

Rijit davranış gösteren esnek bitkilerin akıma karşı oluşturduğu direncin belirlenmesi

Determination of flexible vegetation resistance against the flow with rigid behavior

Gökçen BOMBAR^{1*}, Ebru ERİŞ², Üveys KAVAKLI²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
gokcen.bombar@ikc.edu.tr

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
ebru.eris@ege.edu.tr, uveyskavakli@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 31.03.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 31.08.2016

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.43726

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada farklı dizilimlerde yerleştirilen çok saplı esnek bitkilerin akıma karşı dik durarak rijit davranış göstermesi durumunda oluşturacağı pürüzlülük katsayılarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Dört farklı konfigürasyonda gerçekleştirilen 166 deneyde 7 farklı noktada akım derinliği ölçülmüş, debi elde edilmiş ve bitkilerden ötürü kaynaklanan yük kaybı hesaplanmıştır. Chézy katsayısı C , Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı f ve Manning katsayısı n 'in, Reynolds sayısının 10000 değerinden küçük ve büyük olması durumunda tek bir fonksiyonla ifade edilemeyeceği görülmüş ve veriler iki gruba ayrılarak incelenmiştir. Pürüzlülük katsayısını verecek boyutsuz parametreler Froude sayısı Fr , Reynolds sayısı Re , bağıl pürüzlülük h/h_v , yaklaşım akımı enerji çizgisi eğimi S_f ve bitki yoğunluğu k olarak belirlenmiştir. Pürüzlülük katsayılarının belirlenmesi için doğrusal olmayan regresyon modeli ile en uygun denklemler elde edilmiştir. Reynolds sayısının 10000'den küçük olması durumunda pürüzlülük katsayıları için; $f = f\{h/h_v\}$, $n = \{Fr, h/h_v, k\}$ ve $C = \{Fr, S_f\}$ olduğu; Reynolds sayısının 10000'den büyük olması durumunda $f = \{h/h_v, k\}$, $n = \{Fr, h/h_v, k\}$ ve $C = \{Fr, Re, h/h_v, S_f, k\}$ olduğu görülmüştür. Ayrıca beklendiği gibi düşük Reynolds sayılarında bitkilerin varlığının, diğer parametrelerden bağımsız olarak akıma karşı gösterilen direnci arttırdığı sonucuna varılmaktadır. Bu denklemlerdeki farklı katsayıların akım doğrultusundaki bitki yüzey alanı ve bitki yoğunluğu gibi faktörlerden etkilendiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Bitki, Esnek, Batık olmayan, Akıma karşı direnç, Pürüzlülük katsayıları

Abstract

In this study, it is aimed to obtain roughness coefficients of flexible multi-stemmed vegetation standing upright against flow with rigid behavior. Flow depths and discharges are measured; head losses causing from vegetation are calculated at 7 different points in 166 experiments for four different configurations. It is seen that Chézy coefficient C , Darcy-Weisbach friction coefficient f and Manning coefficient n cannot be expressed with a single function for all Reynolds number. Therefore, the data are analyzed for the two different cases of Reynolds number lower and greater than 10000. Dimensionless parameters for the roughness coefficients are determined as Froude number Fr , Reynolds number Re , the relative roughness h/h_v , approach flow energy line slope S_f , and vegetation density k . The most suitable equations for estimating roughness coefficients are obtained by non-linear regression models. It is evaluated that for the Reynolds number lower than 10000 the roughness coefficients are defined as $f = f\{h/h_v\}$, $n = \{Fr, h/h_v, k\}$ and $C = \{Fr, S_f\}$, and for the Reynolds number greater than 10000 they are given as $f = \{h/h_v, k\}$, $n = \{Fr, h/h_v, k\}$ and $C = \{Fr, Re, h/h_v, S_f, k\}$. Also, for relatively low Reynolds numbers, the presence of plants caused an increase in resistance against the flow independently of other parameters as expected. It is observed that the regression equation coefficients could be influenced by factors such as surface area plant in the flow direction and plant density.

Keywords: Vegetation, Flexible, Emergent, Resistance to flow, Roughness coefficients

1 Giriş

Nehir sistemlerinde, bitki dağılımının nehir davranışı üzerindeki etkisinin çalışılması çok önemlidir. Doğal nehirlerin taşkın yatakları ve komşu sulak alanları ekolojik değerler açısından büyük öneme haiz bölgelerdir [1]. Bitkiler, nehirlerdeki akım, sediment taşınımı ve morfolojik yapı gibi birbirini etkileyen sistemler içinde bitkiler anahtar faktördür [2]. Bu nedenle, bitkiler akım yapısına etki etmekte ve hidrolik tasarım aşamasında belirsizliklere yol açabilmektedir.

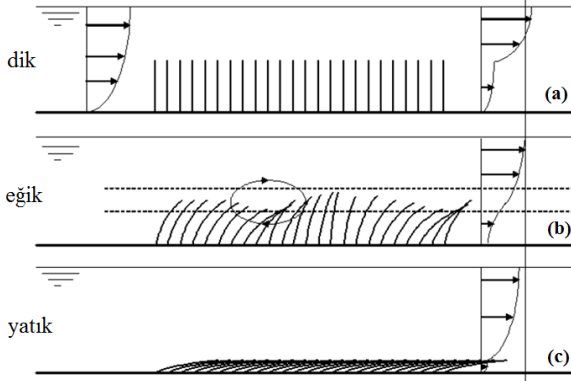
Hidromekanik açıdan irdelendiğinde, rijit (ağaçlar, sazlıklar vb.) ve esnek (yosun, nilüfergiller vb.) olmak üzere iki çeşit bitki türünden bahsetmek mümkündür. Esnek bitkiler akımın şiddetine bağlı olarak değişime özelliğine sahiptir. Örneğin Şekil 1a'da verildiği gibi düşük hızlarda esneme özelliği olan bir bitki grubunun dik durması ve rijit bitki davranışı göstermesi mümkündür. Akım şiddetindeki artışla birlikte bitkiler kısmen yatmaya ve esnekliklerine göre tekrar doğrultmaya başlar,

eğilip bükülür hatta kısmen salınıp dalgalanabilirler (Şekil 1b). Şiddetin iyice artması ile dalgalanma son bulur, salınım ortadan kalkar ve tüm bitkiler Şekil 1c'de verildiği gibi yatık vaziyete gelirler [3].

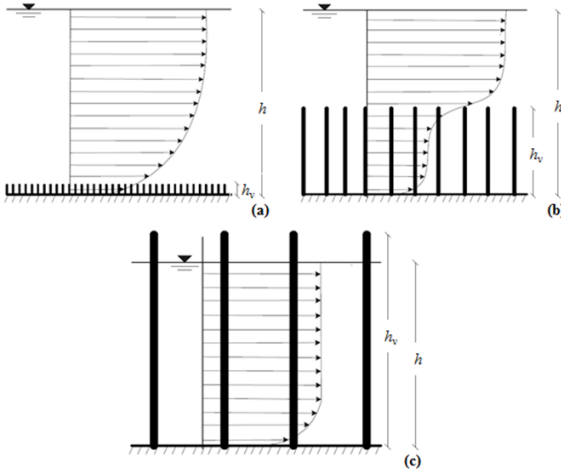
Bitkileri ayrıca batık ve batık olmayan şeklinde de ayırmak mümkündür [4]. Kleinhans'a göre bitki yüksekliğinin (h_v), akım derinliğine (h) oranına bakarak hız profilinin ne şekilde etkilendiği Şekil 2 ile açıklanabilir [5]. Burada, Şekil 2a ve Şekil 2b batık bitki durumu ve Şekil 2c batık olmayan bitki durumunu göstermektedir. Akım içindeki bitki yüksekliği, esnek eğik ve yatık bitkilerde eğilmiş bitkinin yüksekliği olarak dikkate alınmalıdır.

Bitkiler taşkın yataklarında bulunabilmekle birlikte ana kanal içinde de olabilmektedir. Kimi bitkiler sene içinde mevsimden mevsime değişiklik gösterebilmekte, bahar ve yaz aylarında tazeliğini korumakta; sonbahar ve kış aylarında kuruyarak esnek özelliklerini yitirebilmekte, rijit hale geçebilmektedir. Yine bazı bitkiler farklı büyüklük ve şekillerde yapraklara sahip

olabilmekte ya da yapraksız olabilmektedir. Bitkiler münferit ya da öbekler halinde de akım içinde mevcudiyetlerini koruyabilmektedir.



Şekil 1: Esnek tabiatta olup akım koşullarına göre. (a): Dik, (b): Eğik ve (c): Yatık bitkiler [3].



Şekil 2: (a) ve (b): Batık ve (c): Batık olmayan bitkiler [3].

Bitkilerin varoluşlarındaki bu çeşitlilik akıma karşı oluşturdukları direncin belirlenmesini de karmaşıktır. Bitkilerin esnekliği, rijitliği, batıklık oranı, yaşı, mevsimi ve yan dallanması, sayı ve bitkilerin mekânsal dağılımı, sayısı, yoğunluğu, nehir ve taşkın yataklarında oluşu ve ayrıca mevsimler bitki örtüsünün oluşturacağı direncin bölgelere göre değişmesine neden olmaktadır.

Akım direnci ile ilgili çalışmalarda kanal pürüzlülüğü tanımlamak için farklı formüller geliştirilmiştir. Bu formüller, ilk olarak boru akımları için elde edilmiştir, ancak günümüzde bitki örtüsü nedeniyle oluşan direncin tanımlanmasında da pek çok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır [3].

Fransız mühendis Antoine Chézy, 1769 yılında taban ve yan duvarlarının pürüzlülüğü tanımlamak için geleneksel bir yaklaşımla aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$U = C\sqrt{RS} \quad (1)$$

Burada, C Chézy katsayısı ve S kanal taban eğimidir [6].

Julius, 1845 yılında elde edilen Weisbach ve 1858 yılında elde edilen Henry Darcy formül denklemlerini ele alarak bir kombinasyon olarak Darcy-Weisbach denklemini literatüre kazandırmıştır:

$$U = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS} \quad (2)$$

Burada, f sürtünme katsayısı ve g yerçekimi ivmesidir.

İrlandalı mühendis Manning açık kanal akımları için aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S} \quad (3)$$

Burada, n Manning sürtünme katsayısıdır.

Bahsi geçen pürüzlülük katsayıları f , n ve C aşağıda ifade edildiği gibi birbirleri cinsinden de yazılabilmektedir.

$$f = \frac{8gn^2}{R^{1/3}} = \frac{8g}{C^2} \quad (4)$$

Literatüre bakıldığında, açık kanal akımlarında akım direnci için en çok kullanılan pürüzlülük katsayısı, Manning denkleminde yer alan Manning katsayısı n 'dir [1],[7]. Manning katsayısı [6] tarafından tablolar halinde verilmiştir. Arazi çalışmalarında; verilen katsayılar bir şekilde başlangıç değeri olarak kabul edilmiş ve daha sonra sürtünme katsayıları deneme yanılma yoluyla mevcut hidrolik koşullara bağlı olarak hesaplanmıştır [8]. ABD Tarım Bakanlığı (United States Department of Agriculture-USDA) tarafından hazırlanan "Handbook of channel design for soil and water conservation" adlı kitapta, $n - UR$ metodu olarak geliştirilen metot; belli bir tip bitkide Manning n pürüzlülük katsayısı ile ortalama kesitsel hız U ve hidrolik yarıçap R arasında bir ilişki olduğunu önermektedir [9]. Bu çalışmada bitki örtüsü başlıca 5 gruba ayrılmış ve her biri bir $n - UR$ grafiği ile temsil edilmiştir. Ancak eğimin az veya bitki örtüsünün kısa ve sert olduğu bazı durumlarda $n - UR$ metodunun geçerliliği kısıtlıdır [1],[10]. Ree ve Crow düşük eğimler içinde tek $n - UR$ eğrisi önermiş olsa da, bu eğriler tek güvenilir kaynak olarak ele alınmamaktadır [11].

Esnek bitkiler ile akım direnci üzerine yapılan çalışmalarda rijit bitkilerinkine göre farklı sonuçlar bulunmuştur. Bazı araştırmacılar bitkilerin oluşturduğu direnç kuvvetini hesaplamışlar ve rijit bitkilerde olduğu gibi hızın karesi ile değil kendisi ile doğru orantılı olduğunu görmüşlerdir [12]-[14]. Oplatka deneylerinde akım hızının $1m/s$ 'den daha büyük olması durumunda hızın direnç kuvveti F_d ile doğru orantılı olduğunu belirlemiştir [15]. Benzer şekilde Xavier ve diğ. esnek, sualtı bitkilerinin yapraklı ve yapraksız olmaları durumunda oluşturduğu direnç kuvvetini hesaplamışlardır [16]. Yapraklı bitkilerin direnç kuvvetini arttırdığını belirtmiş ve direnç kuvveti ile hız arasında bir eşik hızını, U_T (trans-flexing zone) belirtmişlerdir. Bu eşik hızından düşük hızlarda bitkinin direnç kuvveti bakımından rijit ($F_D \propto U^2$), daha büyük hızlarda ise esnek bitkiler ($F_D \propto U$) gibi davrandığını görmüşlerdir.

Kouwen ve diğ. esnek sualtı bitkilerinin pürüzlülük yüksekliğini (h_v) çalışmış ve parametrik olarak ifade etmiştir [17],[18]. Temple kanalda sualtı kısa bermuda çimi için benzer çalışmalar yapmıştır [19]. Darby esnek bitkilerin pürüzlülük yüksekliğinin bitkinin gövde kısmının ve aynı zamanda akımın özelliğine bağlı olduğunu belirtmiştir [20]. Li ve Kouwen pürüzlülük yüksekliği yaklaşımına göre bitkinin eğilmiş yüksekliğinin, bitkinin eğilmemiş yüksekliğine, kayma gerilmesine, akım derinliğine ve MEI 'ya bağlı olduğunu göstermiştir [21],[22]. Burada, MEI , M gövde yoğunluğu, E gövde elatisite modülü ve

I gövde kesitin taaleet momenti parametrelerinin çarpımıdır. Kouwen yaptıkları çalışmada çim tipi bitkilerin *MEI* gibi biyomedikal özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılmak üzere "plaka düşürme" (board drop) testi adını verdikleri pratik bir metot kullanmışlardır [22]. Gövde uzunluğu ve rijitlik; bu teste göre birbiri ile ilişkilidir [8],[23],[24]. Bu teste standart boyutlardaki bir tahta plaka, bitki yüzeyinin üzerinde serbest bırakılarak düşürülür. Bitkiler akan suyun etkisi ile eğildiği gibi bu plaka altında da eğilirler. Bitkilerin tutunduğu zemin ile düşürülen plaka arasında kalan mesafe akım koşullarında bitkilerin eğilmeye karşı koydukları direncin bir göstergesidir. *MEI* parametresinin değeri standart kalibrasyon eğrileri kullanılarak ölçülen bu mesafe ile bulunabilmektedir.

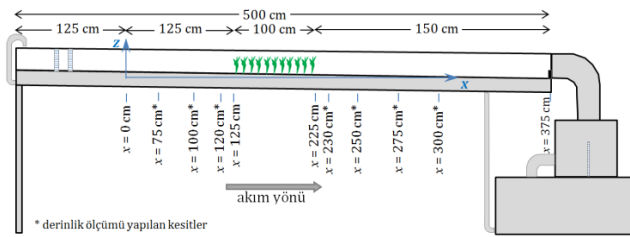
Yakın zamanda yapılan çalışmalarda bitkilerin özelliklerinin incelenmesi yaparak ölçeğine kadar inmiştir [25]. Bitki özelliklerinin belirlenmesinde laboratuvar testleri (çekme ve eğilme testleri) kullanılmaktadır [26]. Wilson ve Horritt laboratuvarında kullandığı bitkiler için *MEI* değerini elde etmişse de tabiattaki bitkiler için bu parametrenin elde edilmesi zordur [24].

Bitkilerin su altında kaldığı kısım direnç hesabında büyük önem arz etmektedir. Bitki ön alanının derinlikle değişebilir olması bitkilerden kaynaklanan direnç kuvvetlerinin elde edilmesini karmaşıklaştırmaktadır [27]-[29].

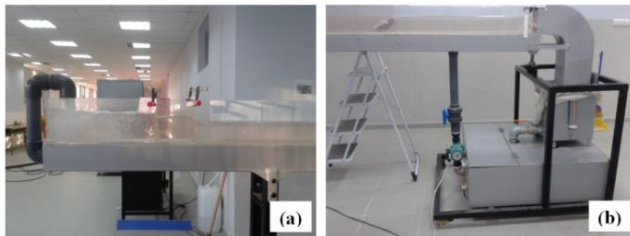
Bu çalışmada farklı dizilimlerde yerleştirilen çok saplı esnek bitkilerin akıma karşı dik durarak rijit davranış göstermeleri durumunda oluşturacağı direncin f , n ve C katsayıları ile ifade edilmesi amaçlanmıştır.

2 Deneysel Düzenek

Deneysel Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında mevcut 5 m uzunluğunda, 18 cm genişliğinde eğimi ayarlanabilen devir daim yapan açık kanal üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Burada, $z = 0$ $x = 300$ cm'de kanal taban kotunu göstermektedir. Kanal memba ve mansabına ait fotoğraflar sırasıyla Şekil 4a ve 4b'de sunulmuştur.

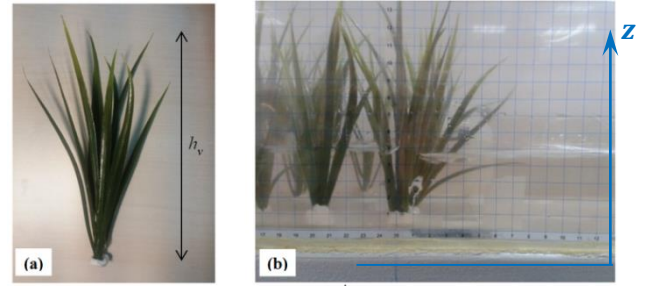


Şekil 3: Deneysel düzenek şematik görünümü.



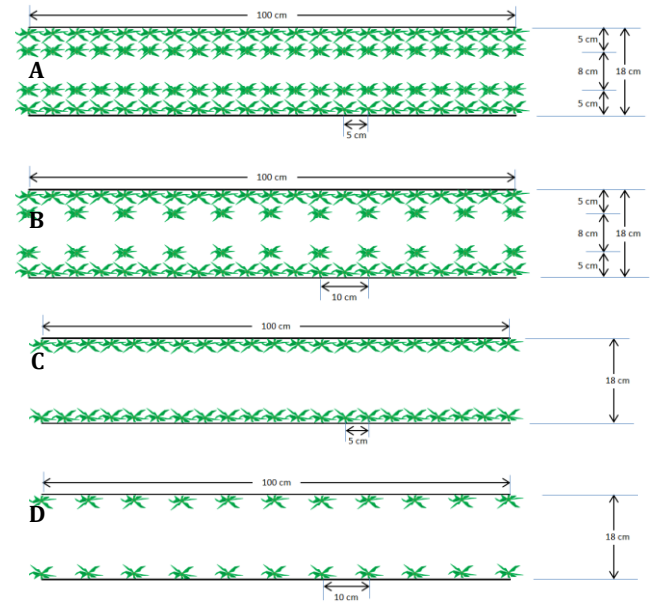
Şekil 4: Deneysel düzenek. (a): Memba ve (b): Mansabı.

Deneysel Şekil 5a'da verilen esnek plastik bitkiler kullanılmıştır. Çok saplı özellikli bitkiler kök kısmında birleşen 10 adet ince uzun yapraktan oluşmaktadır. Bitki uzunluğu h_v 14 cm olup tabandan yukarı doğru çıkıldıkça bitki yaprakları açılmakta akım alanını daha fazla engellemektedir (Şekil 5b).

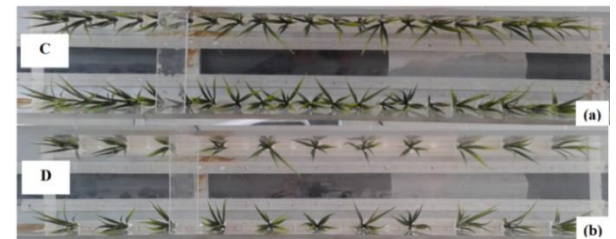


Şekil 5: Bitkiler kanal içine. (a): Yerleştirilmeden önce ve (b): Yerleştirildikten sonra.

Bitkiler kanala Şekil 6'da verildiği gibi 4 farklı konfigürasyonda dizilmiştir. A ve B konfigürasyonlarında iki sıra, C ve D konfigürasyonlarında tek sıra bitki tabana yapıştırılmıştır. Örnek olarak C ve D konfigürasyonlarının üstten görünüşü Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6: Bu çalışmada bitkilerin dizilimini gösteren dört farklı konfigürasyon.



Şekil 7: Bitki dizilimlerinin üstten görünüşü. (a): C ve (b): D konfigürasyonları.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel özellikler Tablo 1'de sunulmuştur. Toplamda 166 adet deney yürütülmüştür. Tabloda birim alana düşen bitki sayısı; bitki yoğunluğu k olarak ifade edilmiştir. Deneysel ölçülen yaklaşım akım derinliği h ve debi Q aralığı aynı tabloda her konfigürasyon için verilmiştir.

Bitkilerin bulunduğu 1 m uzunluğundaki bölgenin 5,25 ve 50 cm membasında ($x = 75$ cm, 100 cm ve 120 cm) ve 5,25, 50 ve 75 cm mansabında ($x = 230$ cm, 250 cm, 275 cm ve 300 cm) olmak üzere kanal boyunca 7 farklı noktada akım

derinliği ölçülmüştür. Tablo 1’de yer alan akım derinlikleri $x = 120$ cm’e ait değerlerdir. Tüm hesaplamalarda bu kesite ait derinlik esas alınmıştır.

Devridaimi sağlayan pompa özelliği gereği iki farklı kademe çalıştırılmıştır. Her iki kademe için her seferinde ölçekli kap ve kronometre yardımıyla debi elde edilmiştir. İlk kademe için 85 debi ölçümünün ortalaması 0.4 l/s, ikinci kademe için 81 debi ölçümünün ortalaması 2.7 l/s’dir. Deneyler %0.1 ve %0.7’lik iki farklı eğimde, sırasıyla 85 ve 81 adet olmak üzere devam ettirilmiştir.

3 Deneysel sonuçlar

Bitki bölgesinin membasında kalan ($x = 120$ cm) son akım derinliği kullanılarak Reynolds sayısı $\{Re = U4R/v\}$, Froude sayısı $\{Fr = U/(gh)^{1/2}\}$ ve akım derinliğinin bitki yüksekliğine oranı olan bağıl pürüzlülük $\{h/h_v\}$ elde edilmiştir. Burada v kinematik viskozitedir. Ortalama kesitsel hız B kanal genişliği olmak üzere, $U = Q/Bh$ ile hesaplanmıştır. Tüm deneylerde akım derinliği bitki yüksekliğinden daha az olduğundan bağıl pürüzlülük değeri 1.0’dan küçük olmuştur. Denklem (1),(2),(3) ile f , n ve C pürüzlülük katsayıları hesaplanmıştır. Söz konusu parametrelerin minimum ve maksimum değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Deneylerde elde edilen su yüzü profilleri 0.4 l/s ve 2.7 l/s debi için sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9’da sunulmuştur. Her iki şekilde de A, B, C ve D olarak adlandırılan bitki dizilim konfigürasyonları için ayrı ayrı çizim yapılmıştır. Burada x kanal membasından olan mesafeyi (Şekil 3), z kanal taban kotlarını $z + h$ ise su yüzeyi kotlarını vermektedir. Deneylerde kullanılan plastik bitkiler esnek kategorisinde değerlendirmelerine rağmen, dikkate alınan akım koşullarında esnek bitki davranışı göstermemiş ve rijit bitki davranışı göstermişlerdir (Şekil 1a).

Chézy katsayısı C , sürtünme katsayısı f ve Manning katsayısı n ’in Froude ve Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 10’da verilmiştir. Buradan görülen ilk özellik, tüm katsayıların Fr sayısının tek bir fonksiyonu ile ifade edilebilecek oluşudur. Ancak katsayılar Reynolds sayısı 10000 değerinden önce farklı yaklaşık 20000’den büyük iken farklı bir değişim göstermekte olup tek bir fonksiyon ile ifade edilebilmeleri oldukça güçtür. Bu nedenle Reynolds sayısının 10000 değeri kritik değer olarak ele alınmış ve veriler iki kategoride incelenmiştir.

Bu aşamada pürüzlülük katsayılarını verecek boyutsuz parametreler Froude sayısı Fr , Reynolds sayısı Re , yaklaşım akım derinliğinin bitki yüksekliğine oranı olan bağıl pürüzlülük h/h_v , yaklaşım akımı enerji çizgisi eğimi S_f , bitki ve yoğunluğu k olarak belirlenmiştir. Tüm bu parametreleri içine alan uygun

denklemler doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile elde edilmiştir. Regresyon katsayılarından Ω ’nın dizilimi temsil ettiği düşünülmektedir [30].

Darcy-Weisbach denkleminde yer alan sürtünme katsayısı için (5a) ve (5b) ile verilen denklemler sırasıyla $Re < 10000$ ve $Re > 10000$ için regresyon ile elde edilmiştir. Bu çalışmada ölçülen ve Denklem (5) ile hesaplanan f katsayılarının uyumu Şekil 11 ile verilen grafiklerde görülmektedir. Denklemlerden görüldüğü gibi f katsayısı $Re < 10000$ iken sadece bağıl pürüzlülük ile ve $Re > 10000$ iken ek olarak bitki yoğunluğu ile de değişmektedir.

$$f = \Omega \left(\frac{h}{h_v} \right)^{3.20} \quad (5a)$$

$$f = \Omega \left(\frac{h}{h_v} \right)^{0.94} (k + 411.18)^{2.83} \quad (5b)$$

Manning denkleminde yer alan n katsayısı için (6a) ve (6b) ile verilen denklemler sırasıyla $Re < 10000$ ve $Re > 10000$ için regresyon ile elde edilmiştir. Bu çalışmada ölçülen ve denklem (6) ile hesaplanan n katsayılarının uyumu Şekil 12 ile verilen grafiklerde görülmektedir. Denklemlerden görüldüğü gibi n katsayısı tüm Reynolds sayıları için Fr , h/h_v ve k parametreleri ile değişmektedir.

$$n = \Omega Fr^{0.15} \left(\frac{h}{h_v} \right)^{1.67} (k + 1.00)^{0.08} \quad (6a)$$

$$n = \Omega Fr^{0.02} \left(\frac{h}{h_v} \right)^{0.72} (k + 385.75)^{1.23} \quad (6b)$$

Chézy denkleminde yer alan C katsayısı için (7a) ve (7b) ile verilen denklemler yukarıda anlatıldığı şekilde elde edilmiştir. Bu çalışmada ölçülen ve Denklem (7) ile hesaplanan C katsayılarının uyumu Şekil 13 ile verilen grafiklerde görülmektedir. Denklemlerde görüldüğü gibi C katsayısı $Re < 10000$ iken sadece Froude sayısına ve yaklaşım akım enerji çizgisine bağlıdır. Ancak, $Re > 10000$ iken ek olarak Reynolds sayısına, bağıl pürüzlülüğe ve bitki yoğunluğuna da bağlı olmaktadır.

$$C = \Omega Fr^{0.58} S_f^{0.03} \quad (7a)$$

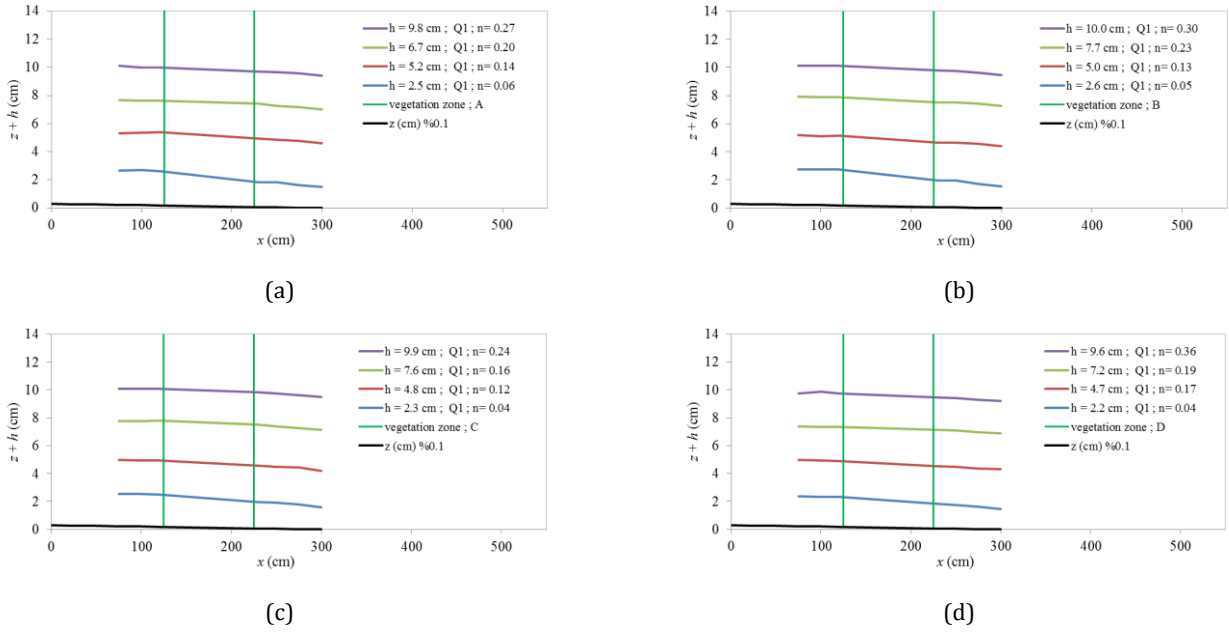
$$C = \Omega Fr^{4.76} Re^{0.06} \left(\frac{h}{h_v} \right)^{5.74} S_f^{0.077} (k + 1.05)^{3.68} \quad (7b)$$

Tablo 1: Gerçekleştirilen deneylere ait özellikler.

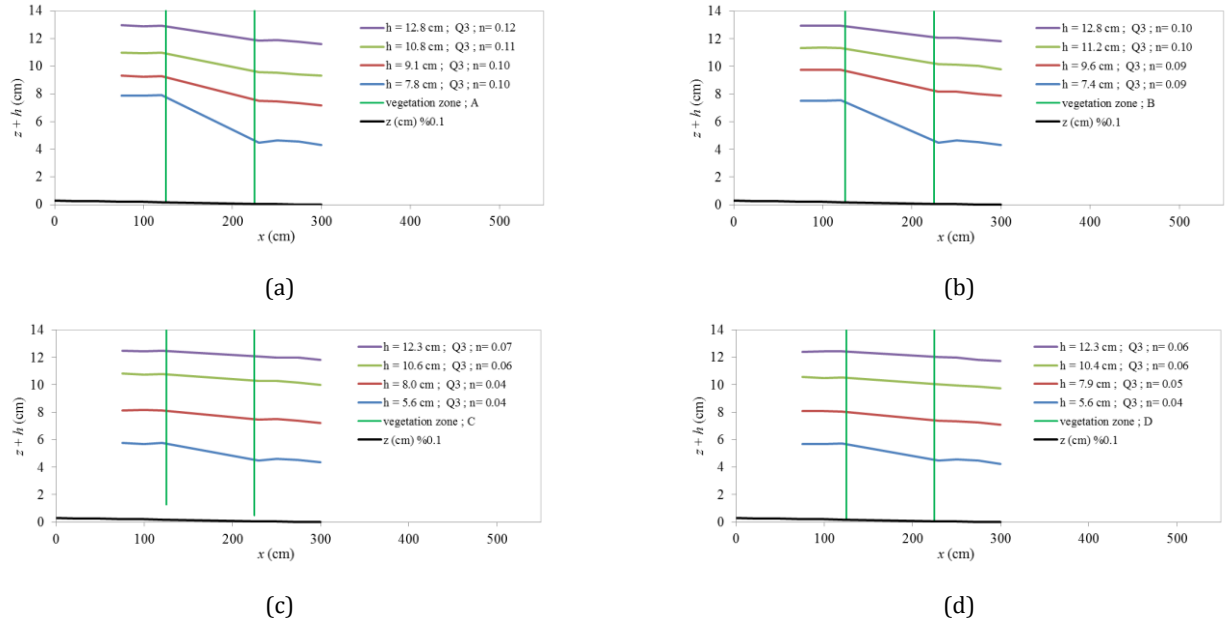
Konfigürasyon	Bitki Sayısı	Yoğunluk k (m^{-2})	Deney Sayısı	Akım Derinliği h (cm)	Debi Q (l/s)
A	84	467	44	1.30-12.75	0.31-2.88
B	64	356	40	1.35-12.75	0.34-2.99
C	42	233	41	0.90-12.30	0.26-3.06
D	22	122	41	1.00-12.25	0.27-3.06

Tablo 2: Deneylerde gözlenen Re , Fr , bağıl derinlik, f , n ve C katsayı aralıkları.

	Re ($\times 10^4$)	Fr	h/h_v	f	n	C
A	0.4-3.6	0.02-0.39	0.09-0.91	0.32-18.00	0.03-0.29	2.1-15.8
B	0.4-3.5	0.03-0.43	0.10-0.91	0.30-19.12	0.03-0.30	2.0-16.3
C	0.3-5.1	0.02-1.16	0.06-0.88	0.01-12.03	0.01-0.24	2.1-83.1
D	0.3-5.3	0.02-1.30	0.07-0.46	0.01-28.34	0.01-0.36	1.7-147.7



Şekil 8: Deneylerde elde edilen su yüzü profilleri. (a): A, (b): B, (c): C ve (d): D konfigürasyonundaki bitkiler ile 0.4 l/s ile gerçekleştirilen deneyleri için, eğim %0.1.



Şekil 9: Deneylerde elde edilen su yüzü profilleri. (a): A, (b): B, (c): C ve (d): D konfigürasyonundaki bitkiler ile 2.7 l/s ile gerçekleştirilen deneyleri için, eğim %0.1.

Gerek Şekil 10, gerek Şekil 11-13'te verilen grafiklerden de anlaşıldığı gibi tüm pürüzlülük katsayılarının değerleri genel olarak Reynolds sayısına bağlı olarak değişmektedir. Burada, f ve n katsayıları Reynolds sayısı arttıkça azalmakta, C katsayısı ise artmaktadır. Denklem (1), (2) ve (3)'e bakıldığında f ve n katsayılarının eşitliğin sağ tarafında paydada C katsayısının ise payda yer aldığı görülmektedir. Beklendiği gibi düşük Reynolds sayılarında bitkilerin varlığının diğer parametrelerden bağımsız olarak akıma karşı gösterilen direnci artırdığı sonucuna varılmaktadır.

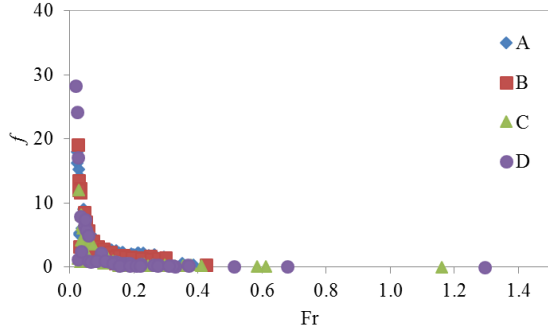
Tüm regresyon sonuçlarının ortak özelliği $Re < 10000$ iken belirleme katsayısı R^2 , 0.82-0.85 civarında, $Re > 10000$ iken

ise bu değer 0.94-0.97 arasında kaldığı belirlenmiş olup, gerçekleştirilen regresyon modelinin oldukça iyi netice verdiği söylenebilmektedir.

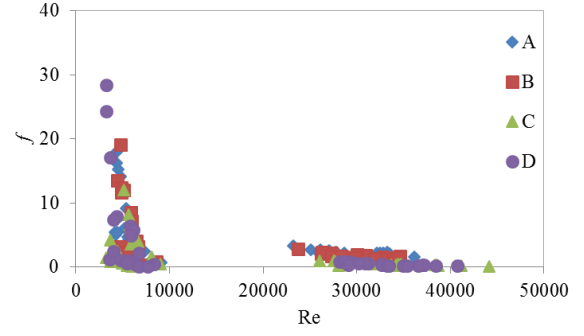
Denklemlerde yer alan Ω , tüm pürüzlülük katsayıları ve Reynolds sayısının 10000 değerinden küçük ve büyük olması durumları için hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir. Söz konusu Ω değerlerinde bakıldığında tüm pürüzlülük katsayıları ve Re değerleri için A deneylerindeki Ω 'nın B deneylerinden ve C deneylerindeki Ω 'nın D deneylerinden daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Farklı pürüzlülük katsayıları için elde edilen Ω katsayısına ait değerler.

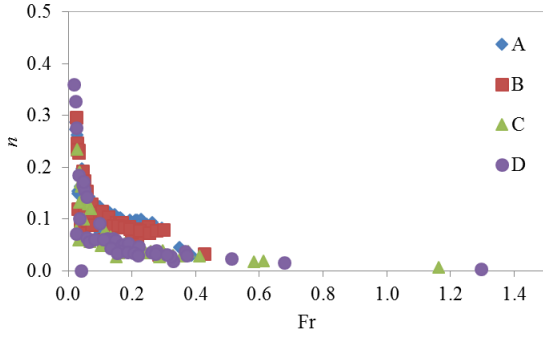
Deney (Ω)	f		n		C	
	$Re < 10^4$	$Re > 10^4$	$Re < 10^4$	$Re > 10^4$	$Re < 10^4$	$Re > 10^4$
A (sık)	62.57	1.60×10^{-8}	0.56	3.49×10^{-5}	31.70	0.33×10^{-4}
B (seyrek)	66.79	1.75×10^{-8}	0.58	3.54×10^{-5}	36.90	0.95×10^{-4}
C (sık)	42.18	0.90×10^{-8}	0.48	2.41×10^{-5}	43.85	6.46×10^{-4}
D (seyrek)	101.34	1.42×10^{-8}	0.73	2.97×10^{-5}	45.62	92.11×10^{-4}
R^2	0.82	0.95	0.83	0.94	0.85	0.97



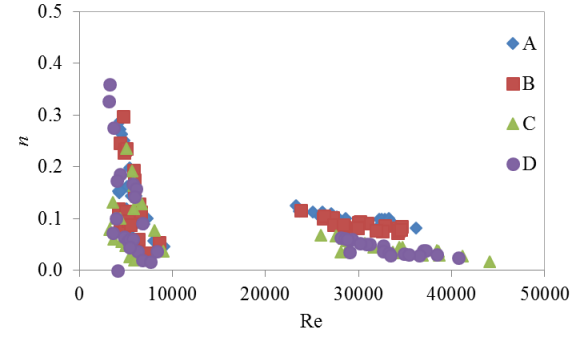
(a)



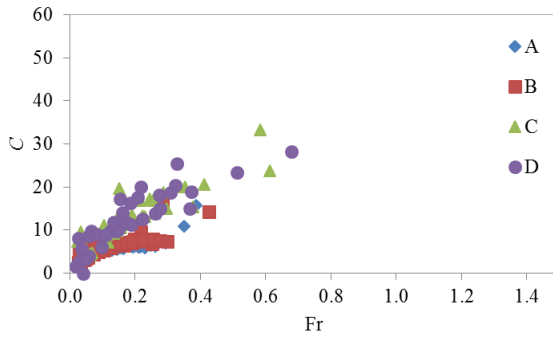
(b)



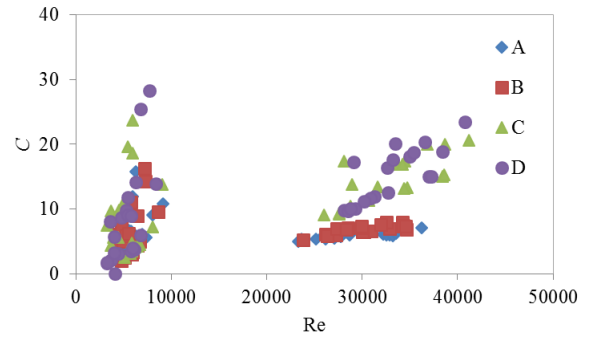
(c)



(d)

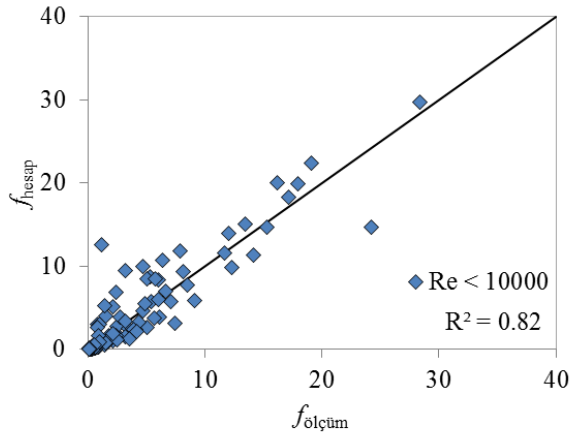


(e)

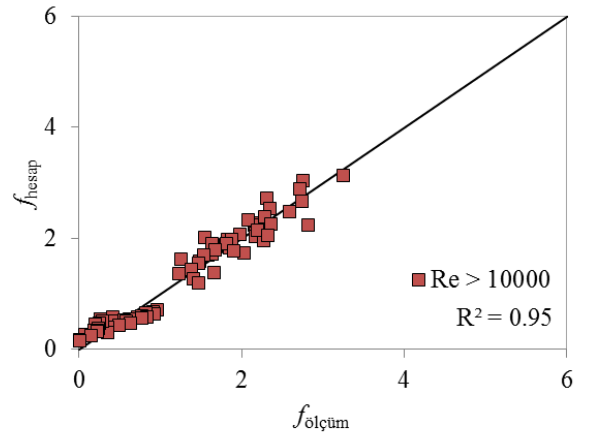


(f)

Şekil 10: f , n ve C katsayılarının Froude ve Reynolds sayısı ile değişimi.

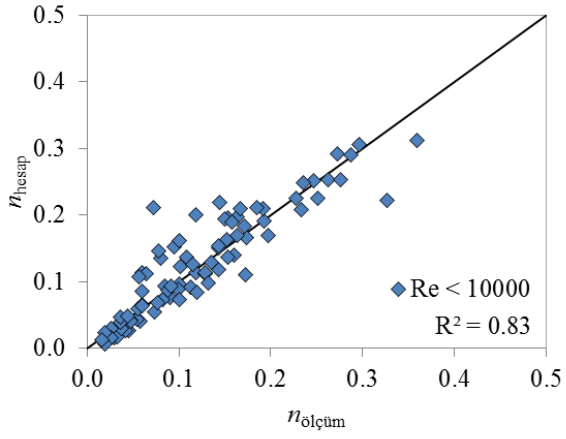


(a)

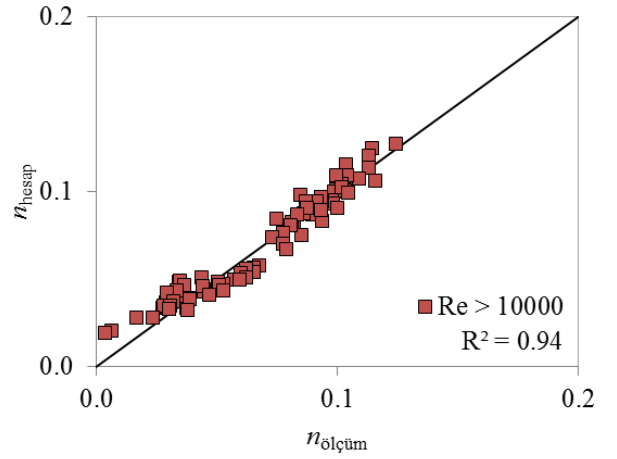


(b)

Şekil 11: Bu çalışmada ölçülen ve denklem (5) ile hesaplanan f katsayıları. (a): $Re < 10000$ ve (b): $Re > 10000$.

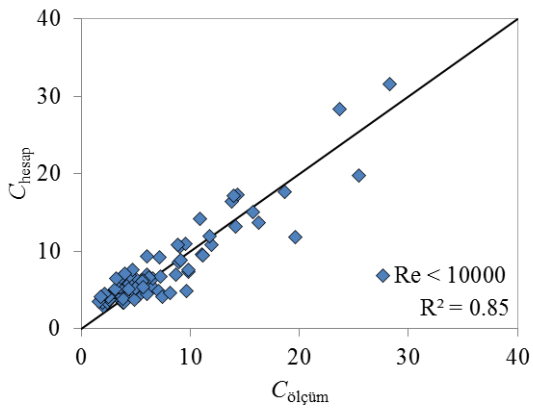


(a)

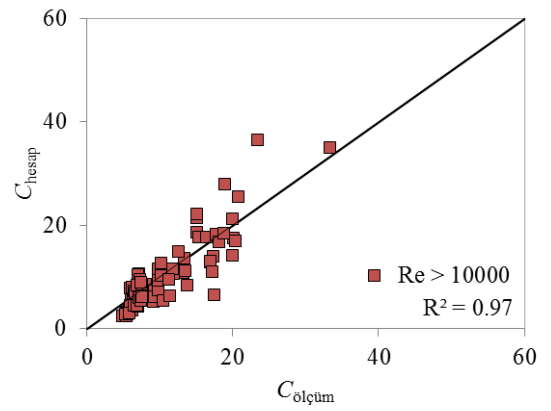


(b)

Şekil 12: Bu çalışmada ölçülen ve denklem (6) ile hesaplanan n katsayıları. (a): $Re < 10000$ ve (b): $Re > 10000$.



(a)



(b)

Şekil 13: Bu çalışmada ölçülen ve denklem (7) ile hesaplanan C katsayıları. (a): $Re < 10000$ ve (b): $Re > 10000$.

4 Sonuç ve öneriler

Bitkilerin su altında kaldığı kısım direnç hesabında büyük önem arz etmektedir. Bitki ön alanının derinlikle değişebilir olması bitkilerden kaynaklanan direnç kuvvetlerinin elde edilmesini karmaşıktır. Bu çalışmada farklı dizilimlerde yerleştirilen çok yapraklı esnek bitkilerin su altında kalan kısımları dik durarak rijit davranış gösteren bitkilerin oluşturacağı direnç (f , n ve C) katsayıları ile ifade edilmiştir.

Dört farklı konfigürasyonda 166 adet durumda kanal boyunca 7 farklı noktada akım derinliği ölçülmüş, debi elde edilmiş ve bitkilerden ötürü kaynaklanan yük kaybı hesaplanmıştır. Deneyle h ; 0.90 – 12.75 cm, debi 0.26 – 3.06 l/s, Re 0.3 – 5.3×10^4 , Fr 0.02 – 1.30 arasında değişmektedir.

Bu çalışmada Reynolds sayısının 10.4×10^3 ile 17.3×10^3 değeri arasında bir geçiş bölgesi olduğu düşünülmektedir. Bu aşamada, kritik değer olarak 10000 değeri alınmıştır. Chézy katsayısı C , sürtünme katsayısı f ve Manning katsayısı n 'in Reynolds sayısının 10000 değeri kritik değerinden küçük ve büyük olması durumunda tek bir fonksiyonla ifade edilemeyeceği görülmüş ve veriler iki gruba ayrılarak incelenmiştir. Bu bölge içinde kritik noktanın belirlenmesi için deneysel çalışmalar devam etmektedir.

Bu aşamada pürüzlülük katsayısını verecek boyutsuz parametreler Froude sayısı Fr , Reynolds sayısı Re , yaklaşım akım derinliğinin bitki yüksekliğine oranı olan bağıl pürüzlülük h/h_v , yaklaşım akımı enerji çizgisi eğimi S_f ve bitki yoğunluğu k olarak belirlenmiştir. Regresyon sonucunda bulunan denklem katsayıları Ω olarak adlandırılmıştır. Doğrusal olmayan regresyon modeli ile en uygun denklemler elde edilmiştir. Tüm regresyon sonuçlarının ortak özelliği belirleme katsayısının R^2 oldukça yüksek elde edilmesidir. Belirleme katsayısının $Re < 10000$ iken 0.82-0.85 civarında, $Re > 10000$ iken ise 0.94-0.97 arasında kaldığı belirlenmiş olup, gerçekleştirilen regresyon modelinin oldukça iyi netice verdiği söylenebilmektedir.

Reynolds sayısının 10000'den küçük olması durumunda f katsayısının bağıl pürüzlülüğe, n katsayısının Froude sayısına, bağıl pürüzlülüğe ve bitki yoğunluğuna, C katsayısının Froude sayısına ve yaklaşım akım enerji çizgisi eğimine bağlı olduğu görülmüştür.

Reynolds sayısının 10000'den büyük olması durumunda f katsayısının bağıl pürüzlülüğe ve bitki yoğunluğuna, n katsayısının Froude sayısına, bağıl pürüzlülüğe ve bitki yoğunluğuna, C katsayısının Froude sayısına, Reynolds sayısına, bağıl pürüzlülüğe, yaklaşım akım enerji çizgisi eğimine ve bitki yoğunluğuna bağlı olduğu görülmüştür.

Ayrıca beklendiği gibi düşük Reynolds sayılarında bitkilerin varlığının diğer parametrelerden bağımsız olarak akıma karşı gösterilen direnci arttırdığı sonucuna varılmaktadır.

Üsleri regresyon analizi ile elde edilen denklem (5), (6) ve (7)'de farklı deney koşulları ve özellikle bitki yoğunlukları yansıtılmış ve her dizilim durumu için ayrı bir katsayı hesaplanmıştır. Bu denklemlerdeki farklı (Ω) katsayılarının akım doğrultusundaki bitki yüzey alanı ve bitki yoğunluğu gibi faktörlerden etkilendiği düşünülmektedir

5 Kaynaklar

[1] Jarvela J. "Effect of Submerged Flexible Vegetation on Flow Structure and Resistance". *Journal of Hydrology*, 307(1-4), 233-241, 2005.

- [2] Tsujimoto T. "Fluvial Processes in Streams with Vegetation". *Journal of Hydraulic Research*, 37(6), 789-803, 1999.
- [3] Galema A. Vegetation Resistance: Evaluation of Vegetation Resistance Descriptors for Flood Management. MSc Thesis, University of Twente, Netherlands, 2009.
- [4] Stone MB, Shen HT. "Hydraulic Resistance of Flow in Channels with Cylindrical Roughness". *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(5), 500-506, 2002.
- [5] Kleinhans, M. "Hydraulic Roughness" http://www.geo.uu.nl/fg/mkleinhans/teaching/rivmorr_ough.pdf (15.03.2016).
- [6] Chow VT. *Open-Channel Hydraulics*. New York, Tokyo, McGraw-Hill, 1959.
- [7] Wu FC, Shen HW, Chou YJ. "Variation of Roughness Coefficients for Unsubmerged and Submerged Vegetation". *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), 834-842, 1999.
- [8] Wilson CAME, Horritt MS. "Measuring the Flow Resistance of Submerged Grass". *Hydrological Processes*, 16, 2589-2598, 2002.
- [9] Palmer VJ. "A Method for Designing Vegetated Waterways". *Agriculture Engineering*, 26(12), 516-520, 1945.
- [10] Kouwen N, Li RM, Simons DB. "Flow Resistance in Vegetated Waterways". *Transactions ASME*, 24(3), 684-698, 1981.
- [11] Ree WO, Crow FR. "Friction Factors for Vegetated Waterways of Small Slope". Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Technical Report Publication S-151, 1977.
- [12] Armanini A, Righetti M, Grisenti P. "Direct Measurement of Vegetation Resistance in Prototype Scale". *Journal of Hydraulic Research*, 43(5), 481-487, 2005.
- [13] Wilson CA, Hoyt J, Schnauder I. "Impact of Foliage on the Drag Force Vegetation in Aquatic Flows". *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(7), 885-891, 2005.
- [14] Schnauder I, Wilson CA. Discussion "Direct Measurement of Vegetation Resistance in Prototype Scale". *Journal of Hydraulic Research*, 47(3), 384-386, 2009.
- [15] Oplatka M. *Stabilität von Weidenverbauungen an Flussfern*, PhD Thesis, TH Zurich, Switzerland, 1998.
- [16] Xavier P, Wilson C, Aberle J, Rauch HP, Schoneboom T, Lammeranner W, Thomas H. "Drag force of flexible submerged trees". *Proceedings of the HYDRALAB III Joint User Meeting*, Hannover, 2-4 February, 2010.
- [17] Kouwen N, Unny TE, Hill HM. "Flow Retardance in Vegetated Channels". *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 95(2), 329-344, 1969.
- [18] Kumm M. *Roughness Characteristics and Velocity Profile in Vegetated and Nonvegetated Channel*, MSc Thesis, Helsinki University of Technology, Greece, 2002.
- [19] Temple DM. "Flow Retardance of Submerged Grass Channel Linings". *Transactions, American Society of Agricultural Engineers*, 25(5), 1300-1303, 1982.
- [20] Darby SE. "Effect of Riparian Vegetation on Flow Resistance and Flood Potential". *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(5), 443-454, 1999.
- [21] Kouwen N, Li RM. "Biomechanics of Vegetative Channel Linings". *Journal of Hydraulic Engineering*, 106(6), 1085-1103, 1980.

- [22] Kouwen N. "Field Estimation of the Biomechanical Properties of Grass". *Journal of Hydraulic Research*, 26(5), 559-568, 1988.
- [23] Eastgate WI. Vegetated Stabilization of Grassed Waterways and Dam bywashes, MSc Thesis, University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, 1966.
- [24] Masterman R, Thorne CR. *Analytical Approach to Flow Resistance in Gravel-Bed Channels with Vegetated Banks*. Editors: Kirkby, MJ. Process Models and Theoretical Geomorphology. 201-218, Chichester, England, Wiley, 1994.
- [25] Albayrak İ, Nikora V, Miler O, O'Hare M. "Flow-plant Interactions at a Leaf Scale: Effects of Leaf Shape, Serration, Roughness and Flexural Rigidity". *Aquatic Sciences*, 74(2), 267-286, 2012.
- [26] Miler O, Albayrak İ, Nikora V, O'Hare M. "Biomechanical Properties of Aquatic Plants and Their Effects on Plant-flow Interactions in Streams and Rivers". *Aquatic Science*, 74(1), 31-44, 2012.
- [27] Baptist MJ, Babovic V, Rodrigues-Uthurburu J, Keijzer M, Uittenbogaard RE, Verway A, Mynett AE. "On Inducing Equations for Vegetation Resistance". *Journal of Hydraulic Research*, 45(4), 435-450, 2006.
- [28] Chang L, Yong-Ming S. "Flow Structure and Sediment Transport with Impacts of Aquatic Vegetation". *Journal of Hydrodynamics*, 20(4), 461-468, 2008.
- [29] Kothyari UC, Hashimoto H, Hayashi K. "Effect of Tall Vegetation on Sediment Transport by Channel Flows". *Journal of Hydraulic Research*, 47(6), 700-710, 2009.
- [30] Eriş E, Bombar G, Kavaklı Ü. "Effect of Emergent Vegetation Distribution on Energy Loss". *IAHR 4th IAHR Europe Congress*, Liege, Belgium, 27-29 July 2016.