

Sazlıklı bölgelerde dalga hareketinden kaynaklanan yatay hız bileşeninin derinlik boyunca değişiminin incelenmesi

Alpaslan AYDINGAKKO*, Sedat KABDAŞLI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Ekolojik açıdan büyük önem arz eden sazlıklı bölgeler (sulak alanlar) hassas bir dengeye sahiptir. Özellikle göç eden kuşlar için önemli bir uğrak ve dinlenme yeri olan bu bölgeler, aynı zamanda içerdikleri zengin besin olanaklarıyla kara ve su canlıları için de önemli bir yaşam alanıdır. Bu bölgelerin korunabilmesi ve sürdürülebilir kullanımı için, mevcut hidrodinamik yapının bilinmesi gereklidir. Sazlıklı bölgelerde gerçekleştirilecek sıcak su deşarjlarıyla ortama eklenen atık suyun davranışının belirlenerek, olumsuz etkilerinin en aza indirilebilmesi bir gerekliliktir. Bu çalışmanın amacı sazlıklı ortama verilen sıcak su deşarjının dalga etkisiyle değişen hız dağılımının tespit edilmeye çalışılmasıdır. Bu amaçla, dalga yüksekliği, başlangıç sıcaklık farkı, deşarj edilen debi ve sazlık olup olmaması bağımsız değişken olarak kabul edilmiş ve bu şartlarda 17 adet kontrollü deney gerçekleştirilmiştir. Ölçülen parametreler; sıcaklık, hız, dalga yüksekliği ve dalga periyodudur. Deneysel çalışma 22×1×0.5 m boyutlarında bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Akım hızları Vectrino+ akustik doppler hızölçer ile 50 Hz sıklığında kaydedilmiş ve en düşük kayıt süresi 1 dakika olarak belirlenmiştir. Sıcaklıklar Pt100 tipi 19 adet termometre ile ölçülmüştür. Sonuç olarak hem sazlıklı hem de sazlıksız ortamlar için dalga yüksekliği-hız dağılımı bağıntıları istatistiksel bir yaklaşımla elde edilmiştir. İstatistiksel yaklaşımda çoklu regresyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu bağıntılar bağıl sıcaklık, boyutsuz hız ve bağıl derinlik parametrelerinin fonksiyonları olarak verilmiştir. Elde edilen fonksiyonların istatistiksel açıdan yeterli hassasiyette olduğu görülmüştür. Sazlıksız ortamdaki hız değerleri klasik yöntemlerle hesaplandıktan sonra elde edilen bu fonksiyonlarla karşılaştırılarak sazlıklı ortamdaki dağılım elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak su deşarjı, sazlıklı ortam, hız dağılımı.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Alpaslan AYDINGAKKO. agakko@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 14.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Bitkili ortamda akıntı ve dalga etkileri altında su sıcaklığı değişimlerinin deneysel incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 17.11.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.01.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Investigation of the change in horizontal velocity gradient on the vertical axis caused by wave motion in vegetated areas

Extended abstract

Ecologically important vegetated areas bear a tender equilibrium. These areas are specifically places for birds and the great habitats for animals as well, since these places are very wealthy when it comes to nutrients. Hydrodynamic structures of these places should be known in order to maintain a sustainable development. Thus, this study is done to reveal the hydrodynamic structures of vegetated areas and the behaviour of waste water with thermal water discharges, and eventually to reduce the negative effects of this phenomenon. The changes in the characteristics of thermal water discharges which are induced by vegetation at the receiving environment are examined with the help of an experimental study. Velocity and dispersion coefficients were tried to be determined with previously conducted studies. In addition, drift forces caused by the changes occurred in the flow by one plant or a plant group were tried to be determined. In this study, wave height, temperature difference, flow rate of the discharge, and the existence of vegetation are chosen as independent variables, and 17 sets of experiments are conducted. Temperature, velocity, wave height and wave period are the measured parameters during the experiments. Experiments are conducted in a $22 \times 1 \times 0.5$ m dimensioned flume. Flow velocities are measured at least record is 1 minute long. Furthermore, temperatures are recorded with 19 "Pt100" type thermometers. As a result, a velocity dispersion function related to varying wave heights are derived with a statistical approach for vegetated and non-vegetated environments. Multiple regression method is used in the statistical approach and the aforementioned functions are given for the parameters which are relative temperature, dimensionless velocity and relative depth. Note that, multiple regression method was previously used for obtaining the dispersion coefficient and the flow conditions. The thermal water gradient affected by vegetation with respect to the mentioned variables was tried to be determined in the flow field. Excess temperatures for the vegetated experiments were chosen as 5 and 15 °C, where the flow rate was 15 l/min and the generated waves in

the flume were 2.5, 5 and 7 cm of height for each temperature value. The experiments of non-vegetated case were carried out with the flow rate values; namely, 10 and 15 l/min for the same wave conditions. Recorded velocity values were divided by wave group velocity (H/T). Multiple regression analyses conducted for velocity are valid for the third and the fourth zone, if the temperatures of the first and the second zone are assumed to be constant. Consequently for the vegetated case experiments, the equation $U/(H/T) = 3.4457 * z/z_0 - 0.00004 * L - 0.0066 DT - 0.0329 Q$ was obtained as a result of the multiple regression analysis carried out for $U/(H/T)$. And the result of the multiple regression analysis carried out for the non-vegetated case comes out with the equation $U/(H/T) = 2.7662 * z/z_0 - 0.0001 * L - 0.0080 * DT - 0.0181 * Q$. The difference between these two equations reveals the change in the flow affected by the vegetation. This difference may be computed by a subtraction operation between these two equations which leads to the equation $[U/(H/T)]_s - [U/(H/T)] = 0.6795 z/z_0 + 0.00006 * L + 0.0014 * DT - 0.0148 * Q$. Here the index S expresses the result of the vegetated case experiment. The variables of the newly given equation come out as relative depth, horizontal distance, temperature difference between the receiving environment and the discharged fluid, and the flow rate of the discharge, all of which should already be known by any engineer who works on subjects related to thermal water discharge. Therefore, determination of the change in temperature and the velocity gradient becomes a simple issue. Note that, wave steepness and wave period are on the right hand side of the recommended equation (wave steepness is obtained by dividing significant wave height by significant wave period as known), and it is clear that if one knows the design wave height and wave period, it becomes possible to compute the vegetated case velocities after the determination of non-vegetated case velocities with the help of the given equations. Obtained results are valid for the scope and conditions of this study, and more general approaches should be produced by future studies on this issue. Specifically, investigating the effect of variation of the vegetation properties on the mentioned phenomenon can be recommended.

Keywords: Thermal discharge, vegetation, velocity variation.

Giriş

Günümüzde endüstri tesislerinin sayılarının artması kadar, endüstriyel süreçlerin çeşitlenmesi de endüstrilerin çevresel etkileri açısından önemlidir. Bu çeşitlenme süreçlerinin sonunda ortaya çıkan atıklara, dolayısıyla atıkların alıcı ortamda yayılmalarının izlenmesini sağlayan fiziksel ve kimyasal parametrelere yansımıştır. Isıl atıklar da söz konusu çeşitlenmenin 20. yüzyılın başında ortaya çıkan sonuçlarındandır. İstenmeyen ısı, başta enerji santralleri olmak üzere birçok endüstriden kaynaklanır. Yakındaki bir su ortamından (büyük çoğunlukla nehir ya da deniz) alınan su, soğutma suyu olarak kullanıldıktan sonra alıcı ortama geri verilir.

Bu çalışmanın temel amacı, son yıllarda akım ortamı hidrodinamik özelliklerine etkileri daha çok araştırılmaya başlanan sazlık bulunan bölgelerdeki soğutma suyu (sıcak su) deşarjlarında sazlık ve dalga nedeniyle meydana gelen hidrodinamik değişikliklerin bir analitik formülasyona bağlı olarak ifade edilmeye çalışılmasıdır.

Son yıllarda özellikle sazlıklı bölgelerin hidrodinamik yapısı hakkında yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir. Fakat yapılan araştırmalar akım ortamındaki hız değişimleri ile ilgili olup sıcaklık farkı olan durumlar konusunda eksiklik bulunmaktadır.

Bu çalışmada durgun bir akım ortamına yapılan soğutma suyu deşarjının akım ortamında sazlık bulunması durumunda hidrodinamik açıdan meydana gelen değişimlerin tespit edilmeye çalışılmasıdır. Nehir ağzları ya da sulak alanlar gibi durgun (ya da çok küçük bir akımın bulunduğu) ortamlara yapılacak olan sıcak su deşarjı benzeştirilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda çok bilinen sıcak su deşarjlarında eksik olan sazlığın hidrodinamik yapıya etkileri tespit edilmeye çalışılmaktadır. Modellenen deşarj yüzen su jeti şeklindedir ve İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda 2 boyutlu fiziksel bir model kurulmuştur. Kurulan modelde deşarja karşı yönden dalga gönderilerek sazlığın neden olduğu değişimler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Temel denklemler

Navier-Stokes denkleminin diferansiyel yöntemler ile çözümü sırasında ortalama hız değerleri konulduğunda, özellikle anlık hızın çalkantı bileşenlerinden kaynaklanan karışımın etkisi ihmal edilmektedir. Bu etkinin ihmal edilmemesi için türbülans kayma gerilmesi ya da Reynolds gerilmesi ile çeviri (eddy) kavramları geliştirilmiştir. Türbülans kayma gerilmesi kavramıyla momentum transferi miktarı ortaya konulabilmektedir. (Çelik, 2004, Jaw ve Chen, 1998). Eddy viskozitesi ise en genel haliyle türbülans kayma gerilmesinin ortalama hız gradyanıyla orantılı olduğu kabulüne dayanmaktadır ve herhangi bir akım ortamında herhangi bir doğrultu için şu şekilde verilebilir;

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (1)$$

Buradaki ν_t , türbülans ya da eddy viskozitesi, k , türbülans kinetik enerjisidir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Ruben ve Atkinson, 2001),

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u_1'^2} + \overline{u_2'^2} + \overline{u_3'^2}) \quad (2)$$

Eddy viskozitesi kavramına bağlı olarak türbülans modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerden bir tanesi karışım uzunluğu modelidir. Karışım uzunluğu modelinde türbülans viskozitesi,

$$\nu_t = \ell_m^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \quad (3)$$

şeklinde verilmektedir. Buradaki tek bilinmeyen olan karışım uzunluğu, ℓ_m , birçok durum için ampirik formüllerle hesaplanmaktadır. Basit tabakalı akımlar için ampirik yollarla karışım uzunluğu kolayca hesaplanabilmesine rağmen, akım ortamı daha karmaşık hale geldiğinde bu yaklaşım iyi sonuçlar vermemektedir (Çelik, 2004).

Türbülans kinetik enerji modeli ise daha sonra ortaya konulan bir yöntemdir. Reynolds kayma gerilmesi çalkantı bileşenlerinin kinetik enerjile-

riyle doğrudan alâkalıdır. Çalkantı bileşenlerinin yüksek enerji seviyeleri olduğunda akım ortamındaki taşınım miktarında çalkantı bileşenleri daha fazla aktif rol oynamaktadır. k - ε teoremine göre türbülans kinetik enerji denklemi;

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\overline{\rho' u_i'}}{\rho_0} g_i - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{-\overline{P' u_i'}}{\rho_0} + \frac{1}{2} \overline{u_i' u_j'} \right) - \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Ruben ve Atkinson, 2001). Buradaki ε , türbülans kinetik enerjisinin saçılımını/harcanmasını ifade etmektedir (denklem 5) ve eddy viskozitesi denklem 6'daki gibi ifade edilmiştir. Yapılan çeşitli çalışmalarda k - ε denklemlerindeki katsayılar incelenmiş ve çeşitli değerler literatüre geçmiştir (Jaw ve Chen, 1998; Winterweb ve Van Kessel, 2003).

$$\varepsilon = \nu \left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right)^2 \quad (5)$$

$$\nu_t = C_\mu (k^2 / \varepsilon) \quad (6)$$

Sazlıklı ortamların hidrodinamiği

Sazlıklı bölgeler, başka bir deyişle sulak alanlar, konusunda özellikle son zamanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaları genel olarak 2 bölüme ayırmak mümkündür. Bunlar sırasıyla taşkın kontrolü için yapılan çalışmalar (bunlar taşkın ya da ani akım seviyesi değişimleri sonucu akım ortamının altında kalan alanlardır) ile nehir yatağı, göl veya deniz gibi sürekli akışkan kütlesi altında bulunan alanlardır. Bu iki durumda birbirinden farklı hidrodinamik yapılar ortaya çıkmaktadır.

Sürekli su altındaki bölgelerde incelenen durum ise nehirlerin denize karıştığı, bataklık ya da sazlıklı bölgelerdeki akım ortamıdır. Bu tür bölgeler ekolojik açıdan büyük öneme sahiptir ve canlı hayat çeşitliliğinin en fazla olduğu bölgelerdir. Bu sebeplerden dolayı sulak alanlar hem denizel hem de karasal ortamda bulunan birçok canlı türünü barındıran önemli canlı hayat merkezleridir. Bu tür bölgelerde genellikle akım hızı düşüktür. Bunun nedeni ya coğrafiktir, ya da akım hızını düşüren çeşitli nedenler vardır.

Bir akışkan içerisindeki akım ortamını genel olarak ifade eden denklemler yukarıda verilmiştir. Yapılan çalışmalarda yukarıdaki denklemlerde yer alan çeşitli katsayıların modifikasyonu ile sazlığın etkisinin tanımlanabileceği düşünülmektedir. Bunun en basit örneği açık kanal akımları için sazlık etkisinin Chezy ve Manning formüllerinde yapılan bazı değişiklikler ile ifade edildiği çalışmalardır (Çelik, 2004).

Bitkilenme ya da sazlıklı ortam, akım direncini etkiler. Akım direnci, akım derinliğini ve hız dağılımını belirleyen en önemli etkenlerden biridir. Akım direnci dört bileşenden oluşmaktadır: Bunlar 1-yüzey sürtünmesi, 2-şekil direnci/sürüklenme, 3-dalgı direnci, 4-akım düzensizliği ve yerel ivmelenmeden kaynaklanan dirençtir (Çelik, 2004).

Sürüklenme, hız gradyanı ve çevrıntiler yaratır ve bunun sonucunda momentum kaybı gerçekleşir. Hidrolik açıdan bakıldığında, sazlık akım direncini artırabilir ve pratikte hidrolik hesaplamalar bitkinin akıma etkisini de kapsamalıdır. Bu noktada, bitkilenmenin akıma etkisi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan deneysel ve analitik çalışmaların bazıları, sazlıklı ortamda akım direnci ve sürüklenme kuvveti hesaplarında kullanılan katsayıların hesaplanması üzerineyken, bir bölümü de sazlıklı ortamda akımın türbülans özelliklerinin değişimini incelemiştir (Çelik, 2004). Sazlıklı akım ortamında yapılan çalışmaların hepsinin ortak yanı, akımda düşey hız profillerinin tahmini ve deney verileriyle karşılaştırılmalarıdır. Akım ortamında bitki olduğu takdirde bitki akım içerisinde bir direnç gösterecektir. Bu nedenle de akımda normal koşullarda oluşan akım direncinin yanında sazlıktan gelen bir ek direnç oluşmaktadır.

Sistemin karmaşıklığından dolayı akım koşullarını etkileyecek birçok parametre ve dolayısıyla birçok farklı durum ve sınıflandırma yapılabilir. Doğadaki bitki çeşitliliği; bitkinin boyu, rijitliği, dağılımı bu parametrelerden bazılarıdır. Ancak kolaylık açısından bitki boyu ve akım derinliği karşılaştırılabilir. Literatürde bu sınıflandırma, batmış ve batmamış sazlık/bitkilenme, şeklinde yapılmaktadır. Bu iki durum, hidrodinamik açı-

dan birçok farklılıklar gösterir (Çelik, 2004). Ancak, bu çalışmanın özellikle konu ettiği durum batmamış sazlıklı ortamdaki akımdır.

Tipik serbest yüzey deşarjı için 3 farklı bölgeden bahsetmek mümkündür. Birinci bölge, karışımın çok iyi olduğu düşey sıcaklık veya tuzluluk gibi parametrelerin düşey eksen boyunca fazla değişmediği yakın kıyı bölgesidir. Geçiş bölgesi karışımın göreceli olarak daha az olduğu ve deşarj edilen suyun etkisini kaybetmeye başladığı, tabakalar arasındaki sıcaklık farkının belirginleştiği hatta tabana yakın bölgelerde alıcı ortamın akışkan özelliklerinin geçerli olduğu bölgedir. Üçüncü bölge ise deşarj etkisinin tabana doğru etkisinin çok azaldığı ve deşarj edilen suyun sadece yüzeye yakın bir bölgede kaldığı uzak kıyı bölgesidir. Uzak kıyı bölgesi için yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki x eksenini boyunca ortalama türbülans şiddeti sabit bir değere ulaşmaktadır ve söz konusu sabit değer 0.28-0.29 olarak ifade edilmektedir (Ruben ve Atkinson, 2001).

Howe ve diğerleri (2005) tarafından yapılan bir çalışmada nehir ağzı incelenmiştir ve hidrodinamik yapısını tanımlayabilmek amacıyla hem nümerik model, hem de arazi çalışması yapılmıştır. Ancak küçük ölçekli ve ortamdaki bitki morfolojisi ile akım özelliklerini irdeleyecek bir model kurulmasının zor olacağını ifade edilmiş ve modellerin, zamansal ortalama hızlara göre Navier Stokes denklemlerinin çözümünü gerektirdikleri için hem teorik hem de nümerik olarak çok zahmetli olacağını bildirilmiştir. Alternatif bir yaklaşımla su seviyesi değişimi temelli, basitleştirilmiş bir hidrodinamik model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemle az bir veri girişi ve az bir hesaplama ile büyük ölçekli akımları modellediklerini ifade etmektedirler. Böylece sazlık gibi küçük ölçekli yerel etkiler yerine büyük ölçekli hidrodinamik yapıyı kontrol eden parametrelerle çalıştıklarını söylemektedirler. Söz konusu yöntemle akım ortamının hassasiyetini bitki tipine, yükseltilerin durumlarına, gelgit seviyesine, hidrolojik periyoda ve içerisindeki askıda katı madde miktarına göre belirleyebilmektedirler. Önerdikleri yöntem ile ayrıca ortalama akım hızı ve bitki tipine de bağlı

olarak bir yaklaşım ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışma, arazi ölçümlerinin istatistiksel analizi ile nehir ağzı sulak alanlarındaki katı madde, akım ve bitki arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya çalışmaktadır. Nehir ağzı sulak alanlarının akım karakterini permanan olmayan, üniform, sıg su akımı olarak ifade etmektedirler. Sonuç olarak nehir ağzları akımlarında özellikle difüzyon süreçlerinde bitki türü özellikleri önemli bir parametre olarak küçük ölçekli ekosistemlerin hidrodinamik yapısında en büyük etkidir. Fakat yaptıkları çalışma sonucunda büyük ölçekli sulak alan ölçeğinin sazlık morfolojisinden daha etkin olduğunu ve ortalama akım hızını belirleyen gelgit ve hidrolojik durumda sulak alan etkisinin sazlık morfolojisinden daha etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Buradaki sazlık morfolojisi m^2 boyutundaki ölçek iken sulak alan ölçeği hektar boyutundadır. Çalışılan alan içerisinde farklı bölgelerdeki bitki türleri çeşitlilik göstermesine rağmen, ortalama hızlarda merteye ve zamansal olarak belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır. Araştırmada bölgenin hidrodinamik yapısı incelenmiş, çoklu regresyon analiziyle genel hidrolik özellikler ve bitki tipinin değişimi ile geniş ölçekli hidrodinamik yapıda meydana gelen değişimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Tabandan kaynaklanan sediment miktarı bitki morfolojisinin bir fonksiyonudur ve fiziksel etkilerini benzeştirebilmek için karmaşık hidrodinamik modeller gerekmektedir.

Lightbody ve Nepf, (2006) yaptıkları çalışmada tuzlu bataklık bölgedeki batmamış sazlıklı akımda hız profili ve boyuna dispersiyon katsayısının tayini üzerinde çalışmışlardır. Sulak alanlardaki askıda veya çözünmüş maddelerin davranışı hakkında bir şeyler söylenebilmesi için adveksiyon ve boyuna dispersiyonun bilinmesi gereklidir. Bu süreci daha iyi anlayabilmek için Plum adası nehir ağzı ön bölgedeki akım koşullarında hız, düşey difüzyon ve boyuna dispersiyon ölçümleri yapılmıştır. Düşey dispersiyon katsayısının bitki karakterine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Yazarlar, bitki morfolojisinin aynı zamanda boyuna dispersiyonu da kontrol ettiğini söylemektedirler. Deneysel çalışmalarının sonucunda, eğer bitki yoğunluğu yeterli mertebede ise düşey eksen boyunca oluşan tür-

bülans ve viskoz kuvvetlerin bitki direncinden daha düşük olacağını ve taban etkisinin azalarak sistem için tek bir gövde çapının kabul edilebileceğini ifade etmişlerdir. Lightbody ve Nepf (2006) momentum denge denklemi için denklem 7'yi önermektedir. Buradaki C_d bitki direnç katsayısıdır ve Reynolds sayısının bir fonksiyonudur. Direnç katsayısı aynı zamanda gövde şeklinin de bir fonksiyonudur. Boyuna dispersiyon ise deşarj edilen malzemenin varyansının bir oranıdır (denklem 8).

$$\frac{1}{2} C_d a u^2 = g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (7)$$

$$K_x = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_x^2}{dt} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. K_d gövde sürtünmesinden kaynaklanan dispersiyon katsayısı olarak kabul edilirse deşarjdan sonra yeterli zaman geçtiğinde bu değer sabit olacağı kabul edilmektedir. Derinlik boyunca yatay dispersiyonu tanımlamak amacıyla K_h , derinlik kayma dispersiyonu katsayısını ifade etmektedir. Bu değer yeterli zaman geçtikten sonra sabit bir değere ulaşacaktır. Bu iki kavram tanımlandıktan sonra bitki morfolojisi ya da yoğunluğunun, türbülans uzunluk ölçeğini de değiştirdiğini ifade etmektedirler. Buna göre boyuna dispersiyon katsayısı denklem 9'da verilmiştir.

$$K_x = K_d + K_h \quad (9)$$

Nepf (1999), yaptığı çalışmada, açık kanal içerisine belirli bir bölgeye sazlık yerleştirerek akım ortamında meydana gelen değişimi incelemiştir. Sulak alanda bulunan bitkiler akımın ortalama kinetik enerjisini gövde ve dalları yardımıyla türbülans kinetik enerjisine çevirmektedir. Bu enerji transferi gövdenin arkasında meydana gelen girdaplar, bitkiden kaynaklanan direnç ve türbülans şiddetiyle alakalıdır. Sazlıklı bölgedeki direnci, türbülansı ve difüzyonu belirlemek amacıyla bir fiziksel model kurulmuştur. Yapılan çalışmada, silindirik bir bitkinin neden olduğu bitki direnci, direnç katsayısına ve gövde popülasyon yoğunluğuna bağlı olarak ifade edil-

mekte ve sazlıktan kaynaklanan mekanik difüzyonu tanımlamaya çalışmaktadırlar. Tabandaki sediment erozyonu da sazlık etkisiyle azalmakta böylece erozyon kontrolü sağlanmaktadır. Artan direnç nedeniyle su derinliği de artmakta ve söz konusu etkiyle direnç zamanını, biyolojik çeşitliliği ve aktivitelerini uzun dönemli arttırmaktadır. Ek direnç nedeniyle Manning denklemine bazı ilavelerin yapılması gerekmektedir. Daha önce ifade edilen gövde arkasında oluşan türbülans, bitki gövde ölçeğine bağlı olarak gelişmektedir. Yapılan çalışma sonucu; türbülans şiddetinin seyrek sazlık ortamında arttığı fakat sazlık yoğunluğu artınca türbülans şiddetinin azaldığı, ayrıca sazlıklı bölgedeki difüzyon miktarının tutarlı bir şekilde sazlıksız akım ortamından daha az olduğu yargısına varılmıştır. Bunun nedeni çeviri boylarının düşmesidir. Derinlik ortalamalı türbülans kinetik enerjisinin 2 bileşeni vardır ve bunlar taban kayma gerilmesi ile bitki gövdesinin arkasında oluşan çevrintidir. Türbülans ve mekanik difüzyon Fick süreçlerinden farklıdır ve toplam difüzyon $D \sim k^{1/2} \ell_m + [ad]ud$ şeklinde ifade edilebilir. Buradaki ilk terim türbülans difüzyon ölçeğidir ve türbülans kinetik enerjisi ile karışım uzunluk ölçeğiyle ifade edilir. İkinci terim ise mekanik difüzyonu ifade etmektedir. Karışım uzunluğu ölçeği sazlıktan büyük miktarda etkilenmektedir. Bu nedenle sazlıksız akımda, karışım uzunluk ölçeği ve buna bağlı olarak türbülans difüzyonu miktarı büyük uzunluk ölçeklerinde artmaktadır. Karışım uzunluğu ölçeği bitki geometrisine bağlıdır. Bununla birlikte model çalışmasıyla seyrek bitki örtüsü olduğunda bitki gövdesi arkasında oluşan çevrinti nedeniyle türbülans şiddetinin arttığı, sazlık yoğunluğu arttırıldığında ise, türbülans şiddetinin ortalama hızdaki değişim nedeniyle düştüğü gözlemlenmiştir. Çevrinti ölçeğinin düşmesinden dolayı difüzyon da düşmektedir. Özellikle bitki yoğunluğunun %1'den büyük olduğu durumlarda türbülans ölçeği sazlık geometrisi tarafından kontrol edilmektedir. Bu sebeple karışım uzunluğu da açık kanal koşullarında azalmaktadır. Yüksek bitki yoğunluğu durumunda doğrudan akım engellendiğinden mekanik dispersiyon daha önemli olmaktadır. Bu durumda da $Re_d < 200$ olduğu durumlarda bitki türü ve sazlıklar arası boşluk

tüm difüzyonda baskın duruma geçmektedir (Nepf, 1999).

Lee ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada sazlıktan kaynaklanan sürüklenme kuvvetini incelemişlerdir. Bu çalışmada momentum korunumu için denklem 10'u önermektedirler. Buradaki u ve v boyuna ve yanal zamansal ortalama hızlardır, h , yerel derinlik, z_b yerel referans noktası ile taban arasındaki mesafedir. F'_{xvb} ise tabandan ve sazlık etkisiyle oluşan x yönündeki toplam direnç olarak ifade edilmiştir. Çalıştıkları bölgenin eğiminin çok küçük olması nedeniyle kot farkını ihmal ederek çözümlerine devam etmişlerdir. Seyrek yerleştirilmiş bir tek sazlık için sürüklenme kuvveti denklem 11'deki gibi verilmiştir. Burada C_D sürüklenme katsayısı, a_0 bitkinin akıma dik olan en kesit alanıdır. Birçok bitkinin olduğu akım ortamındaki toplam sürüklenme kuvveti ise denklem (12)'deki gibi ifade edilebilir. Burada a birim hacimdeki bitki alanıdır.

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + F'_{xvb} = -\rho g \left(\frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (10)$$

$$F_x = \frac{C_D a_0 \rho u^2}{2} \quad (11)$$

$$F'_{xvb} = \frac{C_D a \rho u^2}{2} \quad (12)$$

Sulak alan akımlarını özgül kütle farkından kaynaklanan tabakalı akım şartları olarak ifade edip fiziksel bir kanalda model çalışması yapılmıştır. Ölçümler ADV ile yapılmış ve ölçüm frekansı 10 Hz olarak ölçülmüştür. Kanal içerisine akım yatay bir savak yardımıyla verilmiştir (Schmid vd., 2004). Yatay olarak konsantrasyon dağılımı için

$$C = C_0 e^{u(r-x)/2K_t} \quad (13)$$

formülü önerilmektedir. Burada C_0 $y=0$ 'daki konsantrasyon, K_t boyuna difüzyon katsayısı (bu durum için sabit kabul edilmiştir), $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ şeklinde bir değerdir. Yapılan çalışmada yanal difüzyon katsayısını bitki gövde çapı, iki bitki arasındaki mesafe ve sürüklenme kuvvetinin bir

katı şeklinde ifade etmişlerdir. Yaptıkları yaklaşıma göre C_D sürüklenme katsayısı Reynolds sayısının düşük olduğu durumlarda Reynolds sayısına az miktarda ($Re < 100$) bağımlı iken, diğer durumda Reynolds sayısından bağımsız sabit bir değer aldığını ifade etmişlerdir. Aynı şekilde katı gövde alanı da Reynolds'un düşük değerlerinde C_D katsayısını az da olsa etkilemektedir. Daha önceki çalışmalarla birlikte ayrı ayrı incelendiğinde mekanik difüzyon yaklaşımı uygun olmamakla birlikte, iki çalışmanın birlikte değerlendirilmesi sonucu Nepf'in önerdiği mekanik difüzyon modelinin makul ve yeterli olduğu görülmüştür.

Bu bölümde herhangi bir akım ortamında kullanılan denge denklemleri ile denklemlerde kullanılan katsayılar verilmiştir. Katsayıların değişimine etki eden parametreler ve değişim miktarları ortaya konmaya çalışılmıştır. Örneğin karışım uzunluğu modelinin sazlıklı ortamların karmaşık yapısını ifade etmekte yeterli gelmediği belirtilmişti. Fakat karışım uzunluğu modelinin yeni yöntemlerle birleştirilmesi ile iyi sonuçlar verebileceği görülmüştür (Nepf, 1999). Tabana yakın olan bölgelerdeki akım hızlarının sazlık etkisiyle beklenenden daha düşük çıktığı ve akım yüzeyine yakın olan bölgelerdeki hızların da daha büyük olduğu yukarıda ifade edilmişti. Benzer durum yapılan deneysel çalışmalarda da ortaya çıkmıştır.

Sonuç itibarıyla yukarıda verilen yaklaşımlara göre birçok bilinmeyen ya ihmal edilmekte, ya çeşitli öngörüler yapılarak çeşitli katsayılarla sonuç bulunmaya çalışılmakta ya da bazı deneysel çalışmalara göre katsayılar elde edilerek ortalama ve çalkantı bileşenleri ortaya konmaya çalışılmaktadır. Daha önce ifade edildiği gibi sazlık etkisi ile hem ortalama hızda hem de çalkantı bileşenlerinde bazı değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında çalkantı hız bileşenlerini dikkate almadan ortalama hızlar yardımıyla yeni bir yaklaşım ortaya konmaya çalışılmaktadır. Ortaya konmaya çalışılan yaklaşımda, yukarıda ifade edilen sazlığın boyu, çapı ve yoğunluğu gibi bitki özellikleri sabit tutulmuş ve olaya etki eden diğer parametreler değiştirilerek sazlığın etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Deney sisteminde kullanılan aletler ve donanımlar

Deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda yer alan $1 \times 0.5 \times 22$ m'lik bir kanalda yapılmıştır (Şekil 1). Deneysel çalışmanın yapıldığı kanalın planı Şekil 2'de verilmiştir. Kıyıyı modellemek için deney kanalı içerisine 1:5 eğimle kum yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan sıcak su $0.5 \times 0.7 \times 1.5$ m boyutlarında ısıtıcı tankta üretilmiştir.

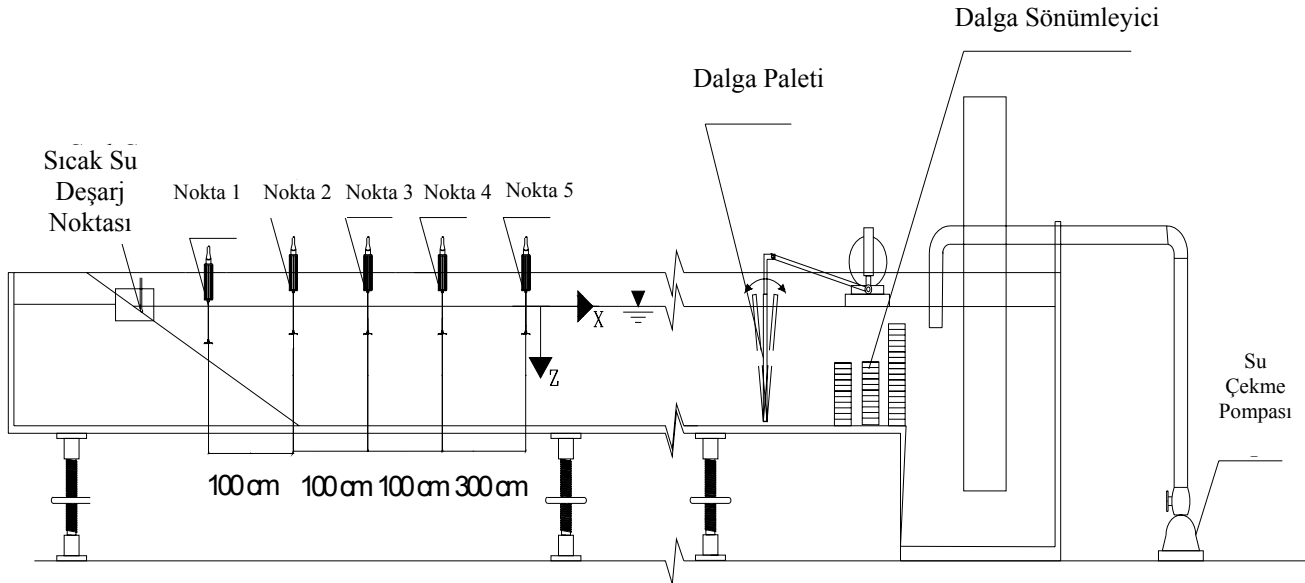
Sıcak suyun jet şeklinde deşarj edilebilmesi için ahşap dikdörtgen kutu biçiminde bir deşarj ağız yapılmıştır ve kutunun tabanı sakin su seviyesinin 3 cm altındadır. Sıcaklık değişimleri için Pt100 tipi hassas sıcaklık ölçümü yapabilen 19 adet termometre kullanılmıştır. Alınan sıcaklık kayıtları 1 Hz sıklıkla kaydedilmiştir.

Deney sisteminde dalga üretebilmek için 1 adet dalga paleti kullanılmış, dalga yüksekliği ve periyodu 1 adet redresör ve eksantrik mili ile kontrol edilmiştir. Dalga yükseklikleri ve periyotlar 2., 3. ve 5. ölçüm noktasına yerleştirilen 3 adet dalgaölçerle ölçülmüştür. Deneylerde değişik debi ve sıcaklık farklarında meydana gelen hızların tespiti için bir adet üç boyutlu akustik hız-

ölçer kullanılmıştır. Hız ölçümleri Şekil 1'de gösterilen 5 adet ölçüm noktasında ve farklı derinliklerde olduğundan hız profilleri gerekli analizlerin yapılmasıyla ortaya konabilecektir. Deneyler sırasında hız ölçümleri için 50 Hz sıklığında veri alınmıştır.

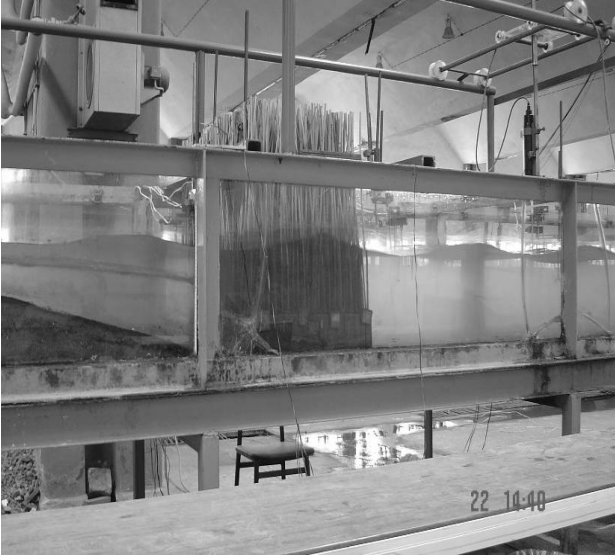
Deneysel çalışmanın asıl amacı olan sazlıklı bölgelerdeki sıcak su deşarjının hidrodinamik davranışının anlaşılması için deney kanalının bir bölümüne batmamış sazlık yerleştirilmiştir. Kullanılan sazlıklar düz (boru şeklinde) doğal sazlıklardır. Yerleştirilen sazlık grubu 50×100 cm boyutlarında ve sazların aralarında 2 cm mesafe olacak şekilde karelej biçiminde dizilmiştir. Sazlıkların çapları 4.0 mm ile 9.4 mm arasında değişmekle beraber ortalama çap 6.2 mm dir.

Tüm deneylerde kanal sıcaklığı dengeye gelinceye kadar beklenmiş ve sıcaklık dengeye ulaştınca hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, sırasıyla 1., 2., 3., 4. ve 5. noktalarda düşey eksenler boyunca yapılmıştır. Dalgalar deney başlangıcından ölçümlerin bittiği ana kadar gönderilmiştir ve hız ölçümleri 4-6 saat arasında kanal içersindeki denge sıcaklığı oluştuktan sonra düşey eksen boyunca 4 cm aralıkla ölçülmüştür.



”

Şekil 1. Deney kanalı kesiti ve ölçüm noktaları



Şekil 2. Dalgalı ve sazlıklı ortamda yapılan deneyler

Ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri

Hazırlanan deney düzeneğiyle, sıcaklık, dalga ve hız parametreleri ölçülmüştür. Her deney yaklaşık bir gün sürmüştür. Bütün deneylerde su derinliği 33 cm olarak sabit tutulmuştur. Derinliğin boyutsuz hale getirilebilmesi için ölçüm derinliği toplam derinliğe bölünmüştür (z/z_0).

Yapılan bir araştırmada ADV ile ölçüm süresinin hız değerlerine etkisini incelemiştir (Carollo vd., 2002). Sonuç olarak sabit bir noktasal ortalama hız değeri için en az 700 örnek alınması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada her deneyde değişik olmasına rağmen minimum alınan hız verisi 60 sn boyunca alınmıştır. Bu durumda 50 Hz'lik sıklığında en az 3000 hız verisi alınmıştır. Kaydedilen ham hız değerleri daha sonra aykırı değerlerin ayıklanması işlemine tabi tutulmuştur. Aykırı değerlerin ayıklanmasında birden fazla yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerden bir tanesi korelasyonun ortalama belirli bir değerde tutulmasıdır. Bir diğer aykırı değer analiz yöntemi de ölçülen değerlerin tüm ölçümden elde edilen standart sapma değerinin belirli bir katından büyük olan değerlerin aykırı değer olarak kabul edilmesidir. Bu çalışma kapsamında korelasyon sınırı %70 ve standart sapma değerinin 3 katından daha büyük hızlar aykırı değer olarak kabul edilmiştir.

Dalga kaydı 20 Hz sıklıkla yapılmış ve istatistiksel hesaplama yapılarak belirgin dalga yüksekliği bulunmuştur. Her deneyde, farklı zamanlarda dalga kayıtları alınarak deney sırasında istenen dalganın gönderilip gönderilmediği kontrol edilmiştir. Tablo 1'de alınan dalgaların belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları verilmiştir.

Dalga gönderilerek yapılan deneylerin hız ile derinlik arasında çizilen grafiklerinin boyutsuz hale getirilmesi, ölçülen herhangi bir noktadaki hızın dalga ortalama düşey orbital hızına bölünmesiyle gerçekleşmiştir. Buradaki düşey orbital hız terimi, dalga yüksekliğinin periyoda bölünmesi ile bulunmuştur.

Tablo 1. Dalgalı ortamda yapılan deneylerde ölçülen dalga özellikleri tablosu

Deney No	H_s (m)	T_s (s)
Deney 31	2.5	0.7
Deney 32	2.5	0.7
Deney 33	5.0	0.7
Deney 34	5.0	0.7
Deney 35	5.0	0.7
Deney 37	7.0	0.7
Deney 38	7.0	0.7
Deney 39	6.5	0.7
Deney 41	6.5	0.7
Deney 42	5.0	0.7
Deney 43	5.0	0.7
Deney 44	2.5	0.7
Deney 45	2.5	0.7
Deney 46	2.5	0.7
Deney 47	2.5	0.7
Deney 48	5.0	0.7
Deney 49	5.0	0.7
Deney 50	6.5	0.7
Deney 51	6.5	0.7

Yapılan deneysel çalışmaların özeti

Kanal içerisine sazlık yerleştirildikten sonra 3 adet farklı özellikte düzenli dalga serisi ile başlangıç sıcaklık farkı 5°C ve 15 °C olacak şekilde 6 deney yapılmıştır (Tablo 2). Bu deneylerde debi sabit 15 lt/dk olarak seçilmiştir. Daha sonra sazlık çıkarılarak 10 lt/dk ve 15 lt/dk debide,

5°C ve 15°C başlangıç sıcaklık farklarında 11 adet deney daha tamamlanmıştır (Tablo 3).

Tablo 2. Sazlık ve dalga etkisi altında yapılan üçüncü grup 6 deney

Sıcaklık farkı DT (°C)	Dalga Yüksekliği (cm)	Deşarj Debisi (lt/dk)
		15
5	2.5	Deney No. 32
	5.0	Deney No. 34
	7.5	Deney No. 37
15	2.5	Deney No. 33
	5.0	Deney No. 35
	7.0	Deney No. 38

Tablo 3. Sazlık etkisi olmadan ve dalga etkisi altında yapılan dördüncü grup 11 deney

Sıcaklık farkı DT (°C)	Dalga Yüksekliği (cm)	Deşarj Debisi (lt/dk)	Deşarj Debisi (lt/dk)
		10	15
5	2.5	Deney No. 46	Deney No. 44
	5.0	Deney No. 48	Deney No. 42
	7.5	Deney No. 50	Deney No. 41
10	2.5	Deney No. 47	Deney No. 45
	5.0	Deney No. 49	Deney No. 43
	7.5	--	Deney No. 39

Yapılan analizlerde; bağımsız değişkenler, x yönündeki mesafe (L), boyutsuz derinlik (z/z_o), deşarj edilen su ile alıcı ortam arasındaki başlangıç sıcaklık farkı (DT) ve deşarj edilen suyun debisidir (Q). Bağımlı değişken olarak $U/(H/T)$ alınmıştır.

DeneySEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Dalga etkisi altında yapılan deneylerin regresyon analizleri

Dalgalı ve sazlıklı ortamda yapılan deneylere örnek Şekil 2'de verilmiştir. Yapılan deneyler ile hız ve derinlik arasındaki ilişki anlaşılmasına çalışılmıştır.

Yapılan incelemelerde aynı başlangıç sıcaklık farkı ve deşarj debisi değerlerindeki dalgalar birer grup olarak alınmıştır. Örneğin 5°C sıcaklık farkı ve 15 lt/dk debide ve 3 farklı dalga koşulunda yapılan deneyler bir gruptur.

Dalga etkisi altında hız- derinlik analizi

Bu bölümde ortalama yatay hızlar (U) ile derinlik arasındaki ilişki incelenmiştir. Ölçülen hız değerleri incelendiğinde bazı noktalarda negatif hız değerleri olduğu görülmektedir. Negatif hız değerleri genellikle tabana yakın olan bölgelerde görülmektedir. Hızın negatif olması geri akımın olduğunu göstermektedir. Tabanda bulunan soğuk su, kıyıya yakın olan bölgedeki (karışım bölgesindeki) suyun ısınması sonucu yüzeye doğru yükselirken bu yükselen suyun yerini doldurmaktadır. Ayrıca soğuk olan suyun yoğunluğu sıcak olan suyun yoğunluğundan daha fazla olduğundan sıcak olan suyun altına girmeye çalışmaktadır. Hız profilleri, ölçümlerdeki bazı aykırı olarak görünen değerler çıkarıldıktan sonra çizilmiştir. Çıkarılan aykırı değerler her ölçüm noktası için en fazla 2 değerdir.

Sazlıklı ortamda hız-derinlik analizi

Bu bölümde, kanal içerisine sazlık yerleştirildikten sonra dalga gönderilmesiyle ölçülen hız ve derinlik arasındaki ilişki incelenecektir. Kanal içerisine sazlık yerleştirildikten sonra 3 farklı dalga yüksekliği için 5 °C ve 15 °C başlangıç sıcaklık farklarında deneyler bir arada çoklu regresyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Böylece daha önce ifade edildiği gibi 6 adet deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılan analizlerde hızların negatif değerlerinin olması nedeniyle sadece doğrusal eğri yaklaşımı yapılabilmektedir. Yapılan çoklu regresyon analizinde bağımsız değişken olarak debi derinlik, sıcaklık farkı ve yatay mesafe kabul edilmiştir. Bu çoklu regresyon analizinde hesaplanan R^2 değeri de 0.79'dur. Çoklu regresyon analizinde doğrusal yaklaşım ile yapılan hesaplarda bağımsız değişkenlerin katsayıları bulunmaktadır. İfade edilen yaklaşıma göre ortaya çıkan formül denklem 14'te verilmiştir.

$$U/(H/T) = 3.4457 * z/z_o - 0.00004 * L - 0.0066 DT - 0.0329 Q \quad (14)$$

Sazlıksız ortamda hız-derinlik analizi

Bu bölümde sazlıksız olarak yapılan 5°C için 10 ve 15 lt/dk debi ile 15 °C için 10 ve 15 lt/dk debide yapılan deneyler incelenecektir. Yukarıda sazlıklı yapılan analizde olduğu gibi, burada da bağımsız değişken olarak rölatif derinlik, yatay mesafe, debi ve başlangıç sıcaklık farkı kabul edilerek çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde en büyük R^2 değeri 0.82 olarak hesaplanmıştır. 4 bağımsız değişkene bağlı olarak bulunan formül aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$U/(H/T) = 2.7662 * z/z_0 - 0.0001 * L - 0.0080 * DT - 0.0181 * Q \quad (15)$$

Sazlıklı yapılan deney sonucunda (14) ve (15) denklemleri incelendiğinde debinin katsayısının sazlıksız deneyde 0.0181 iken sazlıklıda 0.0329 olduğu görülmektedir. Katsayılar arasındaki fark debi etkisinin, sazlıklı deneylerde arttığını göstermektedir. Yatay mesafenin katsayılarına bakıldığında sazlıklıda 0.00004 olan katsayı sazlıksızda 0.0001'e çıkmaktadır. Söz konusu artış, sazlığın ortama dâhil olmasıyla yatay mesafenin etkisinin düştüğünü, başka bir deyişle sazlık direncinden kaynaklanan etkiyi göstermektedir. Benzer şekilde sıcaklık farkının katsayılarına bakıldığında sazlıklıda 0.0066 olan değer sazlıksızda 0.0080 olarak değişmektedir. Söz konusu değişim, başlangıç sıcaklık farkının etkisinin sazlık nedeniyle düştüğünü göstermektedir. Yatay mesafe ve başlangıç sıcaklık farkı katsayıları küçük bir oranda değişmesine rağmen debi katsayısı büyük miktarda değişmektedir, böylece hızın da düşeceği aşikârdır. Daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda da (Çelik, 2004) sazlığın etkisiyle hızlarda düşüşlerin meydana geldiği ifade edilmektedir. Burada da benzer bir durum ortaya çıkmaktadır.

Sonuçlar ve öneriler

Denklem 14 ve 15'te verilen bağıntılar sırasıyla sazlıklı ve sazlıksız alıcı ortamlar için türetilen ifadelerdir. Bu iki denklemin farkı alındığında sazlığın etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu fark denklem 16'da verilmiştir. Denklemdaki s indisi sazlığı temsil etmektedir.

$$[U/(H/T)]_s - [U/(H/T)] = 0.6795 z/z_0 + 0.00006 * L + 0.0014 * DT - 0.0148 * Q \quad (16)$$

Denklem (15) yardımıyla, sazlıksız ortamda deşarj debisi, yatay mesafe, sıcaklık farkı ve bağıl derinlik değerleri bilindiği takdirde sazlıklı ortamdaki bağıl hız değerleri hesaplanabilecektir. Önerilen denklemlerin, rölatif akım derinliğinin (z/z_0) 0.8'den küçük olduğu bölgede geçerli olduğu hatırlanmalıdır. Bu oranın daha büyük değerlerinde sıcaklığın sabit olduğu kabulü yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada, sazlık etkisi ile düşey sıcaklık yayılımının azaldığı görülmüştür. Özellikle sazlık etkisiyle 3. bölge içerisindeki sıcaklık gradyanı değişimi belirgin bir şekilde düşmektedir. Düşey dispersiyonu inceleyen Nepf (1999) aynı noktayı ifade etmiştir. Bunun, çevrinti ölçeklerinin sazlık etkisi nedeniyle düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Nepf, 1999).

Analiz yöntemi olarak kullanılan çoklu regresyon, benzer akım ortamlarının analizlerinde daha önce de kullanılmıştır. Örneğin Howe ve diğerleri (2005) nehir ağzındaki hidrodinamik yapıyı belirlemek için çoklu regresyon analizi yöntemini kullanmışlardır. Söz konusu çalışmada da akım özellikleri ve hidrolojik özellikler kullanılmıştır.

Genel olarak sazlıksız ortamda hız ve sıcaklık değişimleri konusunda birçok çalışma yapılmış ve çeşitli yaklaşımlarla değişik formüller ortaya konmuştur. Ortaya konan bu yaklaşım ve formüller yardımıyla çeşitli nümerik modeller oluşturularak, çevresel güvenlik kriterlerine uyan en iyi çözüm belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan nümerik çözümlerle bulunan sıcaklık değişimleri ile arazide ölçülen değerler arasında büyük benzerlik görüldüğü çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Nümerik modellerle çok iyi yaklaşımlar ortaya konmasına rağmen, ortamda sazlık olduğu takdirde meydana gelen değişimler tam olarak ifade edilememektedir. Bu noktada, yürütülen çalışmada sazlıklı ve sazlıksız ortamlar arasında bir ilişki ortaya konarak, sazlık etkisiyle alıcı ortamda meydana gelen farklılıklar bir

formülasyona bağlı olarak ifade edilmeye çalışılmıştır. Ortaya konan sonuçlar, bu deneysel çalışma kapsamında ve koşullarında geçerlidir. Bu konuda yapılacak başka çalışmalarla daha genel yaklaşımların ortaya konulması gereklidir. Özellikle sazlık özelliklerinin değişiminin olaya etkisinin araştırılması kuvvetle önerilebilir.

Kaynaklar

- Carollo, F. G., Ferro, V. ve Termini, D., (2002). Flow velocity measurements in vegetated channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 664-673.
- Çelik, A.O., (2004). Sazlık ortamdaki açık kanal akımında hız profilleri, türbülans özellikleri ve eğilmenin akıma etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Howe, A., Rodriguez, J., MacFarlane, G., (2005). *Vegetation-sediment-flow interaction in estuarine wetlands*, Australian Research Council Report No: LP0358539.
- Jaw, S. Y. ve Chen, C. J., (1998). Present status of second-order closure turbulence models: I: Overview, *Journal of Engineering Mechanics*, 124, 485-501.
- Lee, J.K, Roig, L.C., Jenter H.L. ve Visser, H.M., (2004). Drag coefficients for modeling flow through emergent vegetation in the Florida Everglades, *Ecological Engineering*, 22, 237-248.
- Lightbody, A.F. ve Nepf, H.M., (2006). Prediction of velocity profiles and longitudinal dispersion in emergent salt marsh vegetation, *Limnology and Oceanography*, 51, 218-228.
- Nepf, H.M., (1999). Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation, *Water Resources Research*, 35, 479-489.
- Ruben, H. ve Atkinson, J., (2001). *Environmental fluid mechanics*, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel.
- Schmid, B., H., Hengl, M.A. ve Stephan U., (2004). Salt tracer experiments in constructed wetland ponds with emergent vegetation: Laboratory study on the formation of density layers and its influence on breakthrough curve analysis, *Water Research*, 38, 2095-2102.
- Winterwerp, J. ve Van Kessel, T., (2003). Siltation by sediment-induced density currents. *Ocean Dynamics*, 53, 186-196.