ölçüde değiştirdiği gözlemlenmiştir (Aberle ve Järvelä, 2013; Chen vd., 2011; Huthoff vd., 2008; Liu vd., 2013; Nepf, 2011; Vargas-Luna vd., 2015).

Gelişen teknolojiyle beraber yüksek hesaplama gücüne sahip bilgisayarlar ve yazılımlar ile mühendislik problemleri kolaylıkla çözülebilmekte ve gerçek ortam koşulları başarılı bir şekilde oluşturularak yüksek tahmin gücüne sahip sayısal çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir (Kumar et al., 2023). Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) de yüksek tahmin ve hesap gücüne sahip sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapabilen sayısal bir yöntemdir. Bitkili açık-kanal akımı problemleri HAD ile ele alınıp bitki

örtüsünün akım koşullarına etkisi başarılı bir şekilde incelenebilmektedir (Han vd., 2018; Huai vd., 2012, 2015; Jebelli vd., 2022; Li ve Zeng, 2009; Li vd., 2020; Lu ve Dai, 2017; Stoesser vd., 2009; Wang vd., 2021; Wang vd., 2014; Yılmaz vd., 2022). Türbülanslı akım koşullarında sayısal çalışmalar yapılırken en önemli parametrelerden biri yakın duvar davranışını doğru bir şekilde belirlemektir. Yakın duvar davranışı özellikle bitki ve akışkan arasındaki ara temas yüzeyinde pürüzlülük katsayısı ile akım özelliklerinin başarılı bir şekilde tahmin edilmesinde son derece kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde bununla ilgili az sayıda çalışmalar vardır (De Marchis et al., 2016).

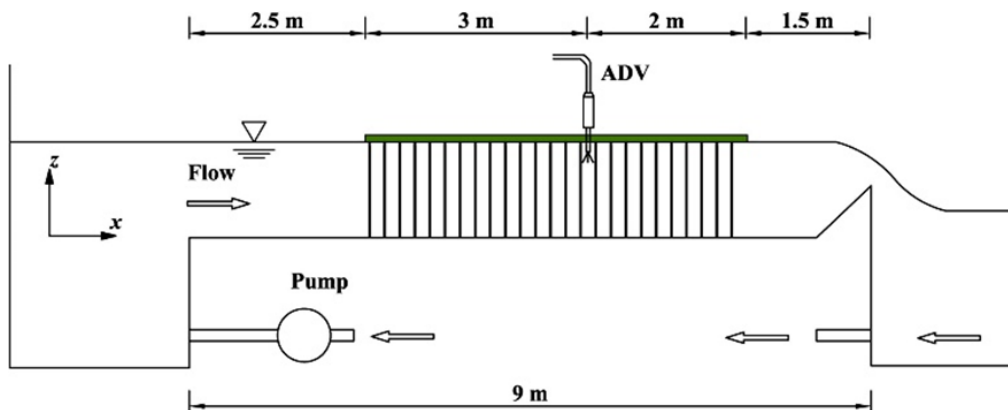
Bu çalışmada, bitki örtülü kanalların akım özelliklerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile belirlenmesinde yakın duvar davranışının etkisi incelenmiştir. Sayısal çalışma, Li vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçlarıyla doğrulama yapılarak yürütülmüştür. Bu çalışma, bitkili açık kanal akımında bitki ve akışkan arasındaki temas yüzeyindeki etkileşimi en iyi şekilde tanımlamak ve bu sayede özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak artan taşkın olaylarında açık kanal akımının davranışlarını incelemek amacıyla literatürde sıkça başvurulan standart duvar fonksiyonuna (Han vd., 2018; Huai vd., 2012, 2015; Jebelli vd., 2022; Li ve Zeng, 2009; Li vd., 2020; Lu ve Dai, 2017; Stoesser vd., 2009; Wang vd., 2021; Wang vd., 2014; Yılmaz vd., 2022) alternatif olarak Ansys Fluent'in

sağladığı farklı yakın duvar davranış yöntemlerini ele alarak karşılaştırılmasını sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışma, tahmin performanslarının kapsamlı ve karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmesiyle açık kanal hidroliği literatürüne özgün bir katkıda bulunmaktadır. Ayrıca bu çalışma, açık kanal akışının bitki örtüsüyle etkileşimini anlamak, açık kanal sistemlerinin hidrolik performansını geliştirmek ve özellikle taşkın anında davranışlarını tahmin etmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Çalışma

Sayısal model için Li vd., (2020) tarafından yapılan deneysel çalışma ve fiziksel model kullanılmıştır (Şekil 1). Kanal, 9 m uzunluğunda, 0,3 m genişliğinde ve 0,5 m derinliğinde dikdörtgen bir yapıya sahiptir. Yapay yüzen bitki örtüsü, 10 cm çapında yüzen bir biyonomik nilüfer yaprağı ve 8 mm çapında sert bir ahşap silindir gövdeden oluşmaktadır. Yaprak her zaman çeşitli derinliklerde su yüzeyinde yüzmektedir. Bitki örtüsü bölgesi kanal girişinden 2,5 m sonra başlamakta olup uzunluğu 5.0 m'dir. Bitki örtüsü, uzunlamasına ve enine aralıklarla yerleştirilmiş 0,1 m x 0,1 m'lik paralel düzenli yapraklardan oluşmaktadır. Ölçüm bölümü kanal girişinin 5.5 m aşağısına ayarlanmıştır. Hız ölçümleri akustik doppler hız ölçer (ADV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel düzeneği (Li et al., 2020)

Figure 1. Experimental setup (Q. Li vd., 2020)

Deneysel özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel parametreler (Li vd., 2020)
Table 1. Experimental parameters (Li vd., 2020)

Q (L/s)	H(cm)	B (cm)	U (cm/s)
2,03	14,1	30	4,82

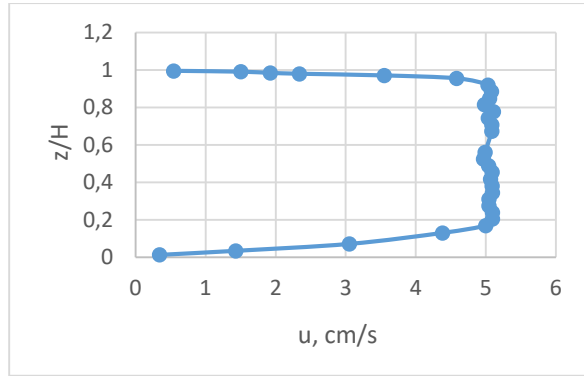
Not: Q; debi, H; su yüksekliği, B; kanal genişliği, U, ortalama hızdır.

Tablo 1’de verilen deney parametrelerine göre hesaplanan Reynolds sayısı (Re) ve hidrolik yarıçap (R) aşağıda hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{V \times 4R}{\nu} = \frac{4,82 \text{ cm/s} \times 4 \times 7,27 \text{ cm}}{1,003 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}} = 13975 \quad (1)$$

$$R = \frac{30 \text{ cm} \times 14,1 \text{ cm}}{30 \text{ cm} + 2 \times 14,1} = 7,27 \text{ cm}$$

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



Şelil 2. Ölçülen hız değerleri (Li vd., 2020)
Figure 2. Measured velocity values (Li vd., 2020)

2.2. Sayısal Modelleme

Bu çalışmada HAD analizi yapabilen Ansys Fluent yazılımıyla bitki düzeni bulunan dikdörtgen kesitli açık bir kanalda sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sayısal model için literatürde Li vd., (2020)’nin deneysel çalışması dikkate alınmıştır. Açık kanalda bitki örtülü kanal akımının modellenmesi için bitki ve akışkan temas bölgelerinde yakın duvar davranışının analiz sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Akım üç boyutlu, sıkıştırılamayan, kararlı ve türbülanslı olarak modellenmiştir. 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 vd., 1975; Launder ve Spalding, 1974; Skote vd., 1998; Wilcox, 2006; Yakhot ve Orszag, 1986). Türbülans modelleriyle ilgili detaylı bilgi bir önceki çalışmamızda verilmiştir (Şibil et al., 2021). Ayrıca ölçülen hız değerleri göz önüne alındığında çalışma gelişmekte olan hidrodinamik türbülanslı akış koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Fluent programının esas aldığı korunum denklemleri aşağıda verilmiştir.

Kütlenin korunumu denklemi veya süreklilik denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

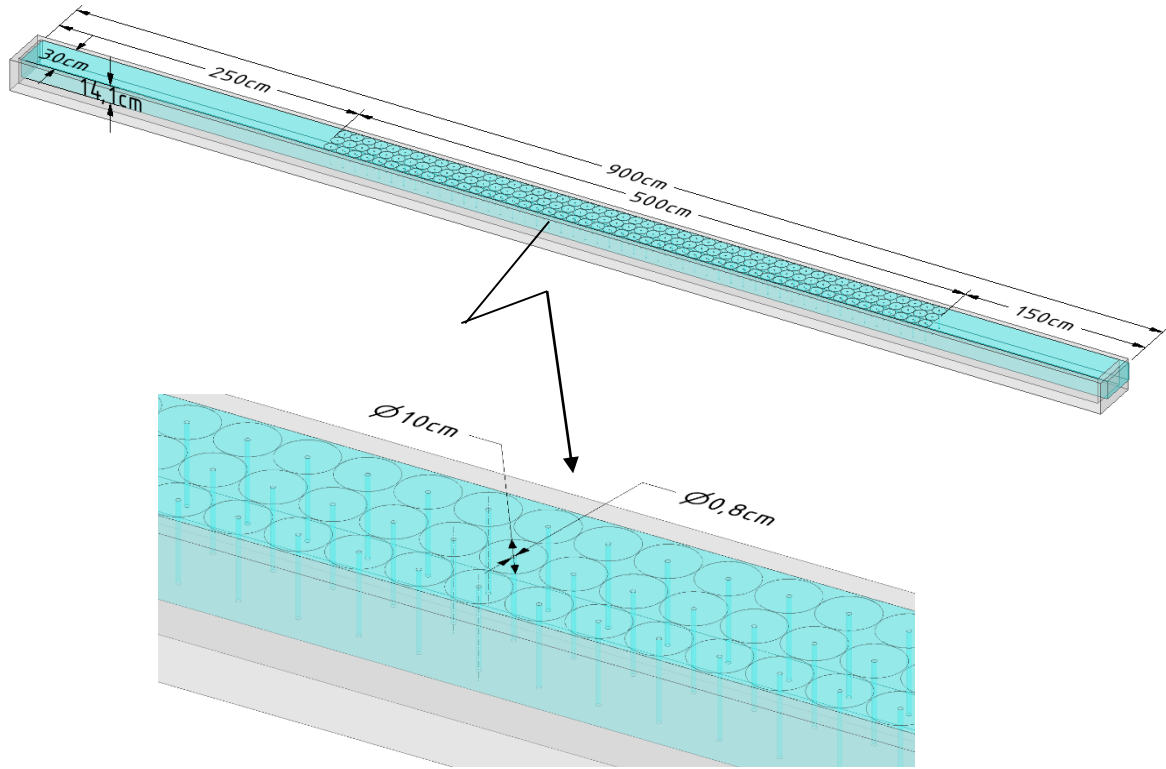
Denklem 2, kütle korunumu denkleminin genel formudur ve sıkıştırılamaz akışların yanı sıra sıkıştırılabilir akışlar için de geçerlidir. S_m nin kaynağı, dağıntık ikinci fazdan sürekli faza (örneğin, sıvı damlacıklarının buharlaşması nedeniyle) eklenen kütle ve kullanıcı tanımlı herhangi bir kaynaktır (Chen ve Liu, 2015).

Bir atalet koordinat sistemi içinde momentumun korunumu aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

Burada p statik basınç, $\vec{\tau}$ gerilme tensörü, $\rho \vec{g}$ ve \vec{F} sırasıyla yerçekimi cisim kuvveti ve dış cisim kuvveti (Örneğin, dağıntık fazla etkileşimden kaynaklanan) dir. \vec{F} aynı zamanda, gözenekli ortam ve kullanıcı tanımlı kaynaklar gibi modele bağlı diğer kaynak terimlerini de içerir (Chen ve Liu, 2015).

Geometri SpaceClaim üç boyutlu çizim programında oluşturulmuştur (Şelil 3).



Şekil 3. Modelin geometrisi ve boyutları

Figure 3. Geometry and dimensions of model

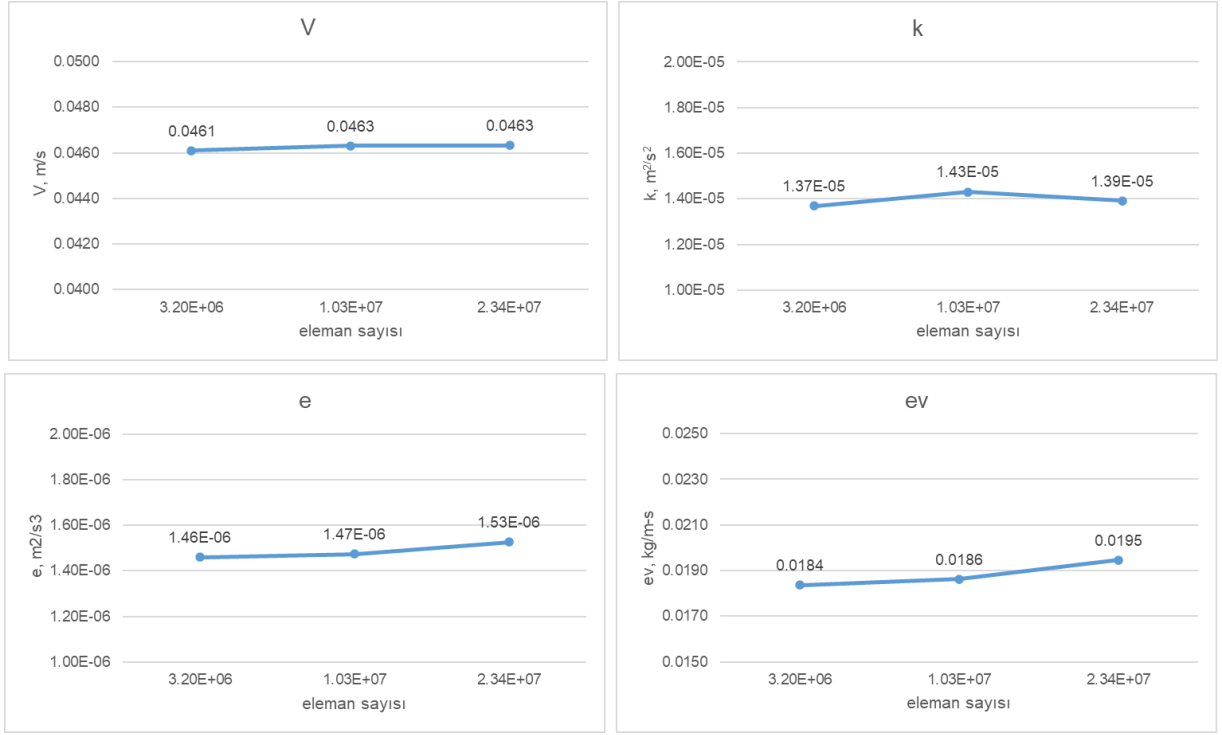
Modelin sonlu elemanlar ağ yapısı Ansys Meshing programında ağdan bağımsızlık testi yapılarak yapısal olmayan 3.195.053 adet üçgen prizma elemanla Şekil 5'te ki gibi oluşturulmuştur. Ağdan bağımsızlık testi sonuçlarının sonlu eleman ağından bağımsız olarak önemli değişiklikler göstermemesidir ve bununla

ilgili yapılan çalışmaya ait tablo ve grafikler aşağıda sunulmuştur. Tablo 2 ve Şekil 4'te görüldüğü üzere sonuçlar kaba, orta ve iyi ağ seçeneklerinde önemli bir değişiklik göstermemiştir. Bundan dolayı da kaba mesh ile analizler gerçekleştirilmiştir

Tablo 2. Ağdan bağımsızlık testi

Table 2. Mesh independent test

Ağ	Eleman sayısı	Çıkış hızı, V m/s	Türbülans kinetik enerji, k m ² /s ²	Türbülans dağılım oranı, e m ² /s ³	Efektif viskozite, ev kg/m-s
Kaba	3.195.053	0.0461	1,37E-05	1,46E-06	0,0184
Orta	10.307.217	0.0463	1,43E-05	1,47E-06	0,0186
İyi	23.420.336	0.0463	1,39E-05	1,53E-06	0,0195

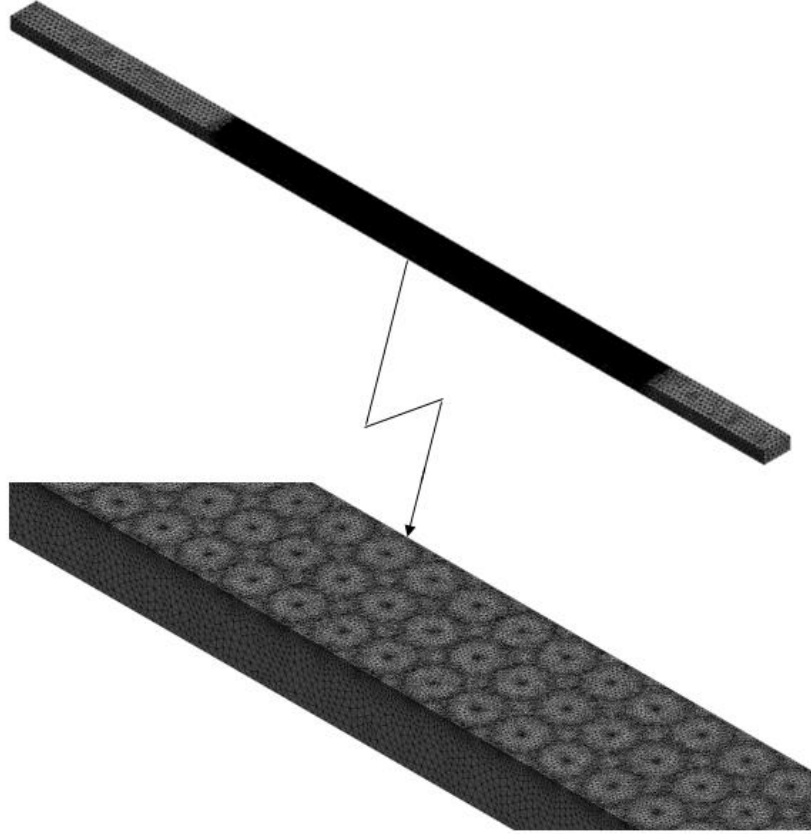


Şekil 4. Ağdan bağımsızlık testi grafik gösterimi

Figure 4. The graphics view of mesh independent test

y+ değeri 7,4 olarak seçilmiştir y değeri ise 2,3 mm olarak hesaplanmış ve buna göre sonlu elman

ağında (mesh) en küçük hücrenin (elemanın) boyutu 2,25 mm seçilmiştir.

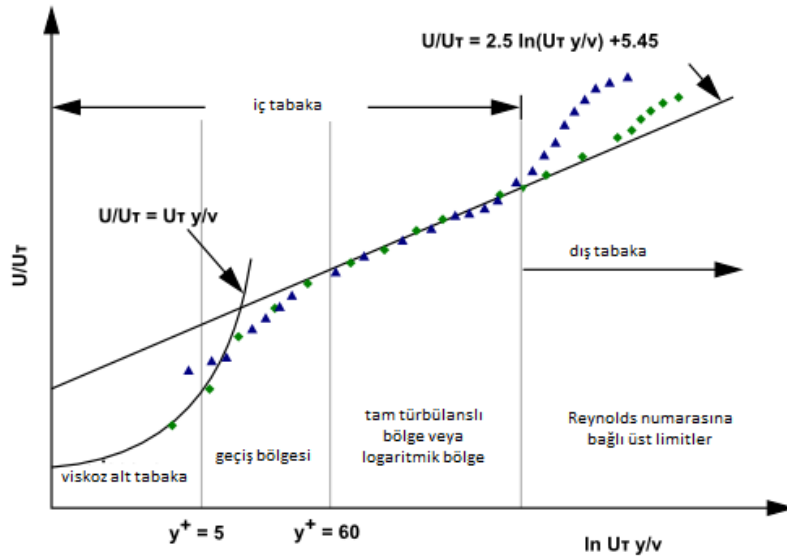


Şekil 5. Modelin sonlu eleman (mesh) yapısı

Figure 5. Mesh structure of model

Sınır koşulları olarak, kanal girişinde kütle akış girişi, kanal çıkışında basınç çıkışı, su yüzeyinde simetri sınır koşulu uygulanmıştır. Simetri düzlemi sınır şartları hem geometri hem de akış simetri eksenlerini göstermek için kullanılır. Simetri düzlemi sınır koşulu, her iki taraftaki akışı "yansıtan" kısıtlamalar getirir. Örneğin, simetri düzlemi sınırındaki normal hız bileşeni ve sınıra doğru normal olan skaler değişken gradyanlar sıfıra ayarlanır. ANSYS Fluent, bir simetri sınırı boyunca tüm niceliklerin akışını sıfır varsayar.

Türbülanslı akımlarda katı yüzeyler akımı önemli ölçüde etkilemektedir. Katı yüzeyler için yakınduvar davranışı adı altında farklı akım özellikleri için farklı modeller sunulmaktadır. Çok sayıda deney, duvara yakın bölgenin büyük ölçüde üç katmana bölünebileceğini göstermiştir. Yakın duvar bölgesinin alt bölümleri Şekil 6'te gösterilmektedir. y^+ duvar yüzeyine olan mesafeyi temsil eden boyutsuz bir parametredir ve Şekil 6'daki gibi hesaplanmaktadır.

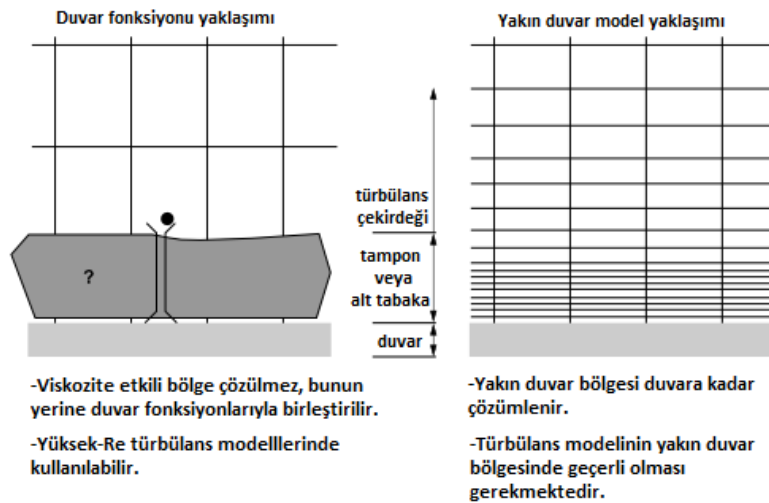


Şekil 6. Yakın duvar bölgesinin alt bölümleri (ANSYS Fluent, 2013)

Figure 6. Subdivision of near wall region (ANSYS Fluent, 2013)

Geleneksel olarak, duvara yakın bölgeler "duvar fonksiyonları" ve "yakın duvar davranışı" yaklaşımlarıyla modellenmektedir. Bu iki

yaklaşım, Şekil 7'de ANSYS Fluent'te yakın duvar davranışı şemasında özetlenmektedir.



Şekil 7. Ansys Fluent'te yakın-duvar davranışı

Figure 7. Near wall treatment in Ansys Fluent

Bu çalışmada Ansys Fluent'in sunduğu gerçekleştirilebilir k-ε türbülans kapatma modeli için uygulanabilir dört farklı yaklaşım olan standart duvar fonksiyonları, ölçeklenebilir duvar fonksiyonları, denge dışı duvar fonksiyonları ve geliştirilmiş duvar davranışı yaklaşımlarıyla yakın duvar modellemesi yapılarak tahmin performansları karşılaştırılmıştır (Akkoca vd., 2005; ANSYS Fluent, 2013).

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'de ki deney parametreleri dikkate alınarak, denklem 4'ten kütle akış girişi değeri $2,026346 \text{ kg/s}$ olarak hesaplanmıştır. Kanaldaki su yüksekliği $14,1 \text{ cm}$ 'dir. Duvar sınır koşulu için, standart duvar fonksiyonlarında kanaldaki 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 vd., 2020). Geliştirilmiş duvar fonksiyonu için y^+ değeri 7,4 olarak seçilmiştir.

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.

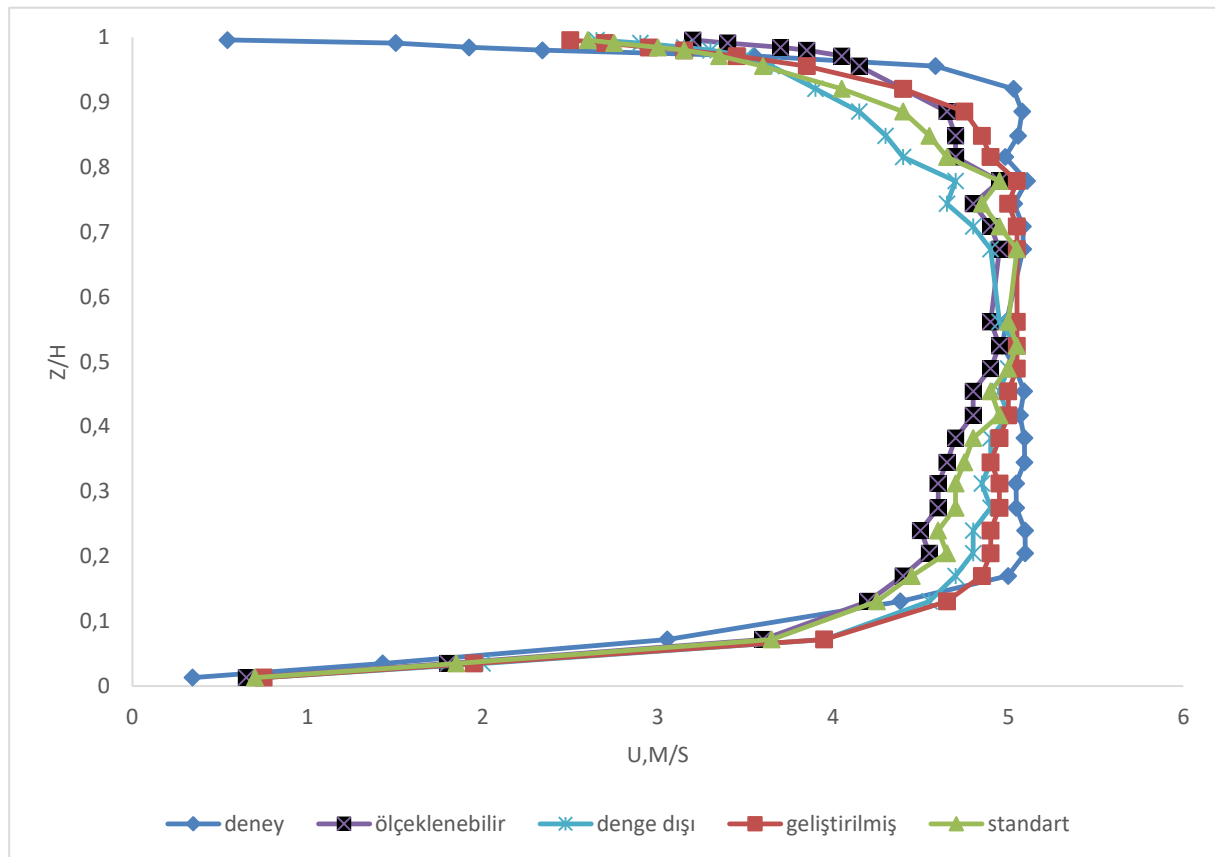
$$m = \rho \times Q = 998,2 \text{ kg/m}^3 \times 2,03 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} = 2,026346 \text{ kg/s}$$

(4)

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan sayısal çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda sunulmuştur.

Sayısal çalışma kapsamında farklı yakın duvar davranışı modellerinden elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Farklı yakın-duvar davranışı yaklaşımlarıyla elde edilen sayısal sonuçların ve deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılması

Figure 8. Comparing numerical results obtained from different near-wall treatment approaches with experimental study results

Şekil 8 incelendiğinde, 4 farklı yakın duvar modeli yaklaşımıyla elde edilen sonuçlarla deney sonuçları karşılaştırıldığında en başarılı tahmin sonucunu “geliştirilmiş duvar davranışı” modelinin verdiği görülmektedir. “Geliştirilmiş duvar davranışı” için karşılaştırma sonuçlarının sayısal ve yüzde olarak değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Geliştirilmiş duvar davranışı” modeli için karşılaştırma sonuçları

Table 3. Comparison results for “enhanced wall treatment” model

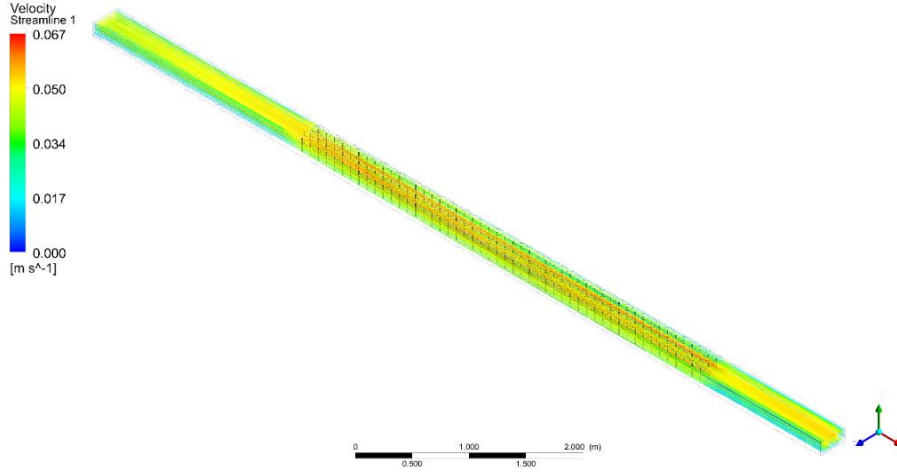
z/H	u deney m/s	u sayısal m/s	Rölatif hata %
0,01	0,34	0,75	-118%
0,03	1,43	1,95	-36%
0,07	3,05	3,95	-29%
0,13	4,38	4,65	-6%
0,17	5,00	4,85	3%
0,20	5,10	4,90	4%
0,24	5,10	4,90	4%
0,27	5,05	4,95	2%
0,31	5,05	4,95	2%
0,34	5,09	4,90	4%
0,38	5,09	4,95	3%
0,42	5,07	5,00	1%
0,45	5,09	5,00	2%
0,49	5,04	5,05	0%
0,52	4,97	5,05	-2%
0,56	4,99	5,05	-1%
0,67	5,09	5,05	1%
0,71	5,08	5,05	1%
0,74	5,03	5,00	1%
0,78	5,11	5,05	1%
0,82	4,98	4,90	2%
0,85	5,06	4,85	4%
0,89	5,08	4,75	7%
0,92	5,03	4,40	13%
0,96	4,59	3,85	16%
0,97	3,55	3,45	3%
0,98	2,34	3,15	-35%
0,98	1,92	2,95	-53%
0,99	1,50	2,70	-80%
1,00	0,54	2,50	-361%

z; kanal tabanından itibaren düşey yükseklik, m,
H; su yüksekliği, m

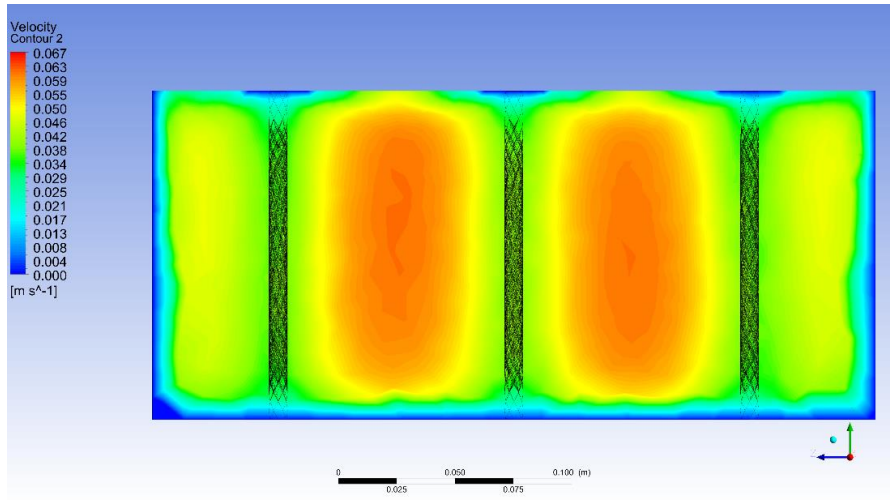
Yine Şekil 8 ve Tablo 4 incelendiğinde serbest bölgede en başarılı tahmin sonucunu geliştirilmiş duvar davranışı modeli vermesine rağmen temas bölgelerinde dört sayısal çalışma sonucunun benzer olduğu ve deney sonuçlarından uzak tahminler yaptığı gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak, gerçek ortam koşullarında da belirlenmesi en zor parametrelerden olan malzeme özelliğine bağlı pürüzlülük katsayılarının, deneysel çalışmada kullanılan yüzen biyotik lotus yaprağı ve fiberglas malzemedan oluşan kanalda tam olarak belirlenememesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca deney düzeneği hazırlanırken yapılmış olabilecek bazı maddi hataların sonuçları etkilemesi muhtemeldir. Örneğin bitkili bölgede yaprakların devamlı su yüzeyinde yüzdüğü ifade edilmesine rağmen kimi bölgelerde suya bir miktar battığı, bitki yerleşim düzeninin tam olarak simetri olmadığı, kimi yerlerde yaprakların üst üste bindiği ve bitkiler arasındaki mesafelerin her bölgede eşit olmadığı gibi durumlar gözlemlenmiştir.

Şekil 9’da sayısal çalışmanın doğrulaması sonucu en başarılı sonucu veren yakın duvar davranışı modeli “geliştirilmiş duvar fonksiyonu” ile elde edilmiş hız dağılımları görülmektedir. Şekil incelendiğinde hızların temas bölgelerinde düşük, serbest bölgelerde yüksek olduğu, en yüksek hızların yaprakların altında kökler arasında olduğu ve maksimum değerinin 0.067 m/s olduğu görülmektedir.

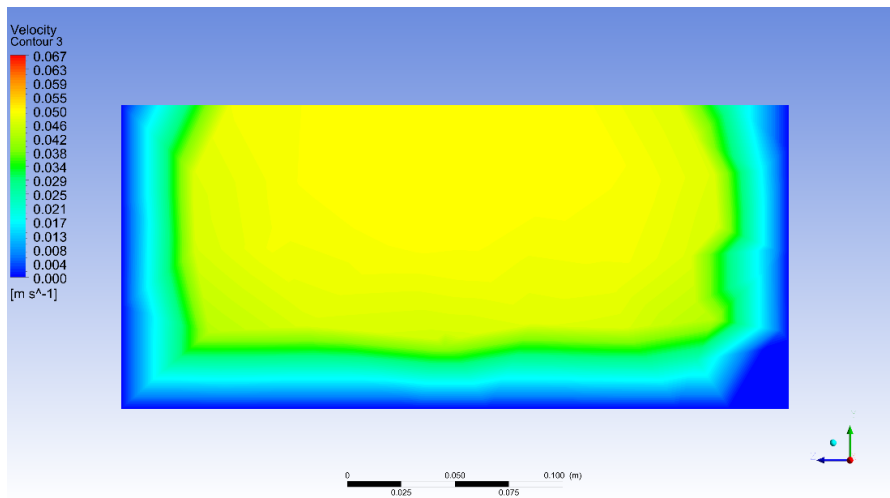
Şekil 10 ve Şekil 11’de bitkili ve bitkisiz bölgelerde ($x=5$ m ve $x=1,25$ m) enkesit boyunca derinlikle birlikte hız değişimleri görülmektedir. Bitkili bölgede hızların orta bölgede ve kök aralarında kesitin daraldığı yerlerde maksimum, kanal duvarları, yüzeydeki yapraklar ve kökler gibi temas bölgelerinde sürtünmeden dolayı minimum olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Bitki örtülü açık kanalda hız dağılımları
 Figure 9. Velocity fields on vegetated open channel



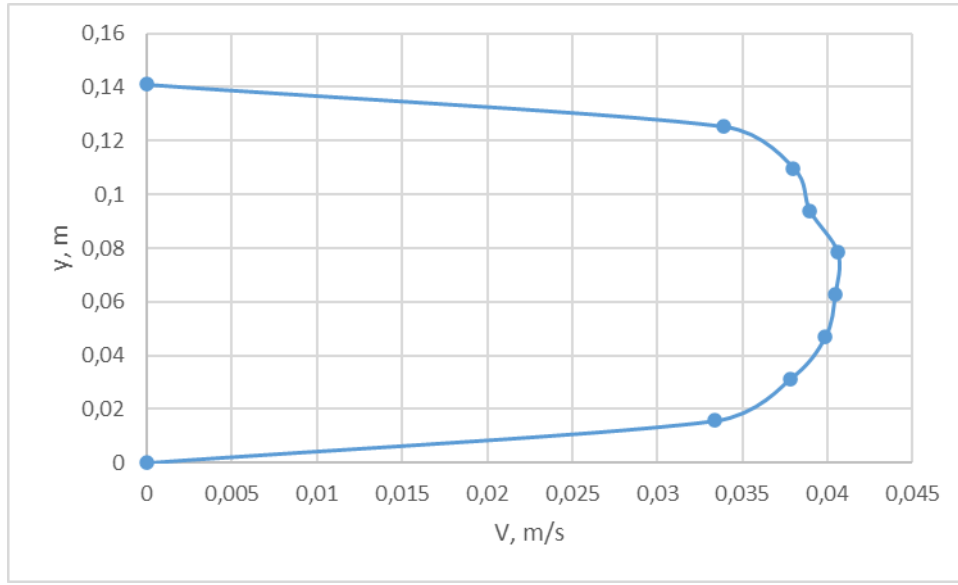
Şekil 10. Bitki örtülü bölgede en kesit boyunca hız dağılımları
 Figure 10. Velocity distributions along the cross-section in the vegetated area



Şekil 11. Bitki örtüsüz bölgede en kesit boyunca hız dağılımları
 Figure 11. Velocity distributions along the cross section in the unvegetated region

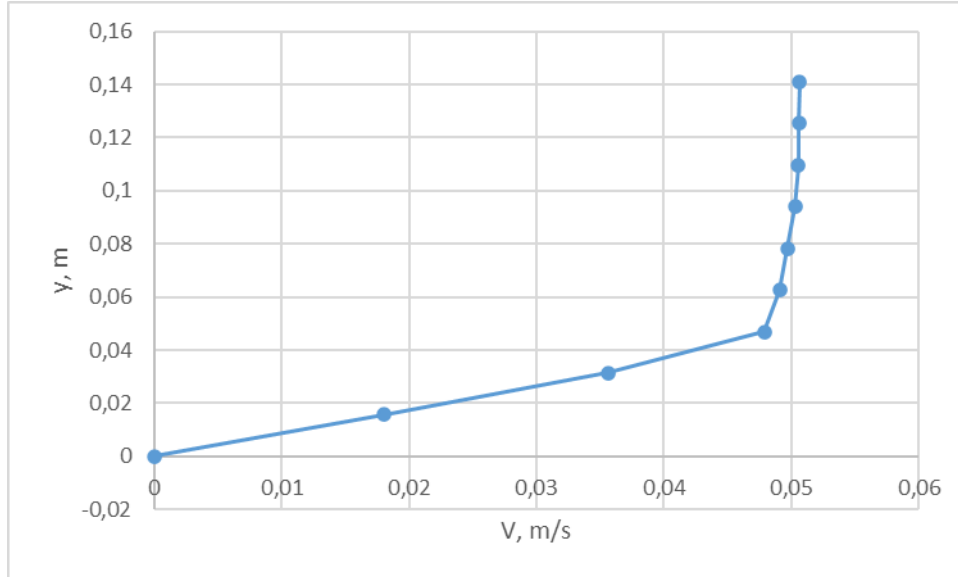
Şekil 12 ve Şekil 13'te bitkili ve bitkisiz bölgelerde ($x=5$ m ve $x=1,25$ m) ve kanal ortasında ($z=0,15$ m) bir çizgisel hat boyunca derinlikle birlikte hız değişimleri grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 12'de hızların kanal tabanı ve yüzeydeki yaprak yüzeylerinde sürtünmeden dolayı sıfır olduğu görülmektedir. Maksimum hız

tabandan $y=7,8$ cm yükseklikte $V= 0,041$ m/s olarak gözlemlenmiştir. Şekil 13'e bakıldığında ise bitkisiz bölgede minimum hızlar sadece kanal tabanında oluşmuştur. Maksimum hız ise $y=14,1$ cm yükseklikte su yüzeyinde $V=0,051$ m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. Bitkili bölgede en kesit boyunca derinlik-hız değerleri

Figure 12. Depth-velocity values along the cross section in the vegetated region



Şekil 13. Bitkisiz bölgede en kesit boyunca derinlik-hız değerleri

Figure 13. Depth-velocity values along the cross section in the unvegetated region

4. Sonuç

Bu çalışmada bitki örtülü kanalların akım özelliklerinin sayısal olarak tahmin edilmesinde önemli parametrelerden biri olan yakın duvar Türbülans modeli olarak gerçekleştirilebilir $k-\epsilon$ (realizable $k-\epsilon$) türbülans modeli kullanılmıştır. Farklı yakın duvar yaklaşımı modelleri kullanılarak (standart duvar fonksiyonları, ölçeklenebilir duvar fonksiyonları, denge dışı duvar fonksiyonları ve geliştirilmiş duvar davranışı) gerçekleştirilen sayısal çalışmaların sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve en başarılı yaklaşım ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla doğrulanan sayısal çalışma ile birlikte bitki örtüsüne sahip dikdörtgen kesitli açık bir kanalda hız dağılımları verilmiş ve aşağıdaki sonuçları elde edilmiştir.

- Dört farklı yakın duvar yaklaşımı ile yapılan sayısal çalışmalar sonucunda “geliştirilmiş duvar fonksiyonu” yaklaşımı en başarılı sonuçları vermiştir.
- Açık kanal akımında katı-sıvı temas bölgelerindeki sürtünme kayıplarının hesabı için kullanılan pürüzlülük parametreleri sayısal analiz sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir ve bu parametreler halen tam olarak belirlenmemektedir.
- Bitki büyümesi, kanal akımında hız dağılımlarını değiştirmektedir. Temas bölgelerinde hızlar düşükken serbest bölgelerde hızlar yüksektir. En büyük hız değeri 0,067 m/s olarak kökler arasında gözlemlenmiştir.
- Kanal içerisinde bitkisiz bölgede minimum hızlar sadece kanal tabanında oluşurken maksimum hız ise $y=14,1$ cm yükseklikte su yüzeyinde $V=0,051$ m/s olarak hesaplanmıştır.
- Bitkili bölgede ise hızların kanal tabanı ve yüzeydeki yaprak yüzeylerinde sürtünmeden dolayı sıfır olduğu görülmektedir. Maksimum hız tabandan $y=7,8$ cm yükseklikte $V= 0,041$ m/s olarak gözlemlenmiştir.
- Bu çalışma, genel olarak değerlendirildiğinde açık kanal akışının bitki örtüsüyle etkileşimini

davranışı yaklaşımlarının sayısal analiz sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Sayısal çalışma için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapabilen Ansys Fluent yazılımı kullanılmıştır.

anlamak ve açık kanal sistemlerinin hidrolik performansını geliştirmek için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Etik Standartların Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Çıkar Çatışması

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

Yazar Katkısı

Bu makalenin yazarı Rahim ŞİBİL, tüm araştırma sürecinin sorumlusu olmuştur. Araştırma tasarımını oluşturmuş, verileri toplamış ve analiz etmiştir. Ayrıca, makalenin yazım sürecini yönetmiş ve makaleyi tüm aşamalarında yazmıştır. Yazar, sonuçları yorumlayarak makalenin içeriğini şekillendirmiştir.

Kaynaklar

- Aberle, J., Järvelä, J., (2013). Flow resistance of emergent rigid and flexible floodplain vegetation. *Journal of Hydraulic Research* 51(1), 33–45.
<https://doi.org/10.1080/00221686.2012.754795>
- Akkoca Azize, Tutar Mustafa, Şahin Beşir, (2005). Effect of Different Wall Functions on the Prediction of Flow and Heat Transfer Characteristics in Plate Fin and Tube Heat Exchangers. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20(4), 77-86
- ANSYS Fluent, (2013). ANSYS Fluent.
- Anufriev, I.S., Baklanov, A.M., Borovkova, O. V, Vigriyanov, M.S., Leshchevich, V. V, Sharypov, O. V, (2017). Investigation of soot nanoparticles during combustion of liquid hydrocarbons with injection of a superheated steam jet into the reaction zone. *Combustion, Explosion, and*

- Shock Waves*, 53(2), 140–148.
<https://doi.org/10.1134/S0010508217020034>
- Ben Meftah, M., Mossa, M., (2023). Discharge prediction in partly vegetated channel flows: Adaptation of IDCM method with a curved interface and large-scale roughness elements. *Journal of Hydrology*, 616, 128805. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2022.128805>
- Breitenbach, J., Kissing, J., Roisman, I. V, Tropea, C., (2018). Characterization of secondary droplets during thermal atomization regime. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 98, 516–522. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.06.030>
- Cao, B.-Y., Sun, J., Chen, M., Guo, Z.-Y., (2009). Molecular Momentum Transport at Fluid-Solid Interfaces in MEMS/NEMS: A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 10(11), 4638–4706.
<https://doi.org/10.3390/ijms10114638>
- Chen, S.-C., Kuo, Y.-M., Li, Y.-H., (2011). Flow characteristics within different configurations of submerged flexible vegetation. *Journal of Hydrology*, 398(1-2), 124–134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.018>
- Chen, X., Liu, Y., (2015). Finite Element Modeling and Simulation with Ansys Workbench. CR Press, Taylor&Francis Group.
- De Marchis, M., Milici, B., Sardina, G., Napoli, E., (2016). Interaction between turbulent structures and particles in roughened channel. *International Journal of Multiphase Flow*, 78, 117–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.09.011>
- Ferro, V., (2019). Assessing flow resistance law in vegetated channels by dimensional analysis and self-similarity. *Flow Measurement and Instrumentation*, 69, 101610. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2019.101610>
- Han, L., Zeng, Y., Chen, L., 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>
- Helmiö, T., (2004). Flow resistance due to lateral momentum transfer in partially vegetated rivers. *Water Resources Research*, 40 (5), W05206. <https://doi.org/10.1029/2004WR003058>
- Hou, Q., 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>
- Huai, W., Hu, Y., Zeng, Y., 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>
- Huai, W., Xue, W., Qian, Z., (2015). Large-eddy simulation of turbulent rectangular open-channel flow with an emergent rigid vegetation patch. *Advances in Water Resources*, 80, 30–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.03.006>
- Huai, W.X., Zhang, J., Wang, W.J., 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>
- Huthoff, F., Roos, P.C., Augustijn, D.C.M., Hulscher, S.J.M.H., (2008). Interacting divided channel method for compound channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 134(8), 1158–1165.
- Islamova, A.G., Tkachenko, P.P., Shlegel, N.E., Strizhak, P.A., (2023). Effect of surface roughness of solid particles on the regimes and outcomes of their collisions with liquid droplets. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 142, 110829. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2022.110829>
- Jebelli, A., Mahabadi, A., Saeid Zare, M., 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>
- Kumar, S., Kumar, B., Deshpande, V., Agarwal, M., (2023). Predicting flow velocity in a vegetative alluvial channel using standalone and hybrid machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 232, 120885. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2023.120885>
- Launder, B.E., Reece, G.J., Rodi, W., (1975). Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure. *Journal of Fluid Mechanics* 68, 537–566. <https://doi.org/10.1017/S0022112075001814>

- Lauder, B.E., 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)
- Li, C.W., Zeng, C., (2009). 3D Numerical modelling of flow divisions at open channel junctions with or without vegetation. *Advances in Water Resources*, 32(1), 49–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.09.005>
- Li, G., Guo, Y., Mabuchi, T., Surblys, D., Ohara, T., Tokumasu, T., (2022). Prediction of the adsorption properties of liquid at solid surfaces with molecular scale surface roughness via encoding-decoding convolutional neural networks. *Journal of Molecular Liquids*, 349, 118489. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118489>
- Li, Q., Zeng, Y. hong, 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>
- Liu, C., Shan, Y.Q., Yang, K.J., Liu, X.N., (2013). The characteristics of secondary flows in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B* 25(3), 422–429. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(11\)60381-9](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(11)60381-9)
- Lu, J., Dai, H.C., (2017). Three dimensional numerical modeling of flows and scalar transport in a vegetated channel. *Journal of Hydro-environment Research* 16, 27–33. <https://doi.org/10.1016/J.JHER.2017.05.001>
- Margarinos, I., Nikolopoulos, N., Gavaises, M., (2016). A numerical study on droplet-particle collision dynamics. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 61(Part B), 499–509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2016.06.010>
- Nepf, H.M., (2011). Flow and Transport in Regions with Aquatic Vegetation. *Annual Review of Fluid Mechanics* 44, 123–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-120710-101048>
- Pizziol, B., Costa, M., Panão, M.O., Silva, A., (2018). Multiple impinging jet air-assisted atomization. *Experimental Thermal and Fluid Science* 96, 303–310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.03.019>
- Pradhan, S., Khatua, K.K., (2020). Momentum transfer coefficients at the adjoining interfaces of a compound channel. *Flow Measurement and Instrumentation* 75, 101792. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2020.101792>
- Sam Huang, H., Varshney, V., Wohlwend, J.L., Roy, A.K., (2013). Heat Transfer at Aluminum–Water Interfaces: Effect of Surface Roughness. *Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine* 3(3). <https://doi.org/10.1115/1.4007584>
- Şibil, R., Aras, E., 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>
- Skote, M., Henningson, D.S., 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
- Stoesser, T., Salvador, G.P., Rodi, W., Diplas, P., (2009). Large eddy simulation of turbulent flow through submerged vegetation. *Transport in Porous Media* 78, 347–365. <https://doi.org/10.1007/S11242-009-9371-8/METRICS>
- Tang, X., (2017). An improved method for predicting discharge of homogeneous compound channels based on energy concept. *Flow Measurement and Instrumentation* 57, 57–63. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2017.08.005>
- Vargas-Luna, A., Crosato, A., Uijtewaal, W.S.J., (2015). Effects of vegetation on flow and sediment transport: comparative analyses and validation of predicting models. *Earth Surface Process and Landforms* 40(2), 157–176. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.3633>
- Wang, C., Yu, J-y, Wang, P-f, Guo, P-c, (2009). Flow structure of partly vegetated open-channel flows with eelgrass. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B* 21(3), 301–307. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60150-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60150-X)
- Wang, M., Avital, E., Chen, Q., Williams, J., Mi, S., Xie, Q., (2021a). A numerical study on suspended sediment transport in a partially vegetated channel flow. *Journal of Hydrology* 599, 126335.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126335>
- Wang, M., Avital, E., Korakianitis, T., Williams, J., Ai, K., (2021b). A numerical study on the influence of curvature ratio and vegetation density on a partially vegetated U-bend channel flow. *Advances in Water Resources* 148, 103843. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103843>
- Wang, W., Huai, W.X., Gao, M., (2014). Numerical investigation of flow through vegetated multi-stage compound channel. *Journal of Hydrodynamics* 26(3), 467–473. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(14\)60053-6](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(14)60053-6)
- Wang, X., Huai, W., Cao, Z., (2022). An improved formula for incipient sediment motion in vegetated open channel flows. *International Journal of Sediment Research* 37(1), 47–53. <https://doi.org/10.1016/J.IJSRC.2021.06.001>
- Wilcox, D.C., (2006.) -Turbulence Modeling for CFD, Third. ed. DCW Industries, Inc., California.
- Xia, J., Zhang, Q., He, Z., Wang, J., Liu, R., Qian, Y., Ju, D., Lu, X., (2021). Experimental study on diesel's twin injection and spray impingement characteristics under marine engine's conditions. *Fuel* 302, 121133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121133>
- Yakhot, V., 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>
- Yang, C., Jeong, J., Kim, Y., Bang, B., Lee, U., (2021). Numerical simulation of a circulating fluidized bed combustor and evaluation of empirical models for estimating solids volume fraction. *Powder Technology* 393, 786–795. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.001>
- Yang, Z., Li, D., Huai, W., Liu, J., (2019). A new method to estimate flow conveyance in a compound channel with vegetated floodplains based on energy balance. *Journal of Hydrology* 575, 921–929. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.05.078>
- Yilmazer, D., Ayna, G., Ozan, A.Y., Cihan, K., (2022). Tam batmış bitki tarlasının açık kanal akım hızlarına etkisinin flow-3d ile modellenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 24, 757–769. <https://doi.org/10.25092/BAUNFBED.1066999>
- Zhang, C., Chen, Y., Peterson, G.P., (2014a). Thermal slip for liquids at rough solid surfaces. *Physical Review E* 89(6-1), 62407. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.89.062407>
- Zhang, C., Deng, Z., Chen, Y., (2014b). Temperature jump at rough gas–solid interface in Couette flow with a rough surface described by Cantor fractal. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 70, 322–329. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2013.10.080>