

Tekil doğal bitkilerin açık kanallardaki akım karakteristikleri üzerinde etkisi

Oral YAĞCI*, M. Sedat KABDAŞLI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Son yirmi yıldır artan çevre bilinci ile birlikte akarsu yatağındaki bitkilerin akım alanı üzerine etkisini araştıran çalışmalara olan ilgi oldukça artmıştır. Farklı türde bitki topluluklarının akım alanı üzerine etkisini araştıran pek çok araştırma yapılmış olmasına rağmen geniş gövdeli tekil ağaçlar gibi bitki türlerinin akım alanı üzerine etkisi henüz yeterince anlaşılmış değildir. Bu çalışmada bir akım ortamındaki tekil doğal bitkilerin akımın hız ve türbülans karakteristikleri üzerine etkisini araştırmayı amaçlayan iki boyutlu deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin tamamı 26 m uzunluğunda, 0.98 m genişliğinde ve 0.85 m derinliğindeki akım kanalında gerçek bitki fidanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taşkın yataklarında sıkça rastlanan bu doğa olayını analiz etmek amacıyla, geniş gövdeli ağaçlar hacim yükseklik değişimleri gözönüne alınarak başlıca üç sınıfa ayrılmıştır. Hız ölçümlerinde üç adet akustik Doppler hız ölçer kullanılmıştır. Analiz aşamasında akım doğrultusundaki ve düşeydeki zamansal ortalama hız bileşenleri, akım doğrultusundaki ve düşeydeki türbülans bileşenleri ve türbülans kinetik enerjileri araştırılmıştır. Buna ilave olarak bitkinin mansab tarafında, bitkiden belirli bir mesafede, bitkinin yapısal özelliklerinin bir fonksiyonu olarak hız profilini veren bir eşitlik elde edilmiştir. Elde edilen eşitliğin geçerliliği deney verileri aracılığı ile sınanmıştır. Ayrıca, deneyler sonucunda geçirimli yapılarına rağmen akım ortamındaki bitkilerin akımı kayda değer ölçüde etkilediği ve neden oldukları türbülans ile önemli miktarda enerjiyi kurdıkları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Açık kanal, hidrolik, bitki, taşkın yatağı, hız profili.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Oral YAĞCI. yagciora@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 60 11.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Programı'nda tamamlanmış olan "The impact of different forms of single natural vegetative elements on flow characteristics in open channels" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 03.07.2006 tarihinde dergiye ulaşılmış, 09.10.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.04.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effect of singular vegetative elements on open channel flow characteristics

Extended abstract

In the last two decades with the increasing environment awareness there is a growing interest on studies which attempt to understand the impact of vegetation on flow field in river and flood plain systems. Although in the past great attention has been devoted to explore the impact of vegetation community on flow pattern, the effect of singular vegetative element, such as trees with large trunk, on flow and turbulence pattern is not yet known. The primary aim of the study was to explore the impact of presence of natural singular vegetative elements (trees with large trunk) in flood plains on velocity and turbulence characteristics.

In order to achieve the objective stated above two dimensional experimental measurements were conducted in controlled laboratory conditions. All the experiments were performed in the flume, which is capable of supplying steady flow and regular wave, located in Hydraulic Laboratory of Istanbul Technical University. The size of the flume is 26 m in length, 0.98 m in width and 0.85 m in depth. Tree saplings were utilized to represent the vegetative effect on flow field. In order to analyze this commonly observed nature phenomenon, trees with large trunk were classified into three groups on the basis of their volume versus height relation. The primary difference between those introduced three types was the volume increment gradient along the height. For given successive height intervals, the volume of vegetation pertain to any interval is always larger than the volume of the interval belong to the one closer to bed for Type 1, approximately constant for Type 2, smaller for Type 3. In nature, since each species is unique in terms of architectural and structural properties, three representative species were selected which could characterize those three types mentioned above. Those selected species were *Pinus Pinea*, *Thuja Orientalis*, and *Cupressus Macrocarpa* for Type 1, Type 2 and Type 3, respectively. Throughout the velocity measurements three Acoustic Doppler Velocimeters, two with maximum 200 Hz sampling frequency, one with maximum 25 Hz sampling frequency, were employed. During the data analysis in order to further understand of the impact of presence of vegetation on flow, the time averaged velocity and turbulence kinetic energy characteristics were examined. The experiments that aim to examine the variation of velocity profile at the downstream of vegetation were conducted for the different

combinations of water depth, velocity values, and representative "type" of the vegetation. More specifically, the experiments on velocity profile measurements along the flume were planned to be run for the combination of 2 depth values, 5 discharge values and 3 vegetation species. At the 10 locations velocity profiles were obtained by measurements along the centerline of the flume at the downstream of vegetation. In overall, 15 velocity profiles were acquired for each test condition.

At the design stage of some water resources projects, estimating the flow conditions in open channels with an adequate accuracy is important. However, the gap was detected in the literature that there is still no any method or formulation which gives the velocity profile at the downstream of vegetation depending on the vegetative characteristics. In this context, it was considered that generating a formulation which gives the velocity profile at the downstream of vegetation is necessary for river engineers. Based on these facts a formulation which gives the velocity profile at a certain distance from vegetation was introduced. The validity of the proposed formulation was tested with experimental data for verification. It was seen that the velocity results obtained by introduced formulation are in well agreement with the experimental data. It should be kept in mind that the formulation is a function of vegetative characteristics such as volume, projected area, and submergence degree. Hence approximate calculation of the volume of related vegetation in the field with acceptable accuracy is crucial for the success of the application. The similarity between whole vegetation and its branch of related vegetation can be employed as a reference during the calculation of volume of vegetation.

Experimental findings revealed that despite their porous structures, the presence of vegetation considerably disturbs the flow field and dissipate a remarkable amount of energy by turbulence. Furthermore experiments showed that sub-canopy flow occurs for three types of vegetation at the downstream of vegetation in the region close to bed. With increasing compactness of vegetation the magnitude of sub-canopy flow increases. In overall assessment it was concluded that presence of any type of tree with large trunk leads to 0-70 % extra sub-canopy flow at the bottom; 30-110 % retaining effect in the region close to the water surface.

Keywords: Open channel, hydraulics, vegetation, flood plain, velocity profile.

Giriş

Akarsu mühendisliğinin geçmişine bakıldığında temel olarak iki farklı yaklaşımdan bahsetmek mümkündür. İlk yaklaşım doğrultusunda hidrolik mühendisleri uzun yıllar boyu beton kaplamalı açık kanallar inşaa etmişlerdir. Ancak son yıllarda artan çevre bilincinin de katkısı ile birlikte bu anlayış yerini ekosistemi tahrip etmeden doğa ile işbirliği yaparak açık kanalların islahı anlayışına bırakmıştır. Bu noktada akım yatağındaki bitkilerin akım üzerindeki etkisinin tanımlanması büyük önem taşımaktadır.

Akarsu ve taşkın yataklarındaki bitkilerin çeşitliliği ve her bir bitki türünün kendine özgü yapıda olması problemi daha karmaşık hale getirmektedir. Akım ya da taşkın yatağındaki bitkilerin akıma etkilerini farklı yönleri ile ele almak mümkündür. Akım yatağındaki bitkilerin varlığı, mevcut akım hızını ve buna bağlı olarak taban kayma gerilmesini ve dolayısı ile erozyon oranının düşmesini sağlamaktadır. Ancak diğer taraftan akım ortamındaki bitkilerin varlığı akım enkesit alanını azaltarak daha yüksek akım derinliklerinin gözlenmesine neden olmaktadır. Stephan ve Gutknecht'e (2002) göre akarsu yatağındaki bitkiler akım hızlarında değişkenlik yaratarak balıkların üremesi için elverişli koşullar yaratması bakımından da ekosistem açısından büyük öneme sahiptirler.

Son yirmi yılda akım alanındaki bitkilerin akım üzerine etkisini araştıran çalışmaların sayısı büyük artış göstermiştir. Çalışmaların birçoğunda hem problemi basitleştirmek hem de sözkonusu problemi laboratuvar ortamında daha kapsamlı araştırmak amacıyla bitkiyi modelleme aşamasında suni rijit çubuklar kullanılmıştır (Fairbanks ve Diplas, 1998; Nepf ve Vivoni, 2000; Nezu ve Onitsuka, 2001; Schnauder, 2004). Zira laboratuvar ortamında bitkileri yeterince uzun süre canlı tutmak mümkün değildir. Bu çalışmaların bir kısmı akım tarafından bitkiye uygulanan sürüklenme kuvvetini araştırmayı hedeflemiştir (Petryk ve Bosmajian, 1975; Wu vd., 1999; Kouwen ve Fathi-Moghadam, 2000; Wilson ve Horrit, 2002). Sürüklenme kuvvetinin ifadesi göz önüne alındığında rijit bir yapıya uygulanan sürüklenme kuvvetinin, akım hızının

karesi ile doğru orantılı olması beklenir. Ancak Fathi-Moghadam ve Kouwen (1997), yaptıkları çalışma ile bitkilerin eğilmesinden dolayı, oluşan hız ile bitkiye uygulanan sürüklenme kuvveti arasında beklenen aksine doğrusal bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Bu değerlendirmeler ışığında Wilson ve diğerleri (2006) bitkileri üniform silindirler şeklinde basitleştirmenin taban yakınlarında olması gerekenden düşük sürüklenme kuvveti dolayısıyla olması gerekenden yüksek akım hızı ve taban kayma gerilmesi değerlerine neden olduğunu ifade etmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise Wilson ve diğerleri (2006) sürüklenme kuvvetini Navier-Stokes denklemlerine dâhil ederek daha önceki çalışmaların ışığında sayısal bir model oluşturmuşlardır. Daha sonra sözkonusu modeli arazi verisi ile sınımlar ve bu yaklaşım ile olumlu sonuçlar elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Teorik yaklaşım

Akarsu mühendisliğinde akımın hız profilinin bilinmesi pek çok akarsu yapısının tasarımı ve inşaa aşamasında önem arz etmektedir. Geçmişte yapılmış, bitki topluluklarının akımın hız profili üzerine etkilerini araştıran çalışmaların sayısı ise oldukça sınırlıdır. Carallo ve diğerleri (2002) hiperpolik bir tanjant fonksiyonu aracılığı ile bitki alanı içindeki hız profilini tanımlamışlardır. Geçmişte bitki alanının akımın hız profili üzerine etkilerini araştıran çalışmalar yapılmış olmasına karşılık, taşkın yataklarındaki büyük gövdeli ağaçların akımın hidrolik karakteristikleri üzerine etkisi halen bilinmemektedir. Bu bağlamda çalışma dahilinde tekil geniş gövdeli bitkilerin akımın zamansal ortalama yatay ve düşey hız bileşenleri ve türbülans karakteristikleri üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması uygun bulunmuştur. Bitkilerin doğru şekilde sınıflandırılması ve bu sınıflandırma dahilinde makul bir şekilde karakterize edilmesi çalışmanın başarıya ulaşması bakımından önem taşımaktadır. Bu amaçla sözkonusu bitkiler hacim yükseklik değişimleri gözönüne alınarak üç başlıca sınıfa ayrılmış ve sırası ile Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 şeklinde adlandırılmıştır. Tip 1 gözönüne alındığında; bitki için verilen bir yükseklik aralığına ait hacim, aynı yükseklik aralığına sahip tabana daha yakın kısmın hacmine

göre daha büyüktür. Temel olarak sözkonusu üç tip arasındaki farklılık yükseklik boyunca bitkinin hacim-yükseklik gradyanının değişimi ile açıklanabilir. Tip 1 için bu gradyan negatif, Tip 2 için yaklaşık olarak sıfır, Tip 3 için ise pozitiftir. Başka bir deyişle Tip 1 için $[(\partial V / \partial h) / \partial h] < 0$; Tip 2 için $[(\partial V / \partial h) / \partial h] \cong 0$ ve Tip 3 için $[(\partial V / \partial h) / \partial h] > 0$ şeklinde de sözkonusu sınıflandırma özetlenebilir. Buna paralel olarak bitkinin karakterize edilmesi aşamasında Denklem 1 ile verilen bitki yoğunluk parametresi tanımlanmıştır. Denklem 1 bir anlamda bitkinin mimari, yapısal özellikleri ve geçirgenliğini de göz önüne alarak karakterize etmektedir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen hacim ölçümleri ile deneylerde kullanılan bitkilere ait ξ parametresi deneylere başlamadan önce hesaplanmıştır.

$$\xi = \frac{V_{veg}}{A} \frac{z_0}{A} \quad (1)$$

Burada, ξ bitki yoğunluk parametresini, V_{veg} bitki tarafından sözkonusu akım derinliği için işgal edilen hacmi; z_0 akım derinliğini, A bitkinin plana izdüşürülmesi durumunda kapladığı alanı ifade etmektedir.

Deney aşamasında bitkinin mansab ve menba kısımlarında hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de hız profili ölçümlerinin gerçekleştirildiği 15 nokta verilmektedir. Bitkinin konumu (320;50)'dir. Bozulmamış akımın karakteri-

zasyonunda (100;50) konumundaki ölçümlerden, mansab akımının karakterizasyonunda ise (360;50) ölçümlerinden faydalanılmıştır. Bitki ile (100;50) konumları arasındaki mesafe üç bitki tipi de gözönüne alındığında yaklaşık olarak D_v 'ye tekabül etmektedir. Burada D_v , bitkinin yatay plana izdüşüm alanını veren eşdeğer dairenin çapıdır.

Bir akım ortamındaki anlık akım hızı Denklem 2'de verildiği şekilde tanımlanmaktadır (Sümer vd., 1982).

$$u = U + u' \quad (2)$$

Burada u anlık hızı, U zamansal ortalama hızı, u' türbülans çalkantı bileşenini ifade etmektedir. Zamansal ortalama hız ifadesi ise Denklem 3 ile verilmektedir.

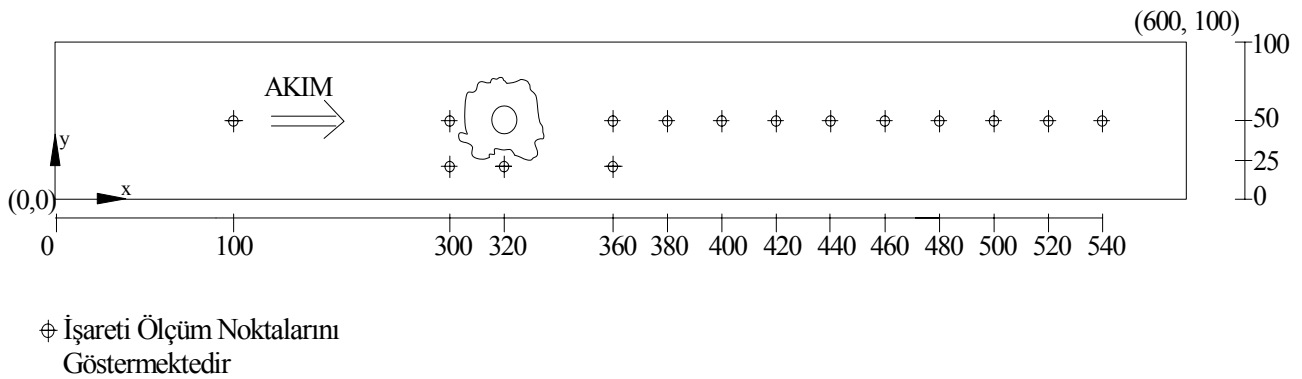
$$U = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int u dt \quad (3)$$

Sonlu sayıda n adet anlık akım hızı gözönüne alındığında zamansal ortalama hız ifadesi Denklem 4'deki şekli alır (Sümer vd., 1982; Hinze, 1959; Stanisic, 1988).

$$U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u(t_i) \quad (4)$$

Türbülansın çalkantı bileşeni ise Denklem 2'ye dayanarak Denklem 5'teki şekilde ifade edilebilir.

$$u' = u - U \quad (5)$$



Şekil 1. Bitki menba ve mansabında hız profili ölçüm noktaları

$$Var(u) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} u'(t_i)^2 \quad (6)$$

Bir akım ortamı göz önüne alındığında türbülansın çalkantı bileşeninin şiddetinin artması ile u' değerinin ortalama etrafında saçılması artar. İstatistiksel anlamda bu sözkonusu değişkenin varyansının (Denklem 6) artmasına karşılık gelmektedir. Denklem 5, Denklem 6'da yerine konursa Denklem 7 elde edilmiş olur.

$$Var(u) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (u-U)^2 \quad (7)$$

Boyutlar arasında homojenliğin sağlanması bakımından Denklem 7'nin karekökü alınarak Denklem 8 elde edilir. Bu ifade "türbülans yoğunluğu" nu ifade etmektedir (Schnauder, 2004). Denklem 7 ifadesinde u_{rms} akım doğrultusundaki hızın türbülans yoğunluğunu vermektedir. Aynı ifadeleri hızın yanal ve düşey bileşenleri için kullanılarak yanal (v_{rms}) ve düşey (w_{rms}) türbülans yoğunluklarını ifade etmek mümkündür. Türbülans yoğunluklarının üç bileşenini de gözönüne alarak Denklem 9 ile türbülans kinetik enerjisi tanımlanabilir (Schnauder, 2004). Çalışmada akım ortamında bitkinin neden olduğu ilave türbülansın ifade edilmesi sırasında ise $(1 - k_u/k_d)$ ifadesinden faydalanılmıştır.

$$\sigma_u = \sqrt{Var(u)} = \overline{u'^2} = u_{rms} \quad (8)$$

$$k = \frac{1}{2} (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2) = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (9)$$

$$= \frac{1}{2} (u_{rms}^2 + v_{rms}^2 + w_{rms}^2)$$

Bitkinin mansap tarafında oluşan hız profilini, mevcut bitkinin karakteristiklerine bağlı olarak veren bir ifadenin geliştirilmesi çalışmanın temel hedefleri arasındadır. Bu amaçla bitki menba ve mansabına ait zamansal ortalama hız profillerinin karşılaştırılması aşamasında ilk olarak $(U_u - U_d)$ aracılığı ile menba ve mansap taraflarındaki hız profili farkları elde edilmiştir. Daha sonra $(1 - U_d/U_u)$ vasıtasıyla bitkinin hız

profili üzerinde neden olduğu gecikme yüzdesi belirlenmiştir. Bitkinin D_v kadar mansabında hız profilinin ifadesini bitkinin geometrik özelliklerinin bir fonksiyonu olarak veren eşitliğin türetilmesi, "Deneysel Sonuçlar" kısmında sunulmuştur.

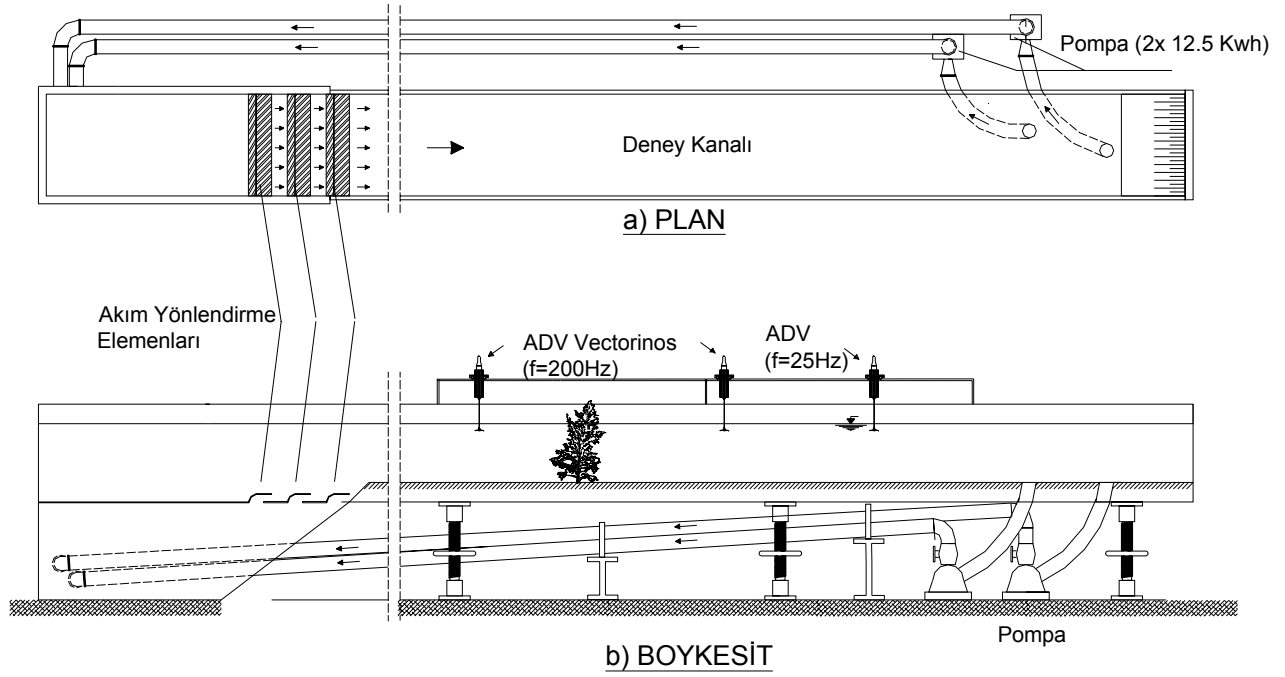
Deneysel çalışma

Deneylerin tamamı İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki Hidrolik Labortuarı'nda bulunan 26 m uzunluğa, 0.98 m genişliğe ve 0.85 m derinliğe sahip akım kanalında gerçekleştirilmiştir. Sözkonusu akım kanalı devir-daim sistemi ile permanan akım yaratabilmektedir. Devir-daim 2x50 kw güce sahip kanalın mansabında konumlandırılmış pompalar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Kanalının girişine, akımın kanala ani girişinden kaynaklanan çalkantıları azaltması amacıyla akım düzenleyiciler yerleştirilmiştir. Kanal yan duvarları gözlem kolaylığı sağlaması için Plexiglas ile inşaa edilmiştir. Sözkonusu kanalın plan ve boykesit görünüşleri Şekil 2'de sunulmaktadır.

Deneylerin tamamında hız ölçümlerinde üç adet akustik Doppler hız ölçer kullanılmıştır. Bu hız ölçerlerin ikisi yeni nesil olup maksimum 200 Hz ile akımın üç doğruludaki hız bileşenlerini anlık olarak kaydedebilmektedir. Diğer akustik Doppler hız ölçer ise maksimum 25 Hz ile veri toplayabilmektedir. Çalışmada hangi velosimetrelerin hangi pozisyonda kullanıldıkları Şekil 1 ve 2 aracılığı ile gösterilmiştir.

Deneyler akımın beş farklı debi, iki farklı derinlik ve üç farklı bitki tipinin kombinasyonları için gerçekleştirilmiştir. Herbir deneyde 15 düşey profil boyunca hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir düşey için 12-14 noktada hız okuması yapılmıştır. Bir başka deyişle deneylerin tamamı gözönüne alındığında 4000'den fazla noktada hız okuması gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin analizi sırasında ExploreV isimli türbülans analiz programından faydalanılmıştır.

Herhangi bir ölçüm noktasında olması gerekenden daha az veri toplanması yanıltıcı sonuçlar elde edilmesine yol açarken gerekenden daha fazla veri toplanması da zaman ve emek kaybına



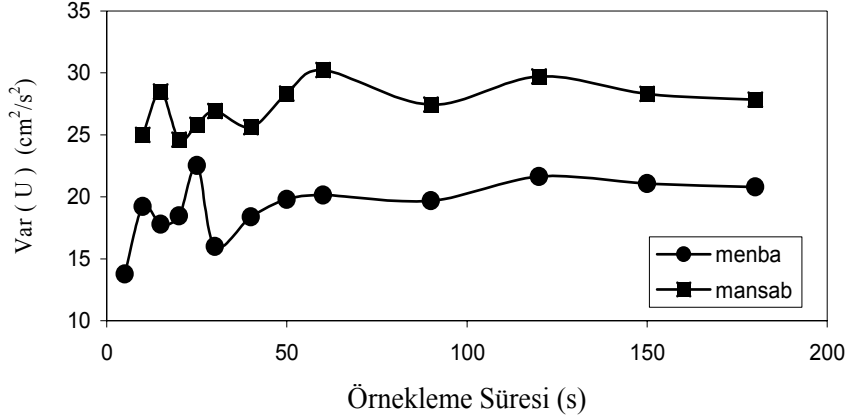
Şekil 2. Akım kanalının krokisi a) plan b) yan görünüş

yol açabilmektedir. Deneylere başlamadan önce Akustik Doppler hız ölçer ile herbir noktada yapılacak okuma süresinin, yani sözkonusu örnekleme frekansı ile elde edilecek örnekleme sayısının verilerin kalitesi üzerinde etkisinin araştırılmasının çalışmadan elde edilecek sonuçların güvenilirliği bakımından gerekli olduğu düşünülmüştür. Bu düşünceler ışığında bitkinin menba ve mansabında nokta ölçümleri gerçekleştirilerek örnekleme sayısının veri kalitesi üzerindeki etkisi ön deneyler ile araştırılmıştır. Bu amaçla sırası ile 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, ve 180 saniye örnekleme süresi ve 200 Hz örnekleme frekansı ile sabit bir noktada ölçümler gerçekleştirilmiş ve üç doğrultudaki (akım doğrultusu, yanal doğrultu ve düşey doğrultu) zamansal ortalama akım hızları ve varyanslarının örnekleme sayısı ile değişimi incelenmiş ve 200 Hz örnekleme frekansı ile 60 saniye veri toplanılması durumunda sonuçların örnekleme süresinden etkilenmeyeceği sonucuna varılmıştır. Şekil 3'te bitki mansabında akım doğrultusundaki zamansal ortalama akım hızı varyansının örnekleme sayısına bağlı olarak değişimi verilmektedir. Ayrıca deneylerde ölçülen bozulmamış akıma ait hız profillerinin logaritmik hız profiline uygunluğu araştırılmış ve ka-

naldaki akımın temel açık kanal akımı prensiplerine uyduğu belirlenmiştir.

Deneysel sonuçlar

Yukarıda da belirtildiği gibi çalışmanın temel hedeflerinden biri bitkinin mansabında, bitkiden belirli bir mesafede, bitkinin bir fonksiyonu olarak, gözlenmesi beklenen hız profillerinin derinlik boyunca elde edilmesidir. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda bozulmamış akım koşulu ve bitkinin mansabında bitkiden D_v kadar uzaktaki hız profilleri elde edilmiştir. Hız profillerinin analizi aşamasında ilk olarak $(U_u - U_d)$ ile ifade edilen hız farkının derinlik ile değişimi belirlenmiştir. Daha sonra $(1 - U_d/U_u)$ ifadesi aracılığı ile bitki dolayısı ile hız değerlerinde ne oranda bir azalma veya artış gerçekleştiği yüzde cinsinden hesaplanmış ve bu değişimin rölatif derinlik boyunca değişimi belirlenmiştir. Bu ifadenin bitki yoğunluk parametresine bölünmesi ile birim bitki yoğunluğuna karşı gelen hız değişimleri yüzde cinsinden hesaplanmış olur. Deneylerden elde edilen $[(1 - U_d/U_u)]/\xi$ ifadesinin rölatif derinlik boyunca değişimi söz konusu üç bitki tipi için Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 3. Akım doğrultusundaki zamansal ortalama akım hızı varyansının örnekleme sayısına bağlı olarak değişimi

Deneylere ait veriler ve bunlara karşılık gelen doğrusal regresyon doğruları Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir.

Burada U_u bozulmamış akıma ait zamansal ortalama hızı; U_d ise bitkinin D_v kadar masabındaki zamansal ortalama akım hızını ifade etmektedir.

En genel hali ile doğrusal bir denklemin ifadesi Denklem 10 ile verilebilir. Tablo 1’de söz konusu basit doğrusal regresyon denklemlerine ait eğim değerleri ve sabitler sunulmuştur. Tablo 1’de görülen “d” akım derinliğini ifade etmektedir. Tablo 1’de görüldüğü gibi regresyon doğruları yüksek kabul edilebilecek korelasyon katsayıları vermiştir.

$$y = mx + c \quad (10)$$

Burada m denklemin eğimini, c ise sabit bir sayıyı ifade eder. Bu durumda Şekil 4 üzerindeki absis ve ordinat ifadeleri Denklem 16’ya uyarlandığında Denklem 11 elde edilmiş olur.

$$\frac{z}{z_0} = m \frac{\left(1 - \frac{U_d}{U_u}\right)}{\xi} + c \quad (11)$$

Burada U_u ve U_d sırasıyla bozulmamış akıma ve bitkinin mansabındaki akıma ait zamansal ortalama akım hızı değerlerini, ξ ise bitki yoğunluk parametresini ifade etmektedir.

$$\frac{z}{z_0} - c = m \left(1 - \frac{U_d}{U_u}\right) \frac{1}{\xi} \quad (12)$$

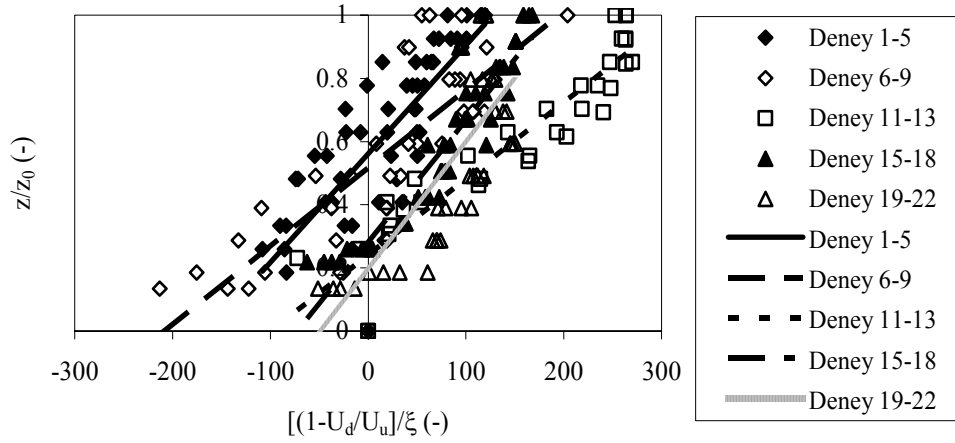
Denklem 12’in her iki tarafı ξ ile çarpılırsa Denklem 13 elde edilmiş olur.

$$\xi \left(\frac{z}{z_0} - c\right) = m \left(1 - \frac{U_d}{U_u}\right) \quad (13)$$

Denklem 13 yeniden düzenlenir ve Denklem 1 ile verilen bitki yoğunluk parametresi Denklem 13’da yerine konursa eşitlik son halini almış olur (Denklem 14).

$$U_d = U_u \left[1 - \left(\frac{V_{veg}}{Ah}\right) \left(\frac{z - cz_0}{mz_0}\right)\right] \quad (14)$$

Tip 1, 2 ve 3’e ait eğim değerleri ve sabitler Denklem 14’de yerine konarak denklem kullanılabilir. Regresyon doğrusu eğimlerinin ve sabitlerinin ortalamasını alarak tek bir doğru ile 3 bitki tipine ait verilerin bir regresyon doğrusu ile ifade edilmesi durumunda korelasyon katsayısı Tablo 1’den görülebileceği gibi 0.84 değerini almaktadır. Bu durum için söz konusu regresyon denkleminde ait eğim ve sabit değerleri ise sırası ile 0.0032 ve 0.360’dır. Bu regresyon denkleminde ait eğim ve sabit değerlerinin Denklem 14’de kullanılması ile elde edilen denklem “Genelleştirilmiş Denklem” olarak adlandırılmış ve metnin geri kalan kısmında bu ifade GD



Şekil 4. Birim bitki yoğunluğu için bitkiden kaynaklanan hız değişimi yüzdesinin rölatif derinlik boyunca değişimi

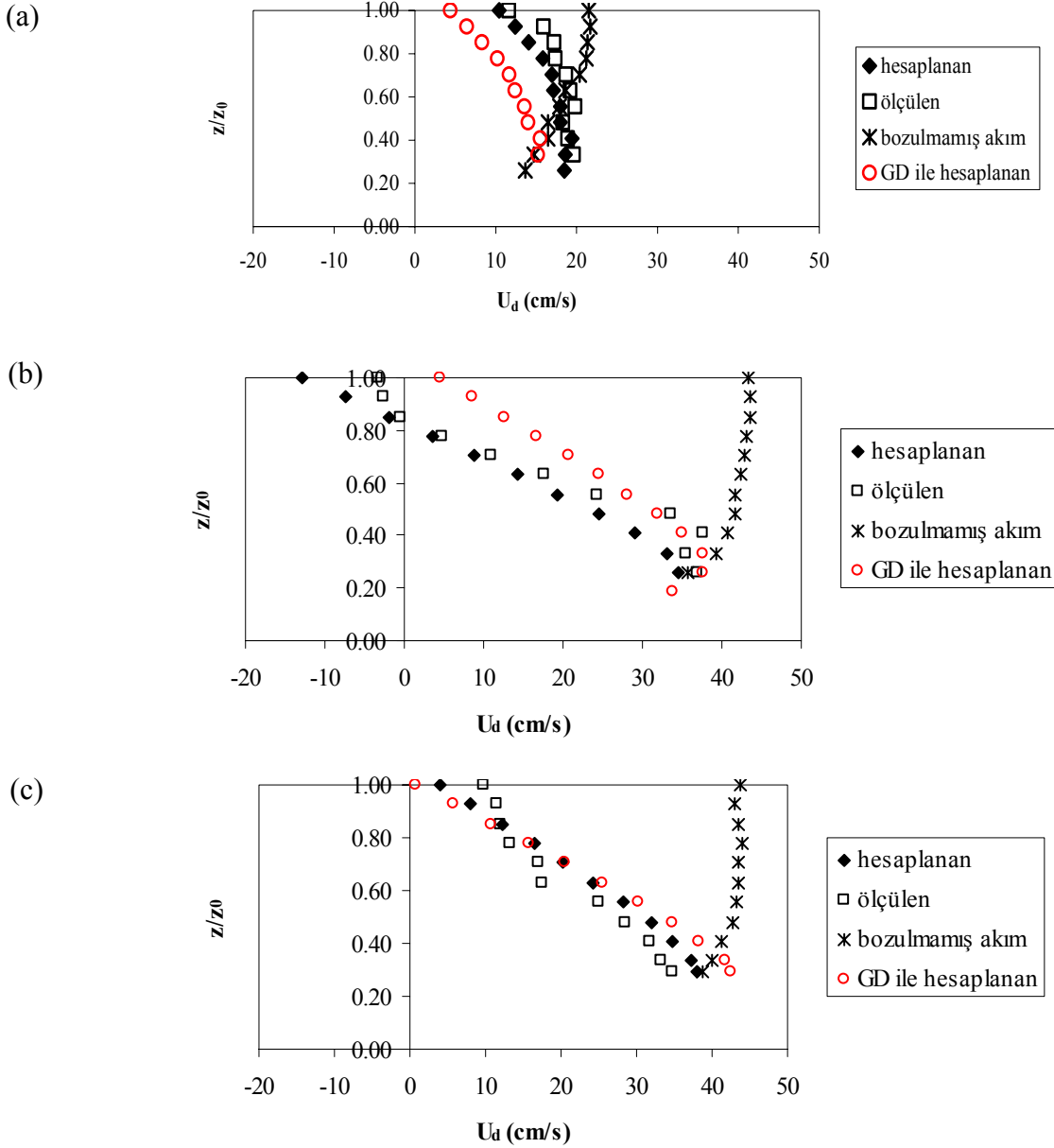
Tablo 1. Basit doğrusal regresyon denkleminde ait eğim değerleri ve sabitler sunulmuştur

Deneysel Koşulu	Deneysel No	Bitki Tipi	Eğim (m)	Sabit (c)	Korelasyon Katsayısı
1	1-5	1 (d=25cm)	0.0034	0.561	0.78
2	6-9	1 (d=40cm)	0.0025	0.516	0.82
3	11-13	2 (d=25cm)	0.0024	0.240	0.93
4	15-18	3 (d=25cm)	0.0039	0.280	0.95
5	19-22	3 (d=40cm)	0.0039	0.202	0.72
-	-	Ortalama	0.0032	0.360	0.84
-	-	Standart Sapma	0.0007	0.166	-

kısaltması ile ifade edilmiştir. Tip 1, 2 ve 3'e ait eğim ve sabit değerlerini kullanılması durumunda ise herhangi bir kısaltma yapılmamıştır. Denklem performansının sınanması amacıyla, elde edilen Denklem 14 aracılığı ile hesaplanan hız profili ile ölçümler aracılığı ile elde edilen hız profillerinin karşılaştırılması Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'te 3 bitki tipi için birer karşılaştırma verilmektedir. Şekil 5 üzerinde sırasıyla, hesaplanan (söz konusu bitki tipine ait regresyon eğim ve sabitleri ile hesaplanan), bitki menbaında ölçülen akıma ait, bozulmamış akıma ait ve son olarak da "genelleştirilmiş denklem" ile hesaplanan hız profilleri verilmiştir.

Şekil 5'e göre bitki mansabında ölçülen değerler ile elde edilen hız profillerinden görüldüğü gibi, yüzeye yakın kısımlarda akım bitki tarafından kayda değer şekilde engellenmektedir ki bunun sonucu olarak söz konusu akım kanalının taşıma kapasitesinin düşmesi beklenmelidir. Ayrıca

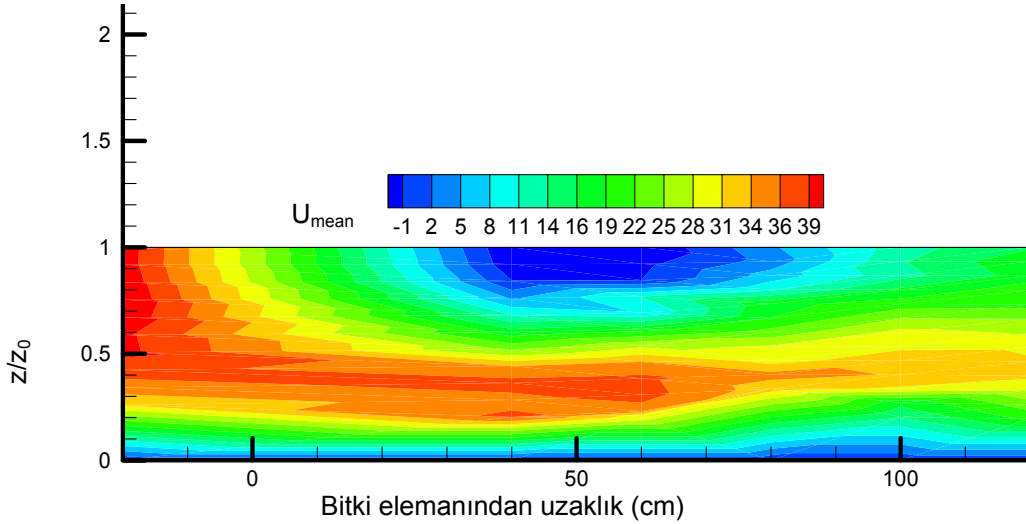
bitki tarafından bozulan akıma ait hız profilleri üç bitki tipinin hiçbiri için logaritmik hız dağılımına uymamaktadır. Görüldüğü gibi elde edilen denklem aracılığı ile her bitki tipinin kendisine ait katsayılar kullanılarak hesaplanmış hız profilleri, "genelleştirilmiş denklem" göre daha başarılı sonuçlar vermektedir. Sadece "genelleştirilmiş denklem" gözönüne alındığında ise, önerilen eşitlik aracılığı ile elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların uyum içinde olduğu ve pratikte uygulanabileceği ifade edilebilir. Ancak bu noktada önerilen eşitliğin başarısı için ξ , bitki yoğunluk parametresinin kabul edilebilir bir hassasiyet ile tahmin edilmesi gereklidir. Bu noktada McMohan ve Kronauer (1976) tarafından önerilen ve bir bitki dahilinde dallanma yapısının kendi içinde benzerlik arz ettiği teorisi, söz konusu bitkinin dalları aracılığı ile bitkiye ait yoğunluk parametresinin hesaplanmasında yardımcı olabilir.



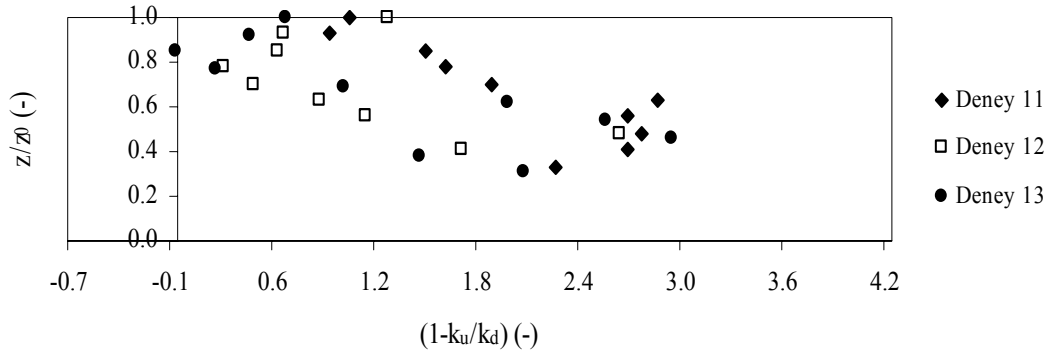
Şekil 5. Bitki elemanının mansabında ölçülen değerler ile denklem aracılığı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması. a) Deney no:3 (Tip 1; $d=25\text{cm}$); b) Deney no:11 (Tip 2; $d=25\text{cm}$); c) Deney no:15 (Tip 3; $d=25\text{cm}$)

Yukarıda anlatıldığı şekilde, bitki mansabı boyunca bitkinin akımın akım doğrultusundaki zamansal ortalama hız bileşeni üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla bitkinin mansabında Şekil 1 üzerinde gösterilen noktalarda hız profilleri deneysel olarak belirlenmiştir. Bu hız profillerine dayanarak Tip 2 için Deney No 11'e ait eş hız grafiği Şekil 6'da verilmektedir. Bitkinin konumu "0" absisli düşeydir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi bitki varlığı taban yakınlarında hız değerlerinin belirgin şekilde artmasına neden

olmaktadır. Su yüzeyine yakın kısımda ise negatif hız değerleri gözlenmektedir. Akım ortamında bitkinin varlığının türbülans yapısı üzerinde etkisini araştırmak amacıyla Denklem 10'dan faydalanılmıştır. Denklem 10 bitkiden kaynaklanan türbülansın yüzdesini vermektedir. Şekil 7'de bitki (Tip 2) nedeniyle akım ortamında oluşan ilave türbülans kinetik enerjisinin rölatif derinlik boyunca değişimi verilmektedir. Görüldüğü gibi akım ortamında bitkinin varlığı yüze yakın kısımlarda % 60 ile % 100 arasında



Şekil 6. Tip 2 için Deney No 11'e ait eş hız grafiği



Şekil 7. Bitki (Tip 2) nedeniyle akım ortamında oluşan ilave türbülans kinetik enerjisinin rölatif derinlik boyunca değişimi

tabana yakın kısımlarda ise %200 ile % 300 arasında ilave türbülans kinetik enerjisi yaratmaktadır.

Sonuçlar

Bu çalışmada daha çok taşkın yataklarında gözlenen ağaç gibi nispeten geniş gövdeli bitkilerin akımın zamansal ortalama hız ve türbülans yapısı üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel sonuçlara dayanarak bitkinin mansabında, bitkiden belirli bir mesafe uzakta gözlenmesi beklenen hız profilinin, bitkinin özelliklerinin ve bozulmamış akımın hız karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmasına olanak sağlayan bir eşitlik elde edilmiştir. Önerilen eşitlik aracılığı ile elde edilmiş sonuçlar ile deney sonuçları karşılaştırılmış ve

eşitliğin kabul edilebilir yaklaşıklıkta sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna ilave olarak bitkinin mansab boyunca akıma olan etkisi iki boyutlu (akım doğrultusu ve tabana dik doğrultu) olarak araştırılmış ve akım ortamındaki bitki mevcudiyetinin akımı bozduğu, poroz yapısına rağmen akımı engelleyerek yüzeye yakın kısımlarda zamansal ortalama akım hızında negatif değerler oluşmasına neden olduğu gözlenmiştir. Tabana yakın kısımlarda ise zamansal ortalama akım hızı kayda değer oranda artış göstermektedir. Bu durum olası taşkın sırasında erozyon oranı artışı tehlikesine işaret etmektedir ve akarsu yatağı ıslahı çalışmalarında bu nokta dikkate alınmalıdır. Yine deneysel veriler akım ortamındaki bitkilerin poroz yapılarına rağmen önemli oranda (yüzeye yakın kısımlarda % 60-100, tabana ya-

kın kısımlarda % 200-300) ilave türbülans kinetik enerjisine neden olduklarını göstermiştir. Bu sonuç da bitkilerin varlığının taşkın durumunda akım üzerindeki enerji kırıcı özelliklerini işaret etmektedir.

Kaynaklar

- Carollo, F.G., Ferro, V. ve Termini, D. (2002). Flow Velocity Measurements in Vegetated Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, **128**, 7, 664-673.
- Fairbanks, J.D. ve Diplas, P., (1998). Turbulence characteristics of flows through partially and fully submerged vegetation. Proceedings of the 1998 Wetlands Engineering and River Restoration Conference, Denver, Colorado, March 22-27, 865-870.
- Fathi-Maghadam, M. ve Kouwen, N., (1997). Nonrigid, Nonsubmerged, Vegetative Roughness on Floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, **123**, 1, 51-57.
- Hinze, J.O., (1959). *Turbulence*, 586, McGraw-Hill, New York.
- Kouwen, N. ve Fathi-Moghadam, M., (2000). Friction factors for coniferous trees along rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, **126**, 10, 732-739.
- McMohan, T.A. ve Kronauer, R.E., (1976). Tree Structures: Deducing the Principal of Mechanical Design, *Journal of Theoretical Biology*, 59, 443-466.
- Nepf, H.M. ve Vivoni, E.R., (2000). Flow structure in depth-limited, vegetated flow, *Journal of Geophysical Research*, **105**, 28, 547-28, 557.
- Nezu, I. ve Onitsuka, K., (2001). Turbulent structures in partly vegetated open channel flows with LDA and PIV measurements, *Journal of Hydraulic Research*, **39**, 6, 629-642.
- Petryk, S. ve Bosmajian, G., (1975). Analysis of Flow Through Vegetation. *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, **101**, 7, 871-884.
- Schnauder, I. (2004). Strömungsstruktur und impulsaustausch in gegliederten gerinnen mit vorlandvegetation, *Doktora Tezi*, Universität Karlsruhe.
- Stanisic, M.M., (1988). *The mathematical theory of turbulence*, 501, Springer-Verlag, New York.
- Stephan, U. ve Gutknecht, D., (2002). Hydraulic resistance of submerged flexible vegetation. *Journal of Hydrology*, Elsevier Science, **269**, 1-2, 27-43.
- Sümer, M., Ünsal, İ. ve Bayazıt, M., (1982). *Hidrolik*, 325, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Schnauder, I. (2004). Strömungsstruktur und impulsaustausch in gegliederten gerinnen mit vorlandvegetation, *Doktora Tezi*, Universität Karlsruhe.
- Wilson, C.A.M.E. ve Horrit, M.S., (2002). Measuring flow resistance of submerged grass. *Hydrological Process*, **16**, 2589-2598.
- Wilson, C.A.M.E., Yağcı, O, Rauch, H.P ve Olsen, N.R.B., (2006). 3D Numerical modelling of a willow vegetated river/floodplain system, *Journal of Hydrology*, (baskıda).
- Wilson, C.A.M.E., Yağcı, O, Rauch, H.P ve Stoesser, T., (2006). Application of the drag force approach to model the flow-interaction of natural vegetation, *Journal of River Basin Management*, (baskıda).
- Wu, F.C., Shen, H. W. ve Chou, Y. J., (1999). Variation of roughness coefficient for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, **125**, 9, 934-942.