

## Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması

Cahit YERDELEN\*  
Mesut MERTSOY\*\*  
Gökmen TAYFUR\*\*\*

### ÖZ

Doğal akış yatakları veya yapay taşkın yataklarında akım incelenirken bitkilerin sebep olduğu direnç kuvvetinin bir eşitlik yardımıyla belirlenmesi önemli bir konudur. Manning, Chezy, Darcy-Weisbach gibi eşitliklerde kullanılan direnç katsayıları, daha çok çeper özelliklerini temsil eden deneysel katsayılardır. Açık kanal şartlarında var olan veya akış kesitini kontrol etme amaçlı insanoğlunun planladığı bitkisel akış alanlarında akım hızının, su derinliğinin veya akış hacminin ampirik olarak çözülmesi planlama ve işletme süreçlerini olumlu yönde etkileyecektir. Bu çalışmada, akış kesitinde oluşacak direnç kuvvetinin, bitkilerin ve akışın fiziksel şartlarına bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiş ve doğrusal olmayan bir regresyon modeli önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Açık kanal akımı, bitkilerin neden olduğu direnç, Manning katsayısı.

### ABSTRACT

#### Investigation of Manning Coefficient Caused by Rigid Body Plants

To study flows in man-made or natural channels, the identification of the roughness caused by vegetation is important. The roughness parameters used in several equations such as Manning, Chezy, and Darcy-Weisbach are the experimental coefficients that represent mostly sidewall characteristics. In open channel flows having natural or man-made vegetation to control the flow sections, the knowledge of flow velocities, flow depths and/or flow rates are crucial for planning and management studies. For such studies, the quantification of the roughness caused by the vegetation becomes vital. In this study, roughness caused by vegetation in open channel flows is investigated experimentally and a non-linear regression equation relating Manning roughness coefficient to flow and vegetation characteristics is proposed.

**Keywords:** Open channel flow, vegetation roughness, Manning roughness coefficient.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 22.01.2014 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - cahit.yerdelen@ege.edu.tr  
\*\* Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - mesut.mertsoy@ege.edu.tr  
\*\*\* İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Müh. Bölümü, İzmir - gokmentayfur@iyte.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Bütün dünyada doğal kaynakların sürdürülebilirliği son yıllarda daha fazla ilgi çekmektedir. Sürdürülebilirlik için planlamaların ve hesaplamaların doğru yapılması gerekir. Bu bağlamda, açık kanal akımlarının doğru ölçülmesi ve/veya doğru tahmin edilmesi su kaynaklarının daha uzun süre kullanılmasını sağlayacaktır.

Açık kanal akımlarında, akış kesitinin doğru tahmini, hidrolik tasarım ve taşkın planlaması adına çok önemlidir. Nehirlerde veya yapay kanallarda debiyi belirleyen temel faktörler, hidrolik eğim, kanal geometrisi ve akış yatağının şartlarıdır. Akışın dinamik şartları, sadece akış ve sediment gibi cansız öğeler tarafından değil aynı zamanda bitkiler gibi canlı öğelerden de etkilenir. Açık kanallar ve taşkın yataklarındaki hidrolik direnç, viskoz ve sürtünme kuvvetlerine bağlıdır. Bitkilerin olduğu akış yataklarında karşılaşılan direnç, üç kısma ayrılabilir; katı tanecik pürüzlülüğü, şekil pürüzlülüğü ve bitki pürüzlülüğü. Akışın bir parçası olan bitkiler, su seviyesini artıran, iletim kapasitesini azaltan bir akış direncine sebep olurlar. Tek başına bitkilerin neden olduğu direncin belirlenmesi oldukça zordur. Çünkü bu direnç, bitkinin türüne, sıklığına, şekline, yapısına bağlı olmakla birlikte debiye, su yüksekliğine, akım şartlarına da bağlıdır. Akışın alanı içindeki bitkiler akımın uniformluğunu bozarak tedirci değişken durumda akmasına neden olabilmektedir. Açık kanallardaki direnç genellikle Manning pürüzlülük katsayısı ( $n$ ), Chezy direnç faktörü ( $C$ ) veya Darcy-Weisbach'ın sürtünme katsayısı ( $f$ ) ile temsil edilmiştir. Bu çalışmada bitkilerin neden olduğu direnç ile Manning pürüzlülük katsayısı arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Çalışmalar Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümü, Hidrolik bilim dalı laboratuvarındaki 18m x 0.7 m x 0.5 m boyutlarındaki açık kanalda, yapay, rijit pürüzlülük elemanları kullanılarak yürütülmüştür. Rijit elemanların yerleştirildiği kanalda, Manning katsayısının bağlı olduğu değişkenler incelenmiştir. Çalışmanın amacı, bitki çapı, bitki sıklığı, bitki dizilişi, akış hızı ve su derinliğinin sürtünme kayıplarını nasıl etkilediğini araştırmaktır. Elde edilen deney sonuçları, akış derinliğinin, hızın, bitki sıklığının, sürtünme faktöründe büyük değişimlere neden olduğunu göstermiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Açık kanallardaki akım direnci araştırmaları çok eskilere dayanır. Pürüzlülük katsayısını bir eşitlik içinde ilk kez Chezy, 1769 yılında, açık kanallarda yaptığı deneyler sonucunda kullanmıştır [1].

$$V = C \cdot (R \cdot J_0)^{1/2} \quad (1)$$

Daha sonra yürütülen ilgili çalışmalarda, Chezy katsayısı ile kanal eğimi, kesit değişiklikleri ve pürüzlülük elemanları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ganguillet - Kutter, Manning ve Bazin'in yaptığı çalışmalar açık kanallardaki pürüzlülük katsayıları ile ilgili öncü çalışmalar kabul edilebilirler. Boru akış deneyleri ile ilgili çalışmalarda, Darcy, pürüzlülük etkisini işlemlere katan

$$V^2 = (8 \cdot \tau_0) / (\rho \cdot f) \quad (2)$$

eşitliğini önermiştir. Aynı yıllarda, Alman bilim adamı Weisbach ile Darcy'nin çalışmaları birleştirilerek Darcy-Weisbach eşitliği olarak bilinen

$$h_f = f \cdot (L/D) \cdot (V^2/2 \cdot g) \quad (3)$$

ifadesini yayımlamıştır. Bu ifadedeki çap değişkeni yerine hidrolik yarıçap kullanılarak, eşitlik açık kanalar için de uygulanmıştır [2,3].

Rouse [4], açık kanallardaki akış direncini dört sınıfa ayırarak bunları şöyle sıralamıştır; yüzey sürtünmesi, şekil direnci, serbest yüzey bozulması ve kararsız akımının sebep olduğu direnç. Bütün bunların hesaba katılacağı direnç değerinin bağlı olduğu değişkenler olarak da; Reynolds Sayısı, nispi pürüzlülük, kesit geometrisi, boy kesit ve plandaki düzensizlik, hidrolik yarıçap, Froude sayısı ve akışın kararsızlığını belirlemiştir. Chow [5], Dawson ve Charlton [6], Fishenich [7] çalışmaları da önemli kilometre taşları olarak kabul edilebilirler.

Açık kanal akımlarında bitkilerin neden olduğu direnç incelenirken, bitkilerin rijitliği-esnekliği ve batık olup, olmama durumları esas alınarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. İster doğal alanında, ister taşkın yatağında olsun bitkilerin sebep olacağı akış direnci bitkilerin akışa dik yüzey alanları ile de alakalıdır. Bitkinin gövde kalınlığı rijitliğini belirlerken, dal ve yaprakları direnç yüzeyini oluştururlar. Bitkilerin dizilişleri, yani tandem yahut şaşırtmalı durumda olmaları, akışı bloke edecek alanı değiştireceğinden, bitkilerin sebep olacağı direnç kuvvetini etkileyecektir. Manning katsayısı üniform akımlarda anlamlı olmakla birlikte tedrici değişken akımlarda da uygulamaları mevcuttur. İfadenin orjinalinde yer alan "J" sembolü başlangıçta akım üniform kabul edilerek taban eğimi olarak tanımlanmıştır. Daha sonraki dönemlerde tedrici akımlarda da uygulanabilirliği için "J" enerji çizgisinin eğimi olarak ifade edilmiştir. Birçok açık kanal akışı araştırmasında simüle edilen bitkilerin, akımın üniformluğunu bozduğu gözlemlenmiştir [8].

Wu ve ark. [8] bitkilerin neden olduğu sürtünme katsayısını değerlendirmek için kuvvet dengesinde dayalı basitleştirilmiş model geliştirilmiştir. Çalışmada, bitkileri at kılına benzeyen bir malzeme ile simüle ederek, batık ve batık olmayan akış durumlarında deneyler yürütmüşlerdir. Sonuç olarak, yatak eğimine, bitki örtüsü yüksekliği ve bitki özelliğine bağlı bir k katsayısını içeren bir model önermişlerdir. Yaptıkları deneylerle, batık olmayan koşul altında, pürüzlülük katsayısının derinliğin artmasıyla azaldığını ancak, tam batık olma durumunda, bitkisel pürüzlülük katsayısının düşük derinliklerde artış eğiliminde iken, su seviyesi artmaya devam ettikçe, bu katsayısının asimptotik bir sabit olarak azaldığını belirlemişlerdir.

Jarvela [9] çalışmasında hangi tip, sıklık ve yerleştirmede, hız ve su derinliğinin sürtünme kayıplarından nasıl etkilendiğini araştırmıştır. Darcy-Weisbah eşitliğinden yararlanarak yaptığı çalışmasında farklı doğal bitkileri kullanmıştır. Deneylerini laboratuvar kanalında yürütmüştür. Kullandığı doğal bitkiler hem rijit hem esnek yapılı, yapraklı ve yapraksızdır. Sürtünme faktörü  $f$  in, akış derinliği, hız, Reynolds sayısı ve bitki sıklığı ile büyük değişim gösterdiğini belirlemiştir. Sürtünme katsayısının, otlu durumda göreceli pürüzlülüğe (bitki yüksekliği/su derinliği), söğüt veya sazlık/ot kombinasyonu durumunda akış hızına ve söğüt benzeri bitkilerde ise akış derinliğine bağlı olduğunu tespit etmiştir. Yapraklı durumda sürtünme faktörünün iki üç kat attığını görmüştür. Yapraksız söğütler için,  $f$ , hızdan bağımsız olarak ve derinliğin lineer olması ile artıyordu. Çalışmanın şaşırtan

### *Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması*

sonuçlarından birisi, farklı açıklıklarda aynı sayıdaki söğütler ile çimenlerin, pürüzlülük katsayısı,  $f$ , üzerinde dikkate değer bir fark yaratmadığının belirlenmiş olmasıdır.

Stone ve ark. [10] rijit yapay elemanlar kullanarak yürüttükleri deneyler ile hidrolik direnç katsayısını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada batık olma durumunda, kanal tabanı sıfır eğimli, bitki boyları sabit kabul edilerek, akış direncini belirlemek için yüzeyde ve pürüzlü taban seviyelerinde akış hızını hesaplayan fiziksel tabanlı formüller geliştirilmişlerdir. Moody diyagramındaki  $f$  katsayısından da yararlanarak, kanalın taban pürüzlülüğünü ve bitkilerin neden olduğu pürüzlülüğü ayırıştırarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak akış direncinin, akış derinliği, sap dizilimi, sap uzunluğu ve sap çapıyla değiştiğini belirlemişlerdir.

James ve ark. [11] su seviyesinin üzerine çıkan bitkilerin olduğu açık kanal akışı için geleneksel direnç eşitliklerinin kullanılmasının, kayma gerilmesinden daha fazla bitkilerin sebep olduğu pürüzlülük nedeniyle, uygun olmadığını söylemişlerdir. Sürüklenme kuvvetini hesaplayabilmek için Albertson ve ark. [12] tarafından elde edilen sürüklenme katsayısını kullanmışlardır. Elde ettikleri eşitlikleri, ölçülen ve hesaplanan sürtünme katsayıları ile test etmişlerdir.

Musleh ve Cruise [13] çalışmalarında, geniş taşkın yataklarındaki, batık olmayan rijit bitkilerin akış direncine etkileri incelenmiştir. Farklı çaplı rijit çubuklar, farklı dizilimlerle farklı debilerde, geniş sığ kanal tabanına tespit edilerek denenmiştir. Darcy Weisbach sürtünme katsayısı " $f$ " ile sürüklenme katsayısı " $C_d$ " arasında matematiksel bir ilişki kurarak deneysel verileri de kullanarak Manning katsayısının değişimini irdelemişlerdir. Sonuçlar, artan akış derinliği ve artan hızın, akış direncinin azalmasına neden olduğunu, akış hızının, bitki sıklığına karşı çok duyarlı olduğunu göstermiştir. Birim alana düşen bitki sayısını temsil eden sıklık parametresinin pürüzlülük üzerindeki etkisinin, yatay açıklık, çap değişimi ve dikey açıklıktan daha fazla olduğunu da gözlemlenmişlerdir.

Wilson [14] çalışmasında, esnek batık bitkileri kullanmıştır. Ölçümlerin ve parametrelerin daha karmaşık olduğu batık bitkileri incelediği bu çalışmada Wilson, Wu ve ark.'nın [8] yaptıkları çalışmalarını geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın özelinde sap yüksekliğinin direnç değerini nasıl etkilediğini incelemiş ve bitki yüksekliğinin su derinliğine oranının artması ile sürtünme katsayısının değişiminin azaldığını deneysel olarak elde etmiştir.

Wu [15] rijit, batık olmayan elemanlarla yaptığı çalışmada, akışı etkileyen kuvvetleri analiz ederek, direnç katsayısının değişimini irdelemiştir. Yaklaşık 12 metrelik bir laboratuvar kanalında yürüttüğü çalışmada, farklı sıklıktaki prizmatik pürüzlülük elemanları ile yaptığı deneylerle, kayma hızının akış hızına oranı ile Manning katsayısı arasında analitik bir eşitlik elde etmiştir.

Hui ve Hu [16] sürtünme katsayısının, esneklik, çap, boy, dağılım, sıklık, bitki yaşı, yaprak ve dalların dağılımı, bitkinin duruşu, akış derinliği veya hızından etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Büyük çalılıkların sadece sürtünme yaratmadığını aynı zamanda suyu durdurabildiğini de deneysel olarak elde etmişlerdir. Ayrıca sürtünme katsayısının bitki ile ilişkisini belirlemenin, dikey hız dağılımını anlamının başlangıcı olduğunu da belirtmişlerdir.

Wang ve Wang [17] üç farklı canlı bitkinin, batık durumda oluşturduğu direnç katsayısını araştırmışlardır. Çalışma süresince bitkilerin büyümesi ile direnç katsayısının değişimini

gözlemleyerek, bitki etkin yüksekliğinin, göl ve nehirlerdeki su iletimine etkisini belirlemeye çalışmışlar, etkin direnç kuvveti için Reynolds sayısı ve bitki büyüme indeksine bağlı bir bağıntı belirlemişlerdir.

Shucksmith ve ark. [18] de iki farklı canlı bitkiyi kullanarak, batık olmayan durumlar için sürtünme katsayısını, bitki yaşına ve Reynolds sayısına bağlı olarak belirlemeye çalışmışlar ve Wang ve Wang'ın [17] çalışmasındaki gibi, Reynolds sayısı ve bitki büyüme indeksine bağlı bir bağıntı elde etmişlerdir.

Pham ve ark. [19] sualtı esnek bitkilerin türbülans yapısıyla ilgili çok az çalışma olduğunu belirterek, esnek tropik bitkilerin, açık kanallarda tamamen su altı şartlarındaki akış direncini ve akış özelliklerini açıklamaya çalışmışlardır. Bunun için çeşitli analizlere dayanarak akış direnç katsayısı ile bitkili kanalların parametrelerini ilişkilendirerek açıklamışlardır. Belirli bitki tipleri ve onların biyolojik özelliklerini kullanarak derinlikle hız değişimini analiz etmiş ve bu bitkilere ait direnç değişimi sunmuşlardır.

Cheng ve Nguyen [20] bitki sıklığı ile ilişkilendirdikleri hidrolik yarıçapı değişkeninin, açık kanallardaki akış direncini belirlemek için kullanmayı denemişlerdir. Basitleştirmek için çalışma silindirik kesitli batık olmayan rijit bitki için yapılmıştır. Manning katsayısını için bitkiler arasındaki hız ve bitki sıklığına bağlı bir eşitlik elde etmiş ve bu eşitlik ile buldukları değerlerle ölçtükleri değerleri karşılaştırmışlardır. Dharmasiri ve ark. [21] Cheng ve Nguyen'in [20] çalışmasına benzer bir çalışma yürüterek, silindirik yapay pürüzlülük elemanları ile yaptıkları deneyler sonucunda, yalnızca bitki sıklığına bağlı bir sürüklenme eşitliği elde etmiş ve daha önceki çalışmalarla sonuçlarını sunmuşlardır. Elde ettikleri sonuca göre pürüzlülük belli bir değere kadar bitki sıklığı ile doğrusal olarak artmakta, belirli bir sıklık değerinden sonra ise azalmaktadır.

Noarayanan ve akr. [22] çalışmalarında, kıyıları doğal felaketlerden ve uzun vadeli erozyonlardan korumak için doğal bitkilerden yararlanılabileceğinin belirtmişlerdir. Bu amaçla, bitki davranışını anlamak için ve bitki sürüklenme kuvvetinin akış davranışını nasıl etkilediğini görebilecekleri deneyler yapmışlardır. Deneyleri, bitkileri tandem dizerek, farklı bitki sıklıkları için yürütmüşlerdir. Esnek silindirik elemanlarla yürüttükleri deneyler sonucunda Manning katsayısını veren, hidrolik yarıçap, bitkinin esnekliği, kayma hızı, bitki sıklığına bağlı bir matematiksel eşitlik elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları benzer bir çalışma olan Freeman ve ark.'nın [23] sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Shi ve ark. [24], batık durumdaki gerçek bitkilerle yürüttükleri çalışmaları ile bitki sıklığının akım hızı dağılımını nasıl değiştirdiğini açıklamayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla akım derinliğini üç kısma ayırarak her kesitteki hız profilini elde etmişlerdir. Böylece bitkilerin hangi akım derinliğinde nasıl bir direnç oluşturduğunu bulmaya çalışmışlar, Froude sayısının bitki sıklığından bağımsız olduğu gibi bir sonuç ve deneysel bir bağıntı elde etmişlerdir.

Yukarıda özetlendiği gibi, son yıllarda hız kazanan birçok çalışmada açık kanallardaki bitkilerin neden olduğu pürüzlülük değeri tam olarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, rijit veya esnek, doğal veya yapay pürüzlülük elemanları, gerek batık, gerekse su üzerine çıkacak boylarda, sıklıkları değiştirilerek kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda da geçen sıklık ifadesi, birim alana düşen bitki sayısını ifade etmektedir. Doğal olarak tüm çalışmalarda, kütle ve enerji dengeleri ile ilişkili eşitliklerinden yararlanılmıştır. Açık kanal akışlarında akış yatağındaki fiziki değişimler akın

üniformluğunu etkileyebilir. Karşılaşılan engel, akım hız, kanal geometrisi ve engel geometrisine bağlı olarak ani değişimlere de neden olabilir. Bu durumda bitkiler akım momentum denklemi ile alınması daha doğru olurdu. Bu çalışmada yapılan deneylerde bitkiler akımda tedrici değişimi neden olmaktadır, dolayısı ile Bernoulli eşitliğinin kullanılmasında bir sakınca görülmemektedir. Literatürde incelenen çalışmalar bu bakış açısı ile iki kısma ayrılabilirler. Bir grup çalışma ([8], [9], [10], [11], [14], [18], [19], [20], [24]) kanal giriş ve çıkış noktalarına kapaklar koyarak akımın üniform olmasını sağlamışlardır. Diğer grup çalışmada ise ([15], [16], [20], [22]) bizim çalışmamızda olduğu gibi, akış bitkilerle karşılaşana dek üniform, bitkilendirilmiş alanda tedrici değişken, bitkilendirilmiş alan sonrasında ise gene üniform olacak şekilde deneylerini yürütmüştür.

Literatür çalışmalarının tamamında deneysel olarak belirlenen Manning katsayıları yada direnç kuvvetleri daha önce elde edilen değerler veya matematiksel bağıntılarla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda pürüzlülük değerinin bağlı olduğu değişkenler olarak; debi, akış hızı, akış derinliği, akış kesit alanı, kesit genişliği, yatak eğimi, bitki sıklığı, bitki efektif derinliği, bitki esnekliği, bitki yapısı, bitki gövde çapı, Reynolds sayısı, Froude sayısı kullanılmıştır.

Mevcut çalışmalarda adı geçen değişkenlerin bazıları göz önüne alınarak, Manning pürüzlülük değeri için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Ancak söz konusu çalışmalarda akış kesit alanını daraltan diziliş etkisi göz önüne alınmamıştır. Kimi araştırmacıların, bitki açıklığının bitki çapına oranı olan göreceli bir açıklık parametresini kullanmış olmalarına rağmen bu parametre diziliş etkisini dikkate alan bir parametre değildir. Diziliş etkisi olarak adlandırdığımız parametre bitkiler arası açıklıkla birlikte çapraz yahut tandem dizilişin kesit alanı üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Her ne kadar bu parametre doğal bitki oluşumlarında bir önem arz etmese de, akış ve taşkın yataklarında akışı kontrol edebilmek amacı ile insanoğlu tarafından bitkilendirilecek alanlarda kullanılabilir bir değer olduğunu düşünmekteyiz.

Bu çalışmada doğal yaşamda da kolayca ölçülebilecek debi ve derinlik yardımı ile direnç katsayısının elde edilmesi amaçlanmıştır. Deneyler, dere kenarlarında, taşkın yataklarında ve kıyı koruma çalışmalarında kullanılan rijit gövdeli bitkileri temsil edebileceği düşünülen yapay elemanlarla yürütülmüştür. Bunun için debi, akış derinliği, bitki sıklığı ve bitki gövde çapının farklı değerleri için birçok deney yürütülerek, Manning eşitliğindeki “n” elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra elde edilen verilerin bir kısmı ile çoklu regresyon analizi yapılarak Manning katsayısı için matematiksel bir eşitlik elde edilmiştir. Modelde kullanılmayan veriler ile test edilerek modelin tutarlılığı onaylanmıştır.

### **3. DENEYLER**

Deneysel çalışmalar, batık olmayan rijit gövdeli bitkilerin, akış direnci üzerindeki etkilerini belirlemek için yürütüldü. Deneylerde iki farklı gövde çapı ve her birinde altı farklı diziliş kullanılarak, akış derinliğinin, birim alana düşen bitki sayısının ve bitki dizilişinin, akış direncine etkisi incelendi. Bitkilerin akışa gösterdiği direnci, bitkinin fiziksel yapısı belirler. Burada önemli olan akış yatağındaki bitkilerin sıklığı, dizilişleri, tabandaki dağılımları ve gövde kalınlıklarıdır. Deney süreci sonucunda elde edilen pürüzlülük değerlerinin gövde kalınlığına göre değerlendirilmesi adına, iki farklı çaptaki yapay elemanlarla aynı dizilişler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ayrıca dizilişlerin etkisini de görebilmek için iki farklı

diziliş mantığı kullanılarak bitkiler hem tandem hem de şaşırtmalı sıralanmışlardır. Yapay pürüzlülük elemanları ile yapılan deneye başlamadan önce kanalın baz pürüzlülük direncini görmek için öncelikle çıplak kanalda deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo1’de verilmiştir. Tablo 1’deki memba ve mansap su derinlikleri kolonlarında, kanalın ortasında 4 m uzunluğundaki bitkilendirilecek alandan 10 cm önce ve 10 cm sonrasında kesitin ortasında yapılan okumalar verilmiştir. Yapılan su derinliği ölçümlerinden de görüleceği gibi akım üniform kabul edilebilir (maksimum derinlik farkı: 0.00239 m.- deney no: 13).

Tablo 1- Pürüzsüz kanalda yapılan ölçüm değerleri

Deney no	Debi (m <sup>3</sup> /s)	Memba su der. (m)	Mansap su der. (m)	Deney no	Debi (m <sup>3</sup> /s)	Memba su der. (m)	Mansap su der. (m)
1	0.015	0.030425	0.030852	8	0.051	0.069197	0.069320
2	0.021	0.038152	0.038166	9	0.055	0.073247	0.071291
3	0.027	0.043368	0.043415	10	0.059	0.075677	0.073849
4	0.032	0.049006	0.049161	11	0.063	0.078929	0.077257
5	0.037	0.054875	0.054107	12	0.067	0.081767	0.080746
6	0.042	0.059944	0.060240	13	0.069	0.08388	0.081487
7	0.046	0.063404	0.062007				

Biri ana su deposunda, diğer ikisi kanal üzerinde olmak üzerinde ilgili noktalara yerleştirilen akustik mesafe ölçerler yardımı ile üç ayrı noktada su seviyeleri ölçülmüştür. İlki ana depoda olan derinlikölçerle kanala yeterince su sağlandığı kontrol edilmiştir. Diğer iki derinlikölçer ise pürüzlü alanın başlangıç ve sonundan 10 cm uzaklıkta ölçüm yapacak biçimde konuşlandırılmıştır. Kanala suyu ileten boru sistemi üzerindeki elektromanyetik debimetre yardımı ile debiler ölçülmüştür.

İki farklı çap, altı farklı diziliş ve pürüzsüz kanal durumu için 13 deney seti gerçekleştirilmiştir. Her diziliş, sıklık ve çap için, bilgisayar kontrolündeki pompa, 14 lt/sn ile 70 lt/sn aralığında 13 farklı debi sağlayacak şekilde çalıştırılmıştır. Her bir debinin kanalda akışının kararlı hale geçmesi beklendikten sonra 7’şer dakikalık ölçüm sürelerinde, 1 saniyelik aralıklarla debiler ve su derinlikleri kaydedilmiştir. Öncelikle sabit pompa gücü değerinde 7 dakika boyunca her saniyede okunan değerlerin (debi ve su derinliği) ortalaması alınmıştır. Daha sonra deneylerde ön görülemeyen olası aksaklıkları ortadan kaldırmak adına her deney beş kez tekrarlanarak, elde edilen ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır.

Bitkilerin var olduğu doğal açık kanal akımlarında, taban ile yan duvarların fiziki özellikleri birbirlerinden farklı olduğu için yüzeylerin oluşturduğu direnç ayrı ayrı incelenebilir. Yan duvarların Manning katsayısı ile bitkilerin var olduğu tabanın Manning katsayısı farklıdır. İncelenen çalışmalarda deney şartlarına göre yan duvar etkisinin dikkate alındığı [8, 11, 14,

### *Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması*

20 ve 22] ve alınmadığı [9, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24] analizlerle karşılaşılmıştır. Sunduğumuz bu çalışmada b/h (kesit genişliği/su derinliği) değeri 4.3 ile 19.5 aralığında değişmektedir. Bitkilendirilmemiş deney setinde belirlenen Manning katsayısı bitkili deney setlerindeki Manning katsayısından çıkarılarak bitkilere ait Manning katsayısı ayrıştırıldığı için ayrıca yan duvar etkisi göz önüne alınmamıştır.

Bitkilendirilmiş alandan 10 cm önce ve 10 cm sonra ölçülen su derinlikleri ile enerji yükseklikleri arasındaki fark toplam enerji kaybı olarak kabul edilmiştir. Bu değerler arasındaki fark yardımı ile de toplam Manning katsayısı “n” hesaplanmıştır. Bitkilendirilmemiş durumda her debi ve su derinliği ile hesaplanan Manning katsayılarının toplam Manning katsayılarından farkı alınarak, her bir deney seti için sadece bitkilerin neden olduğu Manning katsayıları elde edilmiştir. Bu yapılan hesaplamalarda süreklilik, enerji ve Manning eşitlikleri kullanılmıştır.

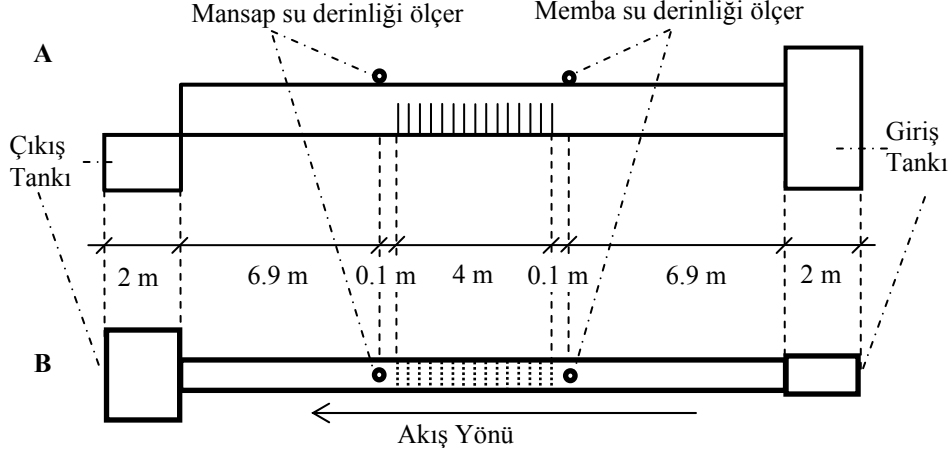
Deneyler, Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik laboratuvarındaki, 18 m uzunluğunda 0.70 m genişliğinde ve 0.5 m derinliğinde, yan duvarları pürüzsüz akrilik levha, tabanı pürüzsüz silikon dolgu, eğimi değiştirilebilir prizmatik bir kanalda yürütülmüştür (Şekil 1).



*Şekil 1. Deneylerin yürütüldüğü kanal*

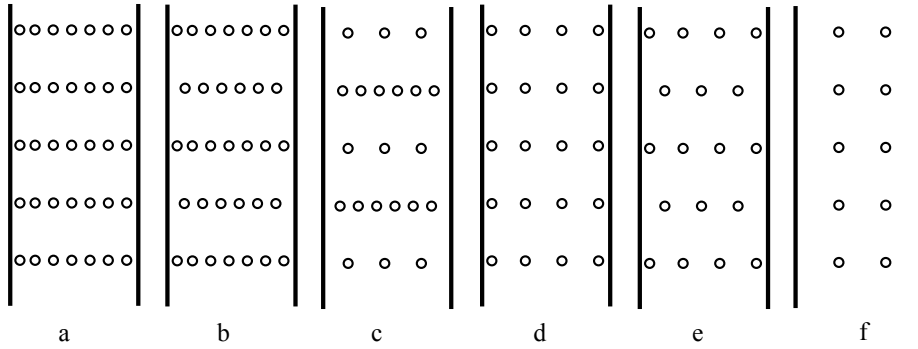
Kanal eğimi ayarlanabilir durumdadır ancak yürütülen deneyler için, kanal taban eğimi 0.007 olarak sabitlenmiştir. Kanaldaki akımın düzenli olabilmesi için, su, öncelikle kanal başlangıcındaki 2.8 m<sup>3</sup> hacimli bir dinlendirme tankına girmekte daha sonra 1 metre yükselerek kanalda akmaktadır. Gene akımın bozulmaması amacıyla, mansap ucunda serbest düşüye izin veren bir havuz bulunmaktadır. Kanalda, akım giriş ve çıkış şartlarının, ölçümleri etkilememesi için kanalın ortasındaki 4 metre uzunluğundaki bölüm pürüzlülük elemanları ile kaplanmıştır (Şekil 2).





Şekil 2. Deney Kanalı A) boy kesit B) üstten görünüş

Bitkilerin sebep olduğu enerji kaybı, “sıklık” olarak ifade ettiğimiz birim alandaki bitki sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Sıklık akış kesit alanındaki bitki sayısını göstermektedir. Rijit gövdeli pürüzlülük elemanlarının sıklıklarının, akış direnci nasıl etkilediğinin belirlenmesi için, 4 m x 0.7 m boyutlarındaki taban alanına sırası ile 147, 137, 93, 84, 74, 42 adet pürüzlülük elemanı yerleştirilmiştir. Sıklıkla birlikte diziliş etkisinin gözlemlenmesi adına, deney setlerinden üç tanesi tandem (Şekil 3-a, d, f), üç tanesi ise şaşırtmalı (Şekil 3-b, c, e) diziliş ile gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük elemanları iki farklı çap kullanılmıştır; 16 mm ve 24 mm. Bundan sonraki bölümlerde anılacak olan deney isimleri, çapın büyük veya küçük olması ile birlikte yerleştirilen pürüzlülük elemanının sayısından oluşacaktır; örneğin büyük çaplı eleman 147 adet kullanıldı ise “B147”, küçük çaplı eleman 98 adet kullanıldı ise “S98” olarak adlandırıldı.



Şekil 3. Pürüzlülük elemanlarının dizilimi

#### **4. DENEYSEL BULGULAR**

Yürütülen her bir deney setine ait maksimum - minimum debi ve derinlik ölçümleri ve bu ölçümler yardımıyla hesaplanan hız, Froude ve Reynolds sayıları Tablo 2’de özetlenmiştir. Manning katsayısının değerlendirilmesinde kullanacağımız Reynolds ve Froude sayıları ölçüm yapılan alandaki ortalama değerlerdir, derinlik ölçümü yapılan kesitlerde ilgili büyüklükler hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Pompayı kontrol eden bilgisayar yazılımı sayesinde, her deney seti için pompa, aynı güç ve devirle çalıştırılarak zamanla değişmeyen akım şartları oluşturulmuştur. Debi ölçümlerinde, kanal içindeki yapay pürüzlülük elemanlarının sebep olduğu düşünülen, küçük salınımlar saptanmıştır. Başlangıç debileri arasında en yüksek debi değeri, bitkilendirilmemiş kanalda, en küçük başlangıç debisi ise B42 deney setinde ölçülmüştür. Yapılan ölçümler yardımı ile hesaplanan Froude sayıları bütün deney setlerinde akımın kritik derinlikten küçük olduğunu, yani akımın nehir reminde aktığını göstermektedir. Bütün deney setlerinde aynı akım türünün elde edilmesi, sonuçların karşılaştırılmasına yardımcı olacaktır. Deneyler tedrici değişken değişken akım durumunda yürütülmüştür. Şekil 4’te yapılan deneylerde su yüzeyinin eksenal değişiminin bir örneği görülmektedir. Diğer deneylerde de benzer profiller gözlenmiştir.



*Şekil 4. Su yüzeyinin akış boyunca değişimine örnek.*

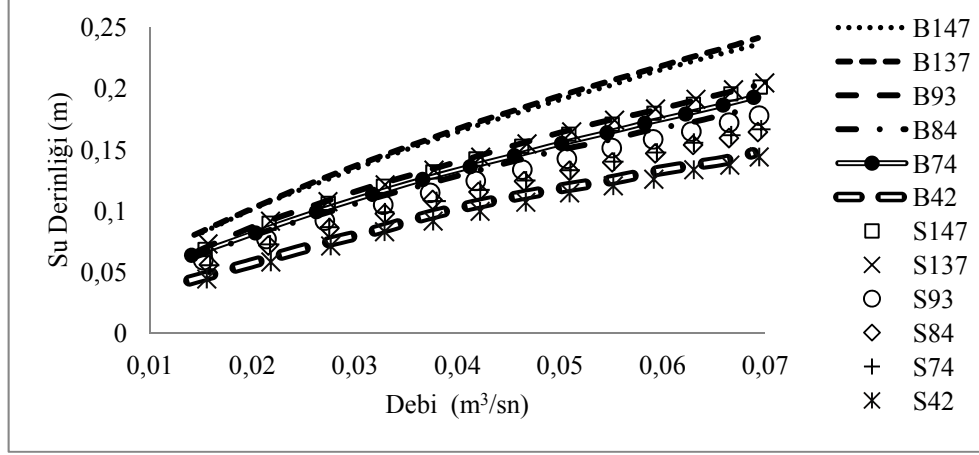
Debi ile su derinliklerinin değişimi, hem pürüzlendirilmiş deney setleri için hem de çıplak kanal için Şekil 5’de verilmiştir. İlk bakışta grafikte görülen durum, su derinliği ile debinin lineer olarak arttığıdır. Ancak bu eğrilerin eğimine bakılacak olursa, pürüzlülük elemanlarının çapının büyümesi ve sıklığının artması, su derinliği değişim aralığının daha büyük olmasına sebep olmaktadır. Shucksmith ve ark. [18], bizim çalışmamızda kullandığımız pürüzlülük elemanlarına benzeyen sazlıklarla yaptıkları çalışmada, derinlikle debi değişimini lineer olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca sıklıkları yakın olan deney setlerinde, çapraz dizilişlerdeki (örneğin B137) su derinliği değişimi tandem olan dizilişlerdeki (örneğin B147) su derinliği değişiminden bir miktar da olsa büyüktür. Bu

belirleme ile çapraz dizilişin tandem dizilişe oranla daha büyük bir blokaj alanı oluşturduğunu ve daha fazla enerji kaybına sebep olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 2. Deney setlerine ait ölçülen ve hesaplanan bazı büyüklüklerin sınır değerleri (gri dolgulu satırlar şaşırtmalı diziliş deneylerine aittir)

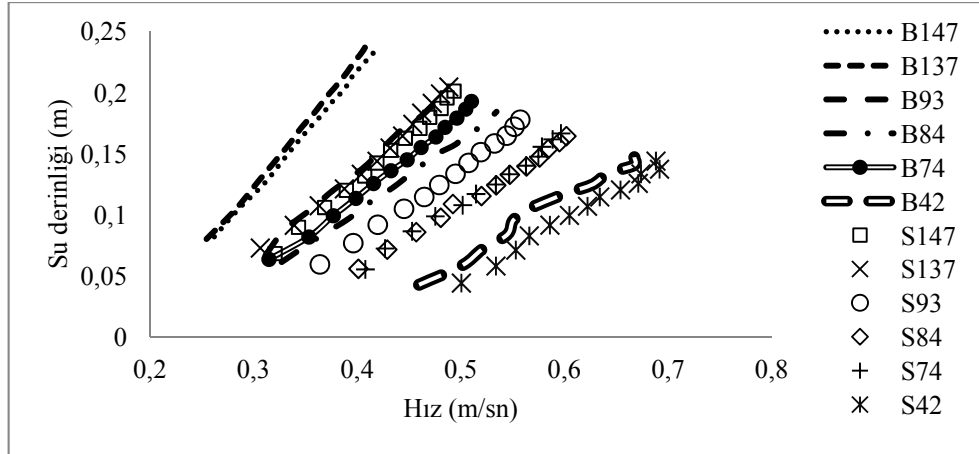
Bitki çapı (mm)	Bitki Sayısı	Bitki sıklığı (adet/m <sup>2</sup> )	Debi (lt/sn)		Ortalama su derinliği (m)		Ortalama hız (m/sn)	
			min	maks	min	maks	min	maks
Yok	-	bitkisiz	15.91	69.98	0.059	0.136	0.37	0.73
16	147	52.5	15.38	69.52	0.05	0.147	0.44	0.68
16	137	48.9	15.66	69.96	0.052	0.145	0.43	0.69
16	93	33.2	15.19	69.4	0.044	0.13	0.49	0.76
16	84	30	15.73	69.28	0.046	0.128	0.49	0.77
16	74	26	15.85	69.61	0.046	0.132	0.49	0.75
16	42	15	15.53	69.42	0.037	0.12	0.6	0.83
24	147	52.5	15.1	69.38	0.056	0.161	0.39	0.62
24	137	48.9	14.33	69.29	0.054	0.163	0.38	0.61
24	93	33.2	14.7	68.92	0.052	0.149	0.4	0.66
24	84	30	14.11	68.99	0.046	0.138	0.44	0.71
24	74	26	14.15	68.87	0.044	0.139	0.46	0.71
24	42	15	13.98	68.83	0.036	0.122	0.55	0.81

Bitki çapı (mm)	Bitki Sayısı	Bitki sıklığı (adet/m <sup>2</sup> )	Froude Sayısı		Reynolds Sayısı	
			min	maks	min	maks
Yok	-	bitkisiz	0.62	0.74	18500	65140
16	147	52.5	0.56	0.62	14691	53551
16	137	48.9	0.58	0.61	14886	54056
16	93	33.2	0.66	0.76	14767	55331
16	84	30	0.68	0.74	15211	55405
16	74	26	0.66	0.74	15333	55267
16	42	15	0.8	0.98	15344	56558
24	147	52.5	0.48	0.52	14223	51918
24	137	48.9	0.48	0.52	13571	51708
24	93	33.2	0.54	0.58	13999	52788
24	84	30	0.61	0.66	13638	54110
24	74	26	0.6	0.7	13647	53840
24	42	15	0.74	0.93	13711	55818



Şekil 5. Deneylerde ölçülen debi - akış derinliği ilişkisi

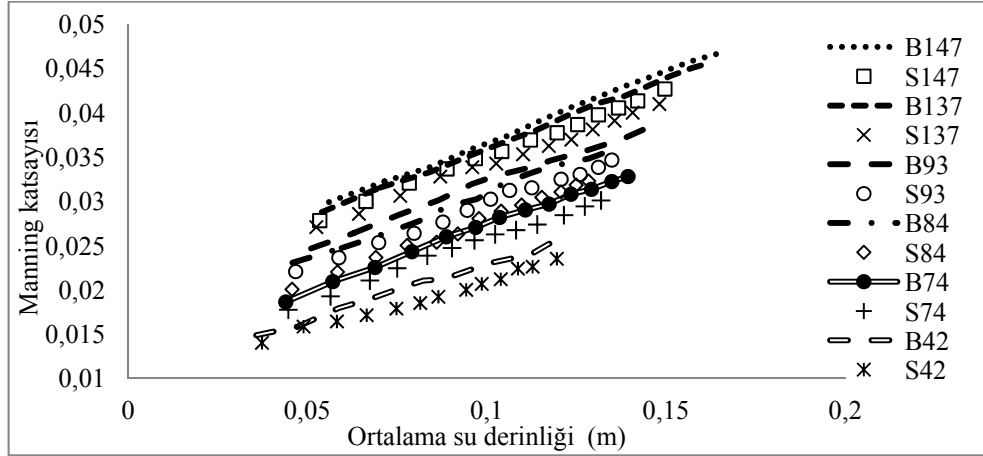
Şekil 6' de verilen, su derinliği ile ortalama hızın değişim ilişkisi incelendiğinde bütün deney setlerinde ortalama hız ile derinlik arasında beklendiği gibi lineere çok yakın bir ilişki görülecektir. Bitki sıklığı ve bitki çapının artması ile hız değişimi azalmış, su derinliğinin değişimi ise artmıştır (Şekil 6). Örneğin 24 mm çaplı pürüzlülük elemanı için, en sık durumunda (B147) hızın derinlikle değişimi (dv/dy) bir iken, en seyrek durumunda (B42), hızın derinlikle değişimi (dv/dy) üçtür. Bir başka ifade ile sıklığın hız değişimi üzerinde etkisi vardır. Benzer sonuç, Wu'nun [15] çalışmasında da mevcuttur, yani pürüzlülük elemanlarının sayısının artması hızı azaltmaktadır.



Şekil 6. Deneylerde ölçülen Hız - derinlik ilişkisi

Deneyler sonucunda elde edilen Manning katsayısı “n” ile derinlik arasındaki ilişki Şekil 6’da verilmiştir. Manning katsayısı ile temsil edilen akış direncinin, bitki sayısının ve akış derinliğinin artması ile dikkate değer şekilde arttığı görülmektedir. Su derinliğinin artması ile akış direncinin artması durumu James ve ark. [11], Musleh ve ark. [13], Wu [15], Shucksmith ve ark. [18] çalışmalarında da görülmektedir. Benzer şekilde, sıklığının artması ile akış direnç katsayısının artması durumu da daha önceki çalışmaların [9,10, 11] sonucunda elde edilmiştir. Örneğin Jarvela [9], çalışmasında bitki sayısını iki katına çıkarmanın sürtünme faktörünü de yaklaşık iki kat arttırdığını elde etmiştir. Bizim çalışmamızda her ne kadar sıklığın artması direnç katsayısını artırsa da sıklıkla direnç arasında çarpımlı bir ilişki olduğu sonucunu çıkaramayız.

Şekil 7.’de özetlenen deney bulgularında, bütün eğrilerin paralel ve lineer olarak değişmesi, Manning direnç katsayısının sıklık ve su derinliği ile paralel olarak arttığı da göstermektedir. Bu durumda daha önceki çalışmaların sonuçları ile paralellik göstermektedir [14, 15,17, 19]. Aynı grafikten, çapı büyük olan pürüzlülük elemanları ile elde edilen direnç katsayılarının küçük çaplı elemanlarla elde edilenden büyük olduğu görülmektedir. O halde bitki gövdesinin çapı da direnç katsayısını artırmaktadır.

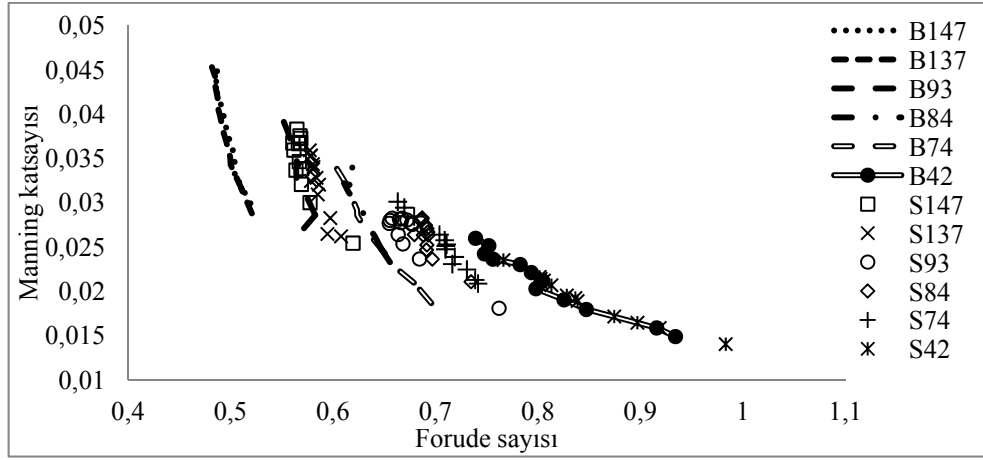


Şekil 7. Ortalama su derinliği - Manning katsayısı ilişkisi

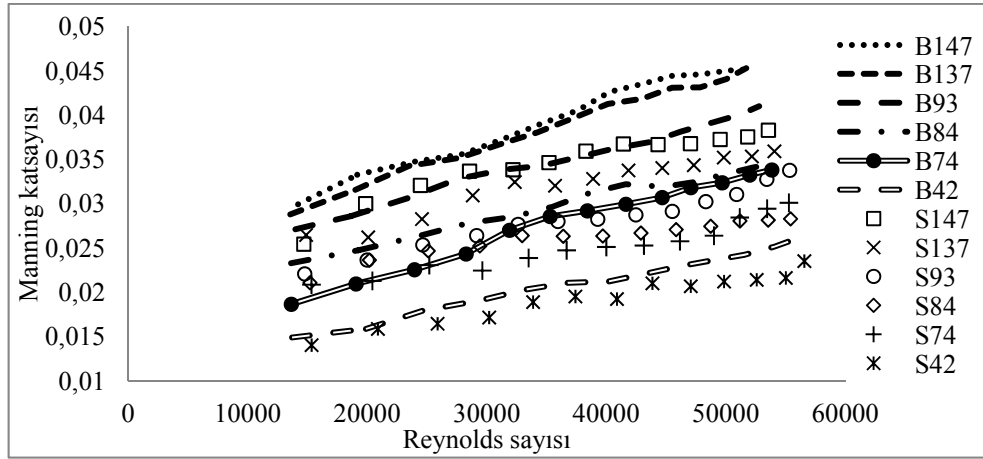
Açık kanal akımlarındaki boyutsuz değişkenlerden biri de Froude sayısı (Fr)’dir. Akım türünü (sel-nehir) belirleyen bu değişken, akımın kritik derinlik altında ya da üstünde aktığını gösterir. Froude sayısı 1 den küçükse akım nehir rejimindedir. Akım sel rejiminde iken nehir rejimine geçme ihtimali vardır, bu hidrolik sıçramanın oluşabileceğini, yani sürtünmenin dışında bir yük kaybının oluşabileceğini gösterir. Ancak bizim çalışmamızda hiçbir durumda sel rejimi gerçekleşmediğinden elde edilen yük kayıplarında hidrolik sıçrama gibi bir enerji kaybının oluşma ihtimali mevcut değildir. Bizim çalışmamızda elde edilen Froude sayıları 0.48 ile 0.98 arasında değişmektedir. Şekil 8’de Froude sayısı ile enerji kayıp katsayısı arasındaki değişim verilmiştir. Bitki sayısı azaldıkça akım sel rejimine yaklaşmaktadır ancak bu gerçekleşmemektedir. Grafik dikkatli incelenirse

### Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması

sıklıkları yakın olan deney dizilişleri için, çapraz dizilişteki Froude sayılarının tandem dizilişlerdekinden bir miktarda olsa büyük olduğu görülecektir. Bu da çapraz dizilişlerin hız azalışı üzerinde daha yoğun olarak bir etkisi olduğu söylenebilir. Noarayanan ve ark. [22] çalışmalarında, tandem diziliş için verdikleri Froude sayısı – pürüzlülük katsayısı “n” bulgularında, bitki sayısının yarıya düşmesi durumunun Manning katsayısının %20-50 azalttığını vurgulamışlardır. Bizim çalışmamızda da benzer bir durum mevcuttur; bitki sıklığı 3.5 kat azaldığında direnç katsayısı % 50 azalmaktadır. Ayrıca bitki sıklığı azaldıkça Froude sayısının değişimi artmaktadır, bu da hız üzerinde bitki sayısının etkisini bir kez daha ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Forude Sayısı ile Maning katsayısının değişimi



Şekil 9. Reynolds Sayısı ile Manning katsayısının değişimi

Bu çalışmada elde edilen Reynolds değerleri 13500 ile 56500 aralığında değişmektedir. Şekil 9'den görüleceği gibi Reynolds Sayısı su derinliğine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmektedir. Bitki sıklığının artması direnç değerinin değişim aralığını da artırmaktadır. B147 dizilişi için Manning katsayı 0.0152 birim değişirken S42 dizilişinde 0.0095 birimlik bir değişim göstermektedir.

Yürütülen deneyler sonucunda elde edilen Manning katsayıları değişim aralığı Tablo 3'de verilmiştir. Tablo-3'den görüleceği gibi hem çapın büyümesi hem de bitki sıklığının artması Manning katsayısını büyütmektedir. Koyu karakterlerle verilen deney sonuçları tandem dizilişleri diğerleri ise çapraz dizilişleri göstermektedir. Minimum değerler, en düşük su derinliğine, maksimum olanlar ise en yüksek su derinliğinde elde Manning katsayılarıdır. Deney sonuçlarına göre, sıklığın azalması direnç kuvvetinin küçülmesine sebep olsa bile diziliş de önemli bir parametredir. Tandem dizilişlerdeki direnç kuvvetleri, şaşırtmalı dizilişlerdekinden daha küçüktür. Bu akış kesitinde suyun akım çizgilerinin bozulması ve türbülansın artması ile ilişkilidir.

Tablo 3- Sıklık ve Çap ile Manning katsayısının değişim tablosu

Bitki çapı. (mm)	Bitki sıklığı (bitki/m <sup>2</sup> )	Manning katsayısı		Bitki çapı. (mm)	Bitki sıklığı (bitki/m <sup>2</sup> )	Manning katsayısı	
		min	maks.			min	maks.
<b>24</b>	<b>52.5</b>	<b>0.0299</b>	<b>0.0451</b>	<b>16</b>	<b>52.5</b>	<b>0.0254</b>	<b>0.0382</b>
24	48.9	0.0287	0.0452	16	48.9	0.0261	0.0359
24	33.2	0.0285	0.0409	16	33.2	0.0180	0.0282
<b>24</b>	<b>30.0</b>	<b>0.0232</b>	<b>0.0335</b>	<b>16</b>	<b>30.0</b>	<b>0.0210</b>	<b>0.0282</b>
24	26.0	0.0186	0.0338	16	26.0	0.0208	0.0301
<b>24</b>	<b>15.0</b>	<b>0.0148</b>	<b>0.0249</b>	<b>16</b>	<b>15.0</b>	<b>0.0140</b>	<b>0.0235</b>

## 5. REGRESYON MODELİ

Yukarıda verilen önceki çalışmalar ve bizim yürüttüğümüz deneysel çalışmalar ışığında bitkili açık kanal akımlarında oluşan direnç kuvvetlerinin, hız, su derinliği, kanal genişliği, bitki sıklığı, bitki yüzey alanı ve bitki dizilişine bağlı olduğunu görmekteyiz. Deneysel çalışma öncesi yapılan boyut analizi yardımı için hız, kanal genişliği, su derinliği, bitkilendirilmiş alan uzunluğu, suyun kinematik viskozitesi, yerçekimi ivmesi, toplam bitki sayısı, ilk ve ikinci sıradaki bitki sayısı, bitkiler arasındaki uzaklık bağımsız değişkenler olarak belirlendi. Deneyler sonucunda elde edilen Manning Katsayısının bu değişkenlerden nasıl etkilendiğini belirlemek için regresyon modeli kurulmuştur. Bu çalışma için aşağıdaki boyutsuz büyüklükler, modelin girdi parametresi olarak seçilmiştir.

$$n = f(Re, Fr, A_t, A_k, \lambda) \quad (4)$$

Fonksiyonda; Re; Reynolds Sayısı, Fr; Froude Sayısı, A<sub>t</sub>; bitki sıklığı oranı, A<sub>k</sub>; en kesit akış alanı oranı ve λ, diziliş katsayısı temsil etmektedir.

### Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması

Reynolds Sayısı,  $V_{ort} \cdot R / \nu$ , Froude Sayısı,  $V_{ort} / \sqrt{g \cdot y_{ort}}$  eşitlikleri ile hesaplanır. Akış kanalı içindeki bitki miktarı, oluşacak direnç kuvveti ile doğru orantılıdır. Bu sebeple geliştirilecek ilişki içinde bitki sıklığını temsil etmek üzere  $A_t$  model değişkeni olarak kullanılmıştır. Bu parametre kanal taban alanının toplam bitki alanına oranıdır ve aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$A_t = B \cdot L / m \cdot a \quad (5)$$

Burada, B; kanal taban genişliği, L; bitkilendirilmiş alan uzunluğu, m; toplam bitki sayısını, a: bir bitkinin taban alanı temsil etmektedir. Bitki sayısına ek olarak bitkinin yüzey alanı da direnç kuvvetini büyütür. Bitki yüzey alanının etkisini göstermek için

$$A_k = B / m_x \cdot d \quad (6)$$

eşitliği kullanılmıştır. Bu büyüklük, akış kesit alanının, suyun çarptığı bitki alanına oranı olarak tanımlanmıştır. Burada, d: bir bitkinin çapı,  $m_x$ ; tandem dizilişlerde ilk sıradaki, çapraz dizilişlerde ise ilk iki sıradaki bitki sayısını temsil etmektedir.

Diziliş parametresi olarak seçilen  $\lambda$ ,

$$\lambda = (m_i / m_{i+1}) \cdot (l_i / l_j) \cdot (l_{i+1} / l_{j+1}) \quad (7)$$

eşitliği ile elde edilir. Bu parametre bitkilerin arasındaki mesafelerin direnç kuvveti üzerindeki etkisini görmek için kullanılmıştır. Eşitlik içinde kullanılan mesafeler, hem tandem hem şaşırtmalı dizilişleri temsil edecek şekilde planlanmıştır. Şekil 10'da bitkilendirilmiş alan üzerinde eşitlikte kullanılan büyüklükler gösterilmiştir;  $m_i$ ; ilk sıradaki bitki sayısı,  $m_{i+1}$ ; ikinci sıradaki bitki sayısı,  $l_i$ ; ilk sıradaki, ilk bitki ile yan çeper arasındaki açıklık,  $l_j$ ; ikinci sıradaki, ilk bitki ile yan çeper arasındaki açıklık,  $l_{i+1}$ ; ilk sıradaki, birinci ve ikinci bitki arasındaki açıklık,  $l_{j+1}$ ; ikinci sıradaki, birinci ve ikinci bitki arasındaki açıklıktır. Denklem (7) ile tarif edilen diziliş parametresi ilk defa bu çalışmada önerilmiştir.

Bu çalışmada, yukarıda gerekçelerini belirttiğimiz, Manning pürüzlülük katsayısı üzerinde etkin olduğunu düşündüğümüz değişkenlerden kurulu aşağıda verilen (8) nolu eşitlik önerilmiştir.

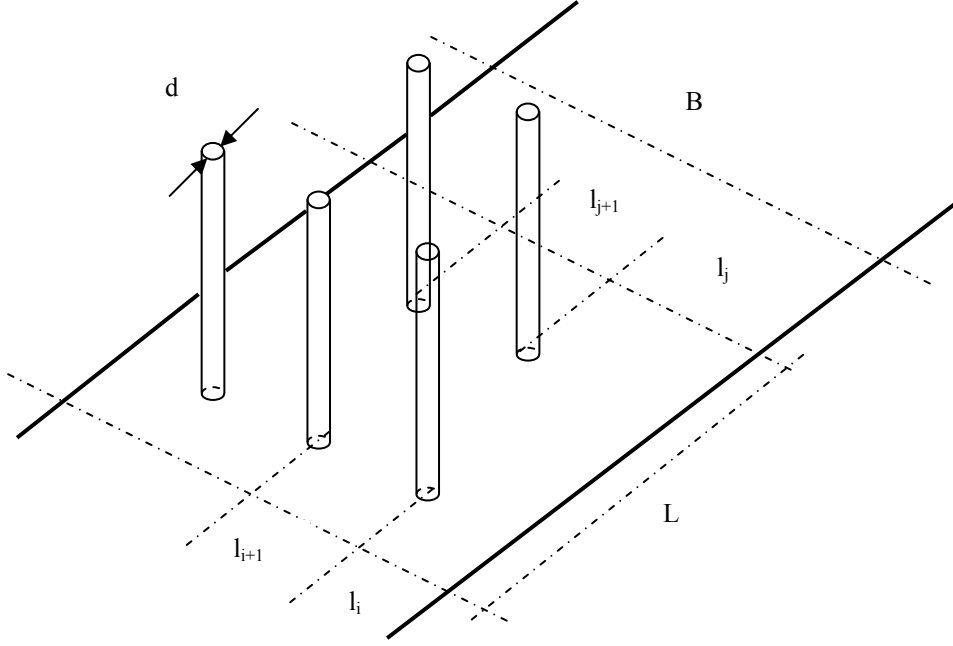
$$n = \alpha_1 \cdot \frac{Re^{\alpha_2} \cdot A_t^{\alpha_3} \cdot \lambda^{\alpha_4}}{Fr^{\alpha_5} \cdot A_k^{\alpha_6}} \quad (8)$$

Burada  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$ ,  $\alpha_5$  ve  $\alpha_6$  katsayılarıdır. Denklem (8)'deki katsayıların optimum değerleri çoklu regresyon ile bulunmuştur. Bunun için regresyon modeli hazırlanırken deneysel verilerin 2/3 kullanılmıştır. Yani; 108 veri seti Denklem (8)'in kalibrasyonu için kullanılırken, geri kalan 48 veri seti doğrulama için saklanmıştır. Çoklu regresyon sonucu elde edilen eşitlik denklem (9) olarak aşağıda ifade edilmiştir:

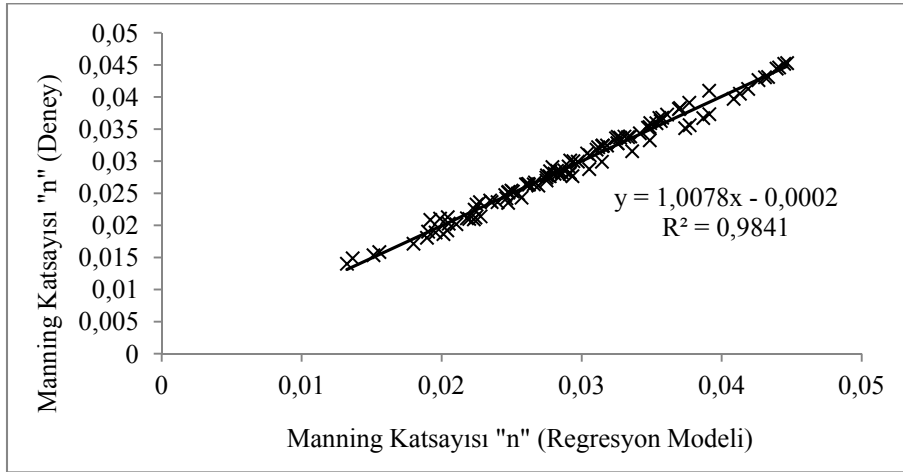
$$n = 0,0016 \cdot \frac{Re^{0,19} \cdot A_t^{0,030}}{Fr^{1,46} \cdot A_k^{0,003}} \lambda^{0,033} \quad (9)$$



Kalibrasyon sonucunda elde edilen denklem (9) ile hesaplanan  $n$  değerleri ile regresyon modelinin kurulmasında kullanılan deney verileri ile hesaplanan  $n$  değerleri Şekil 11’de verilmiştir. Gözlenen değerlerin çok iyi tahmin edilmesi ( $R^2=0.9841$ ) (Şekil 11) kalibrasyon aşamasının sağlıklı yapıldığına işaret etmektedir [25].

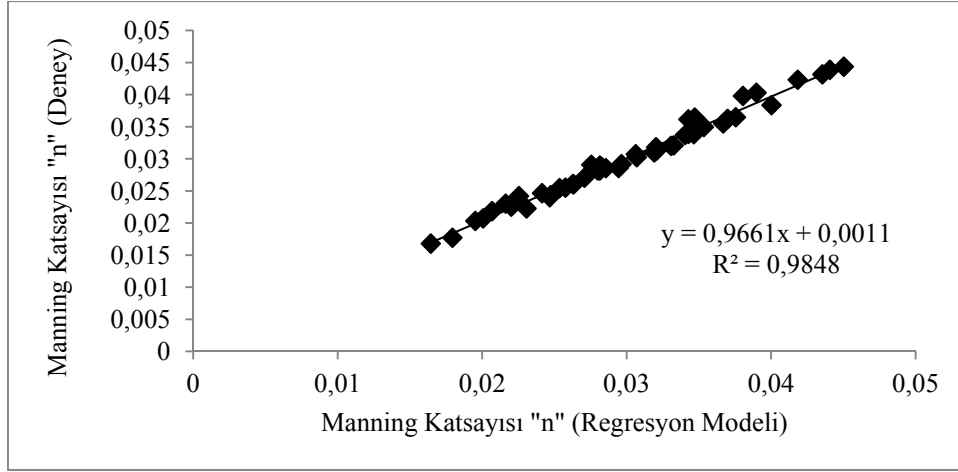


Şekil 10. Bitkilendirilmiş alan ve büyüklükler



Şekil 11- Model girdileri ile elde edilen sonuçlar

Çoklu regresyon modeli ile elde edilen eşitliği test etmek için model oluşumunda kullanılmayan veriler kullanılmıştır. Regresyon modelinin kalibrasyonunda kullanılmayan veriler ile Denklem (9) ile hesaplanan pürüzlülük katsayısı değerleri için çizilen grafik Şekil 12’de verilmektedir. Şekil 12’den görüleceği üzere Denklem (9) oldukça başarılı bir şekilde ( $R^2=0.9848$ ) pürüzlülük katsayılarını tahmin edebilmiştir.



Şekil 12- Kalibrasyonda kullanılmayan deney verileri ile hesaplanan ve deneyden elde edilen Manning katsayılarının karşılaştırılması

## 6. SONUÇ

Bitki örtüsü pürüzlülüğü, doğal ve doğal olmayan akış yataklarında, büyük bir olasılıkla direncin baskın bileşenidir. Bitkilerin neden olduğu direnç kuvvetini araştırmak için batık olmayan yapay pürüzlülük elemanları kullanılarak tedrici değişken akım şartlarında kapsamlı bir seri deney yapılmıştır. Hazırlanan yapay pürüzlülük elemanları akış veya taşkın yatağında var olan sürekli yapı olarak kabul edilmiştir. Deneylerde bitki çapı, bitki sıklığı ve bitki dizilişinin Manning pürüzlülük katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hazırlanan deney düzeneği yardımı ile toplamda 169 deney 5'er kez tekrarlanarak 13 farklı deney seti (1 pürüzsüz kanal, büyük çaplı rijit gövde için üç tandem üç çapraz diziliş, küçük çaplı rijit gövde için üç tandem üç çapraz diziliş) için ölçümler elde edilmiştir. Diziliş özelliği değiştirilerek, tandem diziliş ile çapraz dizilişin akış direncine etkisinin de gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra boyut analizi yardımı ile pürüzlülük değerini etkileyen değişkenler belirlenmiş ardından çoklu regresyon modeli kurulmuş ve deney sonuçları ile model sonuçları karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Pürüzlülük kaynağı olan yapay elemanların sayısı ve çapı arttıkça, ortalama su derinliği artmakta ve akış hızı azalmaktadır.

- Tandem dizilişte elde edilen Manning direnç katsayıları, çapraz dizilişteki direnç katsayılarından küçüktür.
- Su derinliği arttıkça Manning direnç katsayısı artmaktadır.
- Pürüzlülük elemanlarının sıklığı arttıkça Froude sayısının değişim aralığı azaltmaktadır.
- Manning katsayısı ile Reynolds sayısı arasında ilişki eğimi sıklıktan ve dizilişten bağımsızdır.
- Boyutsuz büyüklüklerle kurulan çoklu regresyon modeli ile elde edilen Manning katsayıları, ölçülen değerler yardımı ile hesaplanan Manning katsayıları ile karşılaştırılarak başarılı bir yaklaşım yapıldığı görülmüştür.
- Daha önce yapılan çalışmalarda dizilişin Manning katsayısı üzerindeki etkisinin yeterli derecede incelenmediği görülmüştür. Bazı çalışmalarda sadece bitkiler arası açıklığın bitki çapına oranı ile temsil edilen izafi açıklık parametresi kullanılmıştır. Diziliş parametresi ile bitkiler arası açıklıklarda oluşan iç su kanallarının direnç üzerindeki etkisi gözlenebilir. Bu çalışmada diziliş katsayısı ilk defa tanımlanarak, Manning katsayısı için geliştirilen Denklem (9)'da kullanılmıştır. Ancak 9 eşitliğinin limit durumlarda (kesitin tamamen bitki dolu olması veya hiç bitki olmaması durumlarında) geçerliliği yoktur. Çalışmalarımızı bu konuda devam ettireceğiz.

#### **Semboller**

- a: Bir bitkinin taban alanı  
A<sub>k</sub>: Bitki yüzey alanı parametresi  
A<sub>t</sub>: Bitki sıklığı parametresi  
B: Kanal genişliği  
C: Chezy Katsayısı  
D,d: Boru çapı  
f: Darcy-Weisbach sürtünme faktörü  
Fr: Froude sayısı  
h<sub>f</sub>: Sürekli yük kaybı  
J<sub>e</sub>: Enerji çizgisi eğimi  
J<sub>0</sub>: Taban eğimi  
L: Akış boyu  
l<sub>i</sub>: İlk sıradaki, ilk bitki ile yan çeper arasındaki açıklık  
l<sub>i+1</sub>: İlk sıradaki, birinci ve ikinci bitki arasındaki açıklık

*Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması*

- $l_j$ : İkinci sıradaki, ilk bitki ile yan çeper arasındaki açıklık  
 $l_{j+1}$ : İkinci sıradaki, birinci ve ikinci bitki arasındaki açıklık  
 $m$ : Toplam bitki sayısı  
 $m_x$ : Tandem dizilişlerde birinci sıradaki, çapraz dizilişlerde ilk iki sıradaki bitki sayısı  
 $m_i$ : Birinci sıradaki bitki sayısı  
 $m_{i+1}$ : İkinci sıradaki bitki sayısı  
 $n$ : Manning katsayısı  
 $R$ : Hidrolik yarıçap  
 $Re$ : Reynolds sayısı  
 $V$ : Akış hızı  
 $V_{ort}$ : Ortalama akış hızı  
 $y$ : Su derinliği  
 $\lambda$ : Bitki diziliş parametresi  
 $\rho$ : Akışkanın yoğunluğu  
 $\tau_0$ : Katı yüzeyle akışkan arasındaki kayma gerilmesi  
 $\nu$ : Kinematik viskozite

**Kaynaklar**

- [1] Çeçen, K., Hidrolik - Cilt II, İstanbul, İTÜ Yayınları, 1969.  
[2] Çeçen, K., Hidrolik - Cilt I, İstanbul, İTÜ Yayınları, 1967.  
[3] Özgür, C., Deneysel Hidromekanik, İTÜ Makina Fakültesi, 1980.  
[4] Rouse, H., Critical analysis of open-channel resistance, Journal Hydraulic Division, ASCE., 91, HY4, 1-25, 1965.  
[5] Chow, V. T., Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, 1959.  
[6] Dawson, F. H., Charlton, F. C., Bibliography on the hydraulic resistance or roughness of vegetated water courses, Occasional Publication No. 25, Freshwater Biological Association, Ambleside, U.K., 1988.  
[7] Fishenich, J. C., Flow resistance in vegetated channels: summary of the literature, Tech. Rep. HL-94-xx, USACE Waterways Experiment Station, USA, 1994.  
[8] Wu, B.F.C., Shen, H. W., Chou, Y. J., Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation, Journal of Hydraulic Engineering, 125, 934-942, 1999.

- [9] Jarvela, J., Flow Resistance of Flexible and Stiff Vegetation: A Flume Study with Natural Plants, *Journal of Hydrology*, 269, 44 - 54, 2002.
- [10] Stone, B. M., Shen, H. T., Hydraulic Resistance of Flow in Channels with Cylindrical Roughness, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 500-506, 2002.
- [11] James, C.S., Birkhead, A.L., Jordanova, A. A., O’Sullivan, J. J., Flow resistance of emergent vegetation, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 42, No. 4, 390–398, 2004.
- [12] Albertson, M.L., Barton, J.R., Simons, D.B., *Fluid Mechanics for Engineers*, New York, USA, Prentice Hall, 1960.
- [13] Musleh, F. A., Cruise, J. F., Functional Relationships of Resistance in Wide Flood Plains with Rigid Unsubmerged Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(2), 163-171, 2006.
- [14] Wilson, C.A.M.E., Flow resistance models for flexible submerged vegetation, *Journal of Hydrology*, 342, 213 - 222, 2007.
- [15] Wu, F. S., Characteristics of Flow Resistance in Open Channels with Non-Submerged Rigid Vegetation, *Journal of Hydrodynamics*, 20(2), 239-245, 2008.
- [16] Hui, E.Q., Hu, X. E., Study of Drag Coefficient Related With Vegetation Based on The Flume Experiment, *Journal of Hydrodynamics*, 22(3), 329 - 337, 2010.
- [17] Wang, P.F., Wang, C., Hydraulic Resistance of Submerged Vegetation Related to Effective Height, *Journal of Hydrodynamics*, 22(2), 265 - 273, 2010.
- [18] Shucksmith, J. D., Boxall, J. B., Guymer, I., Bulk Flow Resistance in Vegetated Channels: Analysis of Momentum Balance Approaches Based on Data Obtained in Aging Live Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 137, 1624-1635, 2011.
- [19] Pham, N., Penning, E., Mynett, A., Raghuraj, R., Effects of Submerged Tropical Macrophytes on Flow Resistance and Velocity Profiles in Open Channels, *International Journal of River Basin Management*, Vol. 9, 3 - 4, 195- 203, 2011.
- [20] Cheng, N. S., Nguyen, H. T., Hydraulic Radius for Evaluating Resistance Induced by Simulated Emergent Vegetation in Open-Channel Flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 137, 995-1004, 2011.
- [21] Dharmasiri, N., Yang, S. Q., Han, Y., Effects of Roughness Density on the Determination of Flow Resistance in Spatially Averaged Vegetated Open Channel Flow, *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries*, 1349-1365, 2012.
- [22] Noarayanan, L., Murali, K., Sundar, V., Manning’s ‘n’ Co-Efficient for Flexible Emergent Vegetation in Tandem Configuration, *Journal of Hydro-environment Research*, 6, 51 - 62, 2012.
- [23] Freeman, G.E., Rahmeyer, W.H., Copeland, R.R., Determination of Resistance Due to Shorts and Woody Vegetation, Rep.ERDC/CHLTR-00-25. Engineer Research and Development Center, USACE, USA, 2000.

*Rijit Gövdeli Bitkilerin Neden Olduğu Manning Katsayısının Araştırılması*

- [24] Shi, J. Z., Li, Y. H., Hughes, J. M.R., Zhao, M., Hydrological Characteristics of Vegetated River Flows: A Laboratory Flume Study, *Hydrological Sciences Journal*, 58 (5), 1047 - 1058, 2013.
- [25] Tayfur, G., *Soft computing methods in water resources engineering*, WIT Press, Southampton, England, UK, 2012.