

# İnce taneli kuma sahip sahillerde sahil drenajının erozyona etkisinin deneysel olarak incelenmesi

Şenol DÜNDAR\*, M. Sedat KABDAŞLI

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

## Özet

Plajlar ince kumlardan iri kayalara kadar değişen büyüklükte kayaların birikmesiyle oluşmuş jeolojik bölgelerdir. Plajlar kara, hava ve deniz birleşiminde yer almakta olup morfolojileri dalga mekaniği, katı madde özellikleri ve mekaniği, plaj yeraltı suyu akımı ve mekaniği ile rüzgar etkilerinin etkileşimine bağlıdır. Sahil drenajı, sahil altına yerleştirilen perfore drenaj boruları vasıtasıyla dalga ve yeraltı sularının drene edilmesi ve böylece yeraltı su seviyesinin düşürülmesi ile sızma oranının artırılması prensibine dayanır. Araştırmada ince taneli kuma sahip sahillerde sızma oranının artırılması ile erozyonun nasıl değişeceği deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın amacı değişik dalga özelliklerinin etkisinde drenaj borusunun farklı konumlarında profil şeklinin ve drenaj debisinin tayin edilmesidir. Bu amaçla fiziksel bir model geliştirilmiş ve basit analitik çözümler önerilmiştir. Bu çalışmalar daha sonra düzenli dalga koşullarında yapılan laboratuvar çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Drenaj debisinin tahmini, inşaa edilecek su toplama kuyusunun hesabında ve bu kuyudan suları denize deşarj edecek pompa kapasitesinin tayininde kullanılmaktadır. Öte yandan, değişik dalga ve drenaj borusu yerleşim yerleri için erozyon alanının tahmin edilmesi, kıyı duvarları ve kıyı kaplamaları gibi çeşitli yapıların stabilitelelerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada hem drenaj debisi hem de erozyon alanı parametrelerinin tahmini için denklemler önerilmiştir. Sahil drenajı ile erozyon alanında azalma yaşanmıştır. Bunun nedeni olarak yer altı su seviyesinin düşmesi ile sızma oranında artma ve buna mukabil katı madde efektif ağırlığında artış söylenebilir. Profil verileri incelendiğinde erozyon alanındaki artışın en önemli nedeni ise dalga tırmanma yüksekliğinde yaşanan azalma görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sahil drenajı, erozyon, stabilizasyon.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Şenol DÜNDAR. s.dundar@iku.edu.tr; Tel: (212) 502 77 49.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Sahil drenajı yönteminde drenaj debisi ile erozyon miktarı ilişkisinin deneysel olarak incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 25.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 27.01.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Dündar, Ş., Kabdaşlı, M.S., (2010) 'İnce taneli kuma sahip sahillerde sahil drenajının erozyona etkisinin deneysel olarak incelenmesi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 85-94" şeklinde atıf yapılabilir.

## Experimental investigation of the effects of beach drainage on erosion in fine-grained beaches

### Extended abstract

*Beaches play important roles in both the dissipation of wave energy and for the recreational purposes. They are generally in dynamic equilibrium. But, due to increasing industrial activities and population, human interference into the beaches occurs and the dynamic equilibrium deteriorates.*

*In order to control the cross-shore and alongshore sediment transport in eroding beaches, some structures like breakwaters, groins, seawalls are constructed. These structures are composed of massive concrete blocks which lead to loss in aesthetic vision. Moreover, these structures are very difficult to relocate after construction.*

*Beach drainage is an erosion control method studied in-situ, laboratory and numerically and offers an alternative to massive coastal control structures. Main philosophy lying under this method is lowering the water table and increasing the infiltration through the sediment matrix. As the infiltration rate increases, the probability of liquefaction and effective weight reduction of sediments will be reduced. Also, water that infiltrates during the wave runup will lead to reduction in flow velocity during both in runup and run-down phases. This reduction in flow velocity will lead to reduction in shear stresses.*

*Recently, some numerical studies claim that for fine sediments, in case of infiltration, erosion occurs due to offshore migration of sediments. On the other hand, reports of in-situ investigations reveal that, in case of infiltration either the beach accretes or the erosion is reduced.*

*Experiments are conducted in a narrow flume with 22m in length, 1m in width and 80cm in depth. Slope of beach profile is always kept constant (1:5), the profile and drainage flow rate data are measured. The median grain size of the sediment is  $d_{50}=0.3$  mm. The diameter of the drainage pipe is 50mm and is laid all width of the flume. The pipe is perforated in 8mm holes to allow the water suction. Geotextile sheet is wrapped over the pipe to prevent the holes from sediment clogging. 6 drainage pipe locations are determined; beach profiles and drainage flow rates are measured in these locations.*

*Between the beach head and the ground water trench, geotextile filter layer is placed to prevent clogging of the holes, which allow the ground water flow through the beach. Ground water level is always kept constant in all experiments as the same as the still water level.*

*According to the experimental analysis, the waves which have lower height than 5.5 cm do not result in erosion in the profile in no-drain case. The area of the erosion is almost linearly increasing with wave height. In case of drainage, the wave height which does not result in erosion in the profile is observed as 8cm. Center of gravity of the offshore bar migrates landwards as the drainage pipe location approaches the intersection of beach profile and still water line.*

*There is no direct relation between the drainage flow rate and erosion area. The important factor is that whether the runup/rundown wave water or the existing ground water is drained. The ground water is drained as the pipe location migrates landwards. According to the experimental analysis results, the most obvious reduction in the erosion area is observed when the pipe is placed in location (2).*

*When the data measured in location (2) is compared with no-drain data, erosion area reduction rate is reduced when the wave height is increased. When the wave height is increased up to 25 cm, drainage has no advantage to reduce erosion*

*Dimensionless drainage flow rate and dimensionless erosion area parameters are derived analytically by using the data measured in pipe locations of 1, 3, 4 and 5. Derived equations are verified by using locations 2 and 6.*

*The increase in the infiltration rate by lowering the water table leads to reduction in the effective weight of the sediments and decrease in the flow velocity of the runup/rundown swash flows. When the profile graphs are investigated, the main reason for the erosion reduction should be the reduction of the wave runup height. Increase in the infiltration rate leads to reduction of the wave runup wave flow velocity and quantity, resulting in the decrease of runup limit of water waves. In the down-rush phase, the flow velocity is also reduced and the ability to carry sediments is decreased.*

**Keywords:** Beach drainage, dewatering, erosion, stabilisation.

## Giriş

Plajlar ince kumlardan iri kayalara kadar değişen büyüklükte kayaların birikmesiyle oluşmuş jeolojik bölgelerdir. Plajlar kara, hava ve deniz birleşiminde yer almakta olup morfolojileri dalga mekaniği, katı madde özellikleri ve mekaniği, plaj yeraltı suyu akımı ve dinamiği ile rüzgar etkilerinin etkileşimine bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı plaj morfolojisi dinamik bir yapıya sahiptir. Öte yandan yerküre üzerindeki farklı bölgelerde farklı dalga iklimleri görülse de kıyı bölgelerinin bileşimleri farklılık arzetsede sahillerin doğası ve davranışları büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Tarih boyunca insanlar okyanusla karanın buluştuğu bu bölgelere yapılar inşa etmektedirler. Limanlar tarih boyunca deniz kuvvetleri için üs, ticari ulaşım amacıyla kullanıldığından da medeniyetin merkezleri olmuşlardır. Birleşmiş milletler USES (2006) raporuna göre, dünyanın en kalabalık on kentinden sekizi kıyı şeridinde bulunmaktadır.

20. yy başlarında iki milyar olan dünya nüfusu 21. yy başlarında altı milyara ulaşmıştır. Dünya nüfusunun %44'ü kıyı şeridinden 150 km uzanan bölgede yaşamaktadır. Bu rakam 1950 yılında yerküre üzerindeki insan nüfusundan fazladır. Kıyı şeridinde nüfus hızla artmaktadır. Artan nüfusla beraber, insanlar ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ziraat yapmakta, evler ve fabrikalar inşa etmektedirler. Buna bir de sahil turizmi eklenince insanlar bu bölgedeki yapılarını,

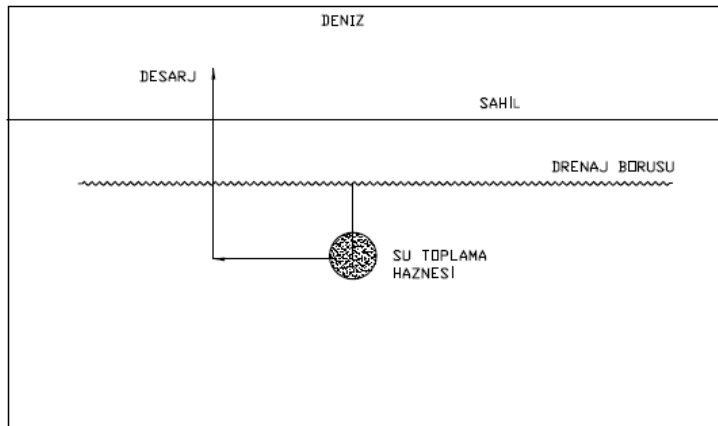
ürünlerini ve canlarını korumak amacıyla kıyı koruma yapıları inşa etmektedirler. Böylece insanlar kıyıda meydana gelen doğa olaylarına müdahale etmektedirler.

Sahil drenajı, plajdaki yeraltı suyunun düşürülmesi ile erozyonu azaltmak amacıyla 1940'lı yıllarda Bagnold (1940) tarafından önerilmiş ve günümüze kadar çeşitli laboratuvar deneyleri, nümerik analizler ve saha çalışmaları ile çalışılmış bir erozyon kontrol yöntemidir. Yeraltı su tablasının düşmesi ile, gelen dalgalar zemine sızabilecek ve dönen dalga hacmi ve momentumu azalacaktır. Ayrıca zeminin doygun olması halinde oluşabilecek sıvılaşmayı engelleyeceğinden katı madde taneleri arasındaki sürtünme artacak ve erozyonda azalma yaşanacaktır.

En genel halde sahil drenajı etki alanının plan görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Sahil çizgisine paralel döşenmiş drenaj boruları vasıtasıyla toplanan sular cazibe ile bir hendeğe aktarılmaktadır. Bu hendekten ise pompa vasıtasıyla denize geri gönderilebileceği gibi, bu sular kumun içerisinden geçerken arıtılmış olacağından akvaryum gibi tesislere de gönderilebilir.

## Literatür özeti

Sahil drenajı kavramının kökeni 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Bu yıllarda Bagnold (1940) erozyon kontrolünde sahil yüzü geçirimsizliğinin rolünü, Grant (1946, 1948) ise sahil yer altı suyunun gelgite bağlı dinamiğini incelemişlerdir.



*Şekil 1. Sahil drenajı etki alanı, plan görünümü*

Bagnold (1940), dalga tırmanması esnasında enerjinin iki yolla sönmülenebileceğini ifade eder. Birincisi içsel akışkan sürtünmesi ve taban pürüzlülüğü, diğeri ise geri dönmeyen ve zemine sızan dalga sularının oluşturacağı potansiyel enerji kaybıdır. Ayrıca, sahil yüzü eğiminin, herhangi bir seviye üzerinde sönmülenen tırmanma enerjisinin bu seviyeden geçen toplam tırmanma enerjisine oranının bir fonksiyonu olduğunu ifade eder. Buna göre, sahil drenajı ile yer altı su seviyesi düşürülür ve tırmanan dalgaların zemine sızması sağlanırsa belirli bir seviye üzerinde sönmülenen dalga enerjisi artırılmış olur. Böylece sahil yüzü eğimi de artacak ve daha dik hale gelecektir.

Grant (1946, 1948), düşük yer altı su seviyesine sahip sahillerde dalga, çalkantı bölgesinde tırmanırken doygun olmayan zeminde yer altı suyuna doğru sızacağını belirtir. Bu sızma sonucunda hem tırmanan hem de çekilen dalga sularının hızı ve miktarının azalacağını ve hız katı madde taşınımı için gerekli minimum değer altına düştüğünde, akımın türbülanslı halden laminer hale dönüşeceğini ortaya koymaktadır.

Yer altı su seviyesindeki değişimin sahil erozyonuna etkisini laboratuvarında ilk inceleyenler Machemehl ve diğerleri (1975) olmuştur. Değişik yükseklikteki dört dalga ile deney yapmışlar ve sahildeki suyun drenajı ile sahil önünde kum birikmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Günaydın ve diğerleri (2001), yer altı su seviyesinin yapısal etkilerle ani yükselme ve alçalma göstermesinin, gözönüne alınan kıyının dinamik denge profiline etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada dalga dikliğindeki artışın erozyon alanını arttırdığı, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumda aynı dalga dikliği değeri için daha fazla erozyon oluştuğu belirtilmektedir.

Sato ve diğerleri (1994), drenaj borularının hangi konumda en az erozyon oluşturacağını bulmak amacıyla yaptıkları deneylerde, birikme sağlayan dalga koşullarında drenaj ile birikmenin arttığını belirtmişlerdir. Erozyon oluşturan dalga koşullarında ise drenaj uygulanan kesimde birikme yaşanmasına karşın, drenaj uygulanma-

yan kesimde erozyon meydana gelmiştir. Drenaj borusu sahil çizgisinin denize bakan tarafına yerleştirildiğinde erozyon daha az ölçülmüştür.

Sahil drenajını sahada ilk uygulayanlar Chappel ve diğerleri (1979) olmuştur. Avustralya South Wales'in güney kıyılarında yer alan Durras sahilinde yer altı suyu pompalar vasıtasıyla çekilerek düşürülmüş ve bu kesimde birikme gözlenmiştir. Yaptıkları ikinci set deneylerde ise sahildeki morfolojik değişimler değil, çalkantı bölgesinde tırmanan ve çekilen dalga sularının akımı niteliksel olarak gözlenmiştir. Buna göre, gelgit yükselirken sadece su çekilen bölgede güçlü sızma hareketi gözlenmiştir.

## **Yeraltı suyu dinamiği ve katı madde mekaniği**

### **Yeraltı suyu dinamiği**

Sahil akiferi sığ, dinamik ve serbest yüzeyli akiferdir. Su tablası genel olarak ortalama deniz seviyesinin sahil içerisindeki devamı olarak kabul edilir. Daha doğru bir tanım ise boşluk suyu basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu yüzeydir.

Yeraltı suyu salınımları iki şekilde olabilir. İlki gelgit seviyesindeki değişim sonucu sahil yüzünde sınır şartlarının değişimi sonucu oluşan yatay kütle transferi, ikincisi ise dalga tırmanması ve çekilmesi sonucu oluşan lokal kütle transferidir (Li vd, 1997b). Deniz seviyesi salınımları neticesinde sahil yüzü ve deniz seviyesi kesişim noktası değişeceğinden sınır şartı değişmiş olur. Lokal kütle transferi ise, su tablası üzerinde basınç gradyanındaki değişimler sonucunda oluşur.

Su tablasının yüzeyi genel olarak düz değildir. Gelgit yükselirken karaya doğru, düşerken ise denize doğru eğim alır. Yeraltı suyu salınımları karaya doğru sönmülenerek hareket ederler. Bu salınımlara yeraltı suyu dalgaları da denmektedir. Öte yandan su tablası, gelgit seviyesiyle karşılaştırıldığında hızlı yükselir ancak yavaşça düşer. Bunun nedeni akiferin iletkenliğinin su tablası seviyesiyle orantılı olmasıdır.

Kumlu sahillerde gelgit etkisi altında yer altı su akımını modellemek için Darcy Kanunu ve sü-

reklilik denklemi birlikte ele alınarak elde edilen Boussinesq denklemi kullanılabilir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{n} \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Bu denklemde ana kabul sığ bir akiferde yer altı suyu akımının Dupuit-Forchheimer yaklaşımıyla açıklanabilmesidir. Bu teoride düşey akım bileşeni ihmal edilip, akımın sadece yatayda olduğu kabul edilmektedir. Alt kısmı geçirimsiz bir tabaka ile sınırlanan sahillerde bu kabul uygun sonuç vermektedir.

Öte yandan sahil drenajı gibi yapay olarak drene edilen sahillerde Dupuit-Forchheimer kabulü geçerliliğini yitirir. Bu durumda sahil akiferi iki boyutlu bir sistem olarak çözümlenmelidir. Li vd. (1996) bu durumda yer altı suyu akımını modellemek için aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

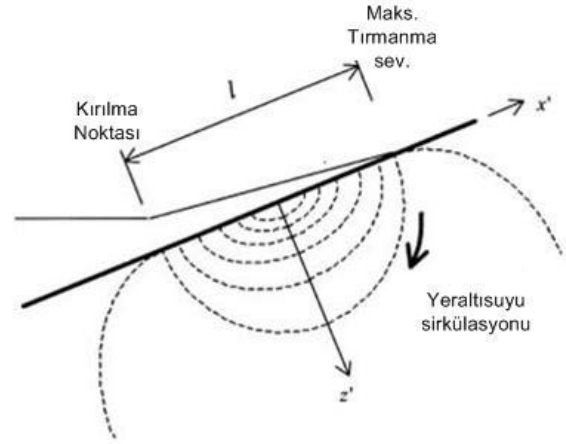
$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{s} \left( \frac{\partial H}{\partial z} - \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Teorik olarak dalga tırmanması esnasında suyun maksimum tırmanma seviyesi civarından sızıp, dalganın kırıldığı bölgeden dışarı sızacağı kabul edilir. Li ve Barry (2000), nümerik simulasyon ile tırmanan dalga sularının bir akım çizgisi üzerinde hareket edeceğini ve sirkülasyonunu tamamlayıp sahilin daha alt bölümünden dışarı sızacağını belirtmişlerdir. Şekil 2’de sirkülasyon hücreleri şematik olarak gösterilmektedir. Austin ve Masselink (2006) ise tırmanan suların bir kısmının sirkülasyonunu tamamlayıp dışarı sızdığını, fakat bir kısmının da karaya doğru hareket ettiğini belirtmişlerdir.

Kaba taneli kumlar ve çakıllar hariç, serbest yüzeyli akiferlerde, su dinamiği kapiler saçaktan etkilenir. Gillham (1984), kapiler saçığa sahip sığ su tabakalarının sızma ile aşırı tepki göstereceklerini belirtir. Akifere az miktarda su ilavesiyle su tablasının ani ve büyük miktarda yükselme yaşayacağını belirtmiştir. Li ve diğerleri (1997a) dalga tırmanmasının kıyı akiferine etkilerini incelemişler ve kapilarite etkilerinin yüksek frekanslı salınımlar için önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Kapilarite terimlerini belir-

ten bir terim olmadan yer altı suyu modellerinin yüksek frekanslı su tablası salınımlarını ifade edemeyeceğini öngörmüşlerdir. Nielsen ve diğerleri (1997) kapiler etkileri içeren denklemi aşağıdaki şekilde önermişlerdir.

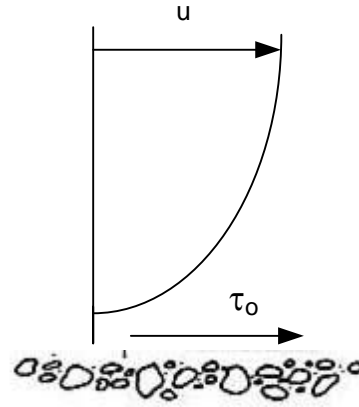
$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{s} \tan \left( d \frac{\partial}{\partial x} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{B_c}{s} \frac{\partial}{\partial t} \left[ \tan \left( d \frac{\partial}{\partial x} \right) \frac{\partial h}{\partial x} \right] \quad (3)$$



Şekil 2. Yer altı suyu sirkülasyon hücreleri (Li ve Barry, 2000)

### Kıyılarda katı madde mekaniği

Dalgalar tarafından taşınan katı maddeler kıyıya dik ve kıyı boyu olmak üzere iki yönde taşınabilir. Kıyıya dik taşınım fırtına halinde açığa, hafif dalga etkisinde ise karaya doğru gerçekleşecektir. Deniz ortamında tabanda meydana gelen katı madde hareketinin ana sebebi dalga, akıntı veya bunların beraber etkisiyle oluşan kayma gerilmesidir. Tabanda oluşan kayma gerilmeleri Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Taban kayma gerilmesi (Sümer vd., 1984)

## Sızma etkileri

Dalgalar sahil yüzünde tırmanırken ve çekilirken, sızma ve dışarı sızma neticesinde karşıt etkiler oluşmaktadır. Bu etkiler katı madde tane çapı ve yer altı su seviyesi ile ilgilidir. Buna göre, ince taneli bir sahilde yer altı su seviyesinin düşük olduğu durumda, dalga tırmanırken su zemine doğru sızacaktır. Dalga suları zemine sızarken katı maddeleri sahil yüzüne doğru bastıracağından katı madde efektif ağırlığını artıracaktır. Buna karşın, sızma ile, sahil yüzündeki katı maddeler ile su arayüzünde oluşacak sınır tabakası incelediğinden kayma gerilmelerinde bir miktar artış olacaktır. Ayrıca zemine doğru sızma olması durumunda tırmanan dalga suyu miktarı ve enerjisi, çekilen dalganınkinden fazla olacaktır. Bunun neticesinde dalga tırmanma yüksekliğinde azalma yaşanacak ve çekilen dalga suyu miktarı ve hızı azalacağından kayma gerilmelerinde azalma neticesinde erozyonda düşüş gözlenecektir.

İnce kuma sahip sahillerde efektif ağırlık değişiminin, kaba kumlu sahillerde ise sınır tabakası kalınlığındaki değişimin getireceği etkilerin baskın olacağı Nielsen ve diğerleri (2001) ve Turner ve Masselink (1998) tarafından ortaya konmuştur.

Buna göre, ince kumlu sahillerde dalga tırmanırken sızma olması durumunda katı madde efektif ağırlığının artması ile taneler harekete karşı direnç hissedeceklerdir. Sınır tabakası etkileri daha az rol oynayacaklardır. Böylece tırmanırken katı maddelerin taşınımı azalmış olacaktır. Yer altı suyunun düşük olduğu halde veya sahil drenajı yapılması halinde, dalga suları çekilirken dışarı sızma yaşanmayacaktır. Böylece, katı madde efektif ağırlığında azalma görülmeyeceğinden tanelerin açığa taşınımında azalma yaşanacaktır.

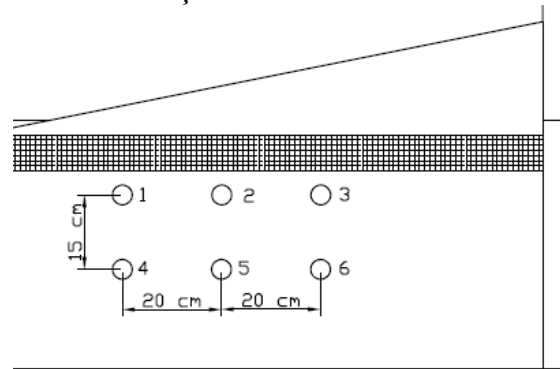
Kaba taneli kuma sahip sahillerde ise sınır tabakasındaki değişimin etkileri katı madde efektif ağırlığındaki değişimin ortaya çıkaracağı etkilere baskın olacaktır. Buna göre dalga tırmanırken, yer altı su seviyesi düşük ise veya sahil drenajı yapılıyor ise, tırmanan dalga suları yeraltına sızacaktır. Sızan sular katı madde efektif

ağırlığında bir artışa neden olsa da, sınır tabakasının incelenmesi ve akım çizgilerinin birbirine yaklaşması neticesinde kayma gerilmeleri artacaktır. Böylece dalga tırmanırken katı maddeleri de yukarı yönde taşıma eğilimi gösterecektir. Dalga suları geri çekilirken ise, yer altı su seviyesi, sahil drenajında olduğu gibi, yükselmez ise dışarı sızmayacaktır. Böylece açığa taşınımında bir azalma sözkonusu olacaktır.

## Deney düzeneği ve yöntem

Sahil drenajı deneylerinin tamamı İstanbul Teknik Üniversitesi, Hidrolik Laboratuvarında bulunan 22.5 m uzunluğunda, 1m genişliğinde ve 80 cm derinliğindeki dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde şev eğimi (1:5) ve katı madde tane boyu  $d_{50}=0.3\text{mm}$  olan kum kullanılmıştır. İlk set deneylerde, değişik özellikteki on adet dalga etkisinde drenajsız durum için profil okumaları alınmıştır. İkinci set deneylerde, dalga yüksekliği 8.5 cm, 14.3 cm ve 18.7 cm olan üç adet dalga seçilmiş ve bu dalgaların etkisinde kanalın yan kısmında açılan altı farklı delikten drene edilen su debileri ve profil okumaları alınmıştır. Üçüncü set deneylerde bu altı adet delikten en düşük erozyon alanı oluşturanı seçilmiş ve bu konuda drenajın erozyona etkisi incelenmiştir. Dördüncü set deneylerde ise en düşük erozyon alanı oluşturan drenaj deliği konumunun 15 cm altına açılan delik seçilmiş ve deneyler bu konumdaki drenaj borusu için tekrarlanmıştır.

Drenaj borusu konumları Şekil 4'te görülmektedir. Bu konumlar konum parametresi  $Y_b/X_b$ 'nin tüm konumlarda farklı değerler alması öngörülerek belirlenmiştir.



Şekil 4. Drenaj borusu yerleşim konumları

Drenaj borusu, 50 mm çapında, kanalın tüm genişliği boyunca uzanan perfore PVC borudur. Boru üzerinde her sırada 31 delik olmak üzere 7 sıra delik açılmıştır. Delik çapı 8 mm'dir. Borunun her iki ucu pleksiglas kapak ile kapatılmıştır. Yalnızca, drenaj sularının alınacağı taraftaki pleksiglas kapak 4 cm çapında delinmiş ve delinen kısma PVC boru ve vana sistemi entegre edilmiştir. Öte yandan, drenaj borusunun etrafı geotekstil örtü ile sarılarak kumun deliklerden girişi önlenmiştir. Benzer şekilde, şevin baş kısmı ile yer altı suyu hendeği arasında kalan kısma da kumun geçişine izin vermeyen geotekstil örtü konulmuştur. Böylece kum malzemenin deliklerden geçip hendeğe akması önlenmiştir.

### Deney sonuçları

Her deneyde başlangıç profili, dengeye gelinceye dek dalga etkisine maruz bırakılmıştır. Dalga yüksekliği ve periyodu, dalga problemleri vasıtasıyla kaydedilmiştir. Drenajlı deneylerde drene edilen su, 1.15m uzunluğunda ve 1.10m genişliğinde bir hendeğe akıtılmış ve bir dalga probu vasıtasıyla sürekli ölçüm alınmıştır.

Profil okumaları, şev boyunca her üç cm'de bir olmak üzere limnimetre ucuna takılan bir metal ile ölçülmüştür.

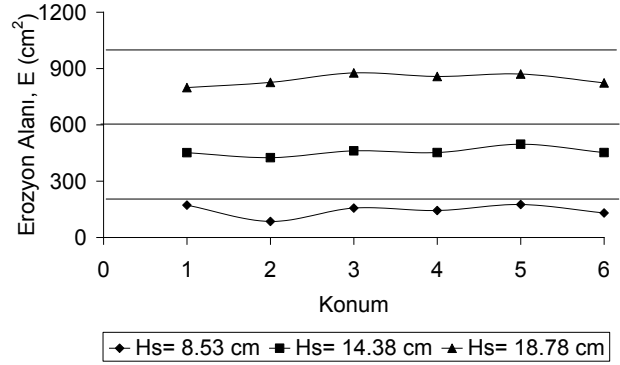
### Drenaj borusu yerleşim yerinin erozyona etkisi

Dalga üretici vasıtasıyla üretilen on adet dalgadan üç tanesi boru konumunun etkisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Şekil 5'te, drenaj borusunun altı konumunda da bu üç dalga etkisinde erozyon alanı ölçümleri görülmektedir. Yatay çizgiler belirlenen dalgaların etkisinde drenajsız durumdaki erozyon alanı değerini göstermektedir.

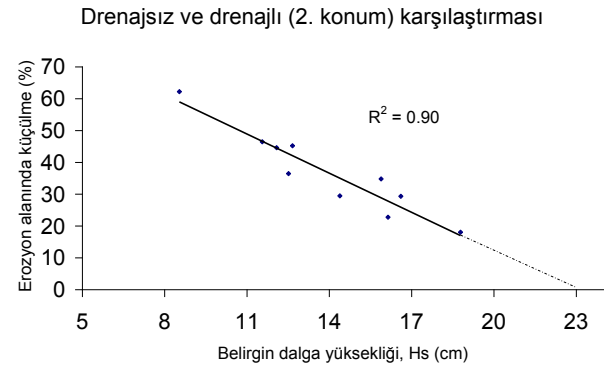
Şekil 5'ten görüleceği üzere, her üç dalga etkisinde de drenajlı durumda erozyon alanında düşüş yaşanmıştır. Boru (2) konumunda iken yaşanan azalma ise diğer konumlara göre daha belirgin gözükmemektedir.

En düşük erozyon alanı ortaya çıkaran (2) konumu ile drenajsız durum karşılaştırılmış ve

drenaj ile erozyon alanındaki yaşanan düşüş yüzdesi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Drenaj borusu yerleşim yerinin erozyona etkisi



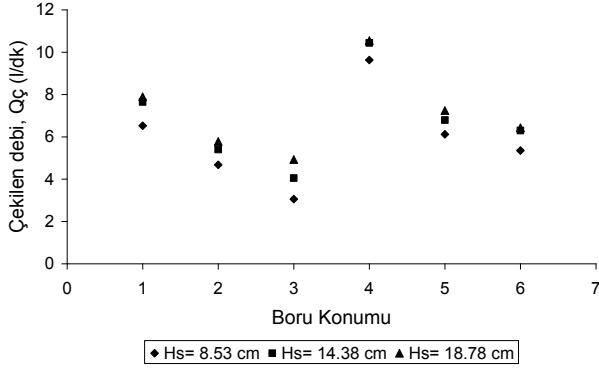
Şekil 6. Drenajın erozyon alanına etkisi (drenaj borusu 2. konumda)

Şekil 6 incelendiğinde, drenajın erozyonu azaltma etkisinin belirli bir dalga yüksekliğine kadar olduğu, bu değerden sonra drenajın etkisini yitirdiği görülebilir. Buna göre, sahil drenajının uygulanacağı sahile gelen dalga özelliklerinin incelenmesi ve sistemin efektif kullanılmasının uygun olacağı dönemlerin belirlenmesi gereklidir.

Altı adet konumdan çekilen debiler incelendiğinde, boru konumu denize yaklaştıkça çekilen debi miktarında artış gözlenmektedir. Ayrıca, aynı aksta boru üzerindeki hidrolik yük arttığından dolayı derine yerleştirilen borudan daha büyük debi çekilmektedir. Şekil 7'de drenaj debisinin konuma göre değişimi verilmiştir.

Öte yandan çekilen su miktarından ziyade, suyun nereden alındığı önem kazanmaktadır. Do-

layısıyla, drene edilen su miktarı ile erozyon arasında doğrudan bir ilişki söz konusu değildir. Örneğin, drenaj borusu (4) konumunda iken çekilen debi çok büyük olmasına karşın erozyon alanını minimize eden konum (2) olmuştur.



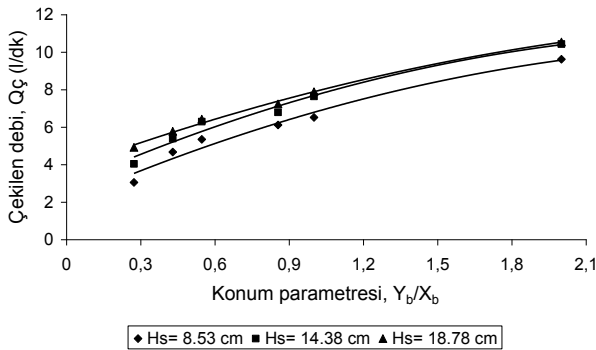
Şekil 7. Konumlara göre drene edilen su debileri

Bu nedenle hem erozyon alanının tahmininde hem de drenaj debisinin hesaplanabilmesinde konum parametresi önerilmiştir.

### Boyutsuz parametreler ve verilerin tahmini

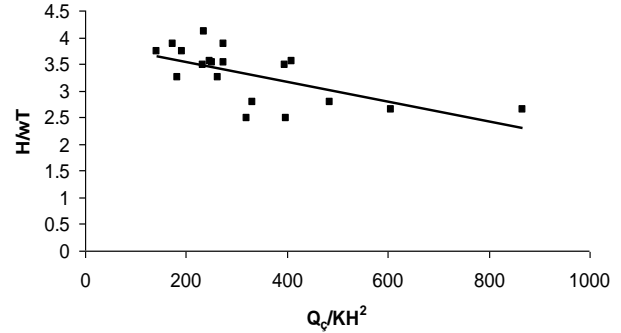
Boyutsuz erozyon alanı ve drenaj debisinin tayini için konum parametresi ( $Y_b/X_b$ ) önerilmiştir.

Drenaj debisini etkileyen en önemli parametre konum parametresidir. Erozyon alanını ise dalga özellikleri kontrol etmektedir. Şekil 8’de konum parametresi ile drenaj debisi ilişkisi görülmektedir.



Şekil 8. Konum parametresi ile drenaj debisi ilişkisi

Öte yandan boyutsuz debi parametresi ( $Q_c/KH^2$ ) ile  $H/wT$  ilişkisi incelendiğinde aralarında ters orantı olduğu görülmektedir (Şekil 9).



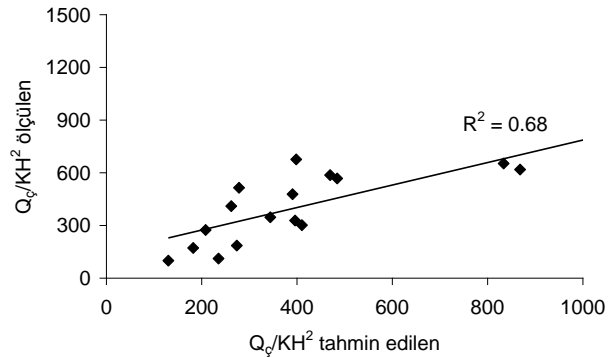
Şekil 9. Boyutsuz debi parametresi ile  $H/wT$  ilişkisi

Konum parametresi arttıkça drenaj debisi artmaktadır. Bir başka deyişle, boru denize doğru yaklaştıkça ve daha derine yerleştirildiğinde debide artış gözlenmektedir.

Boyutsuz debi parametresi elde edilirken 1, 3, 4 ve 5 konumlarının verileri kullanılmıştır. Elde edilen denklem 2 ve 6 konumlarının verileri ile kontrol edilmiştir. Boyutsuz debi parametresi,

$$\frac{Q_c}{KH^2} = 1332.9 + 240.1 \frac{Y_b}{X_b} - 348.5 \frac{H}{wT} \quad (4)$$

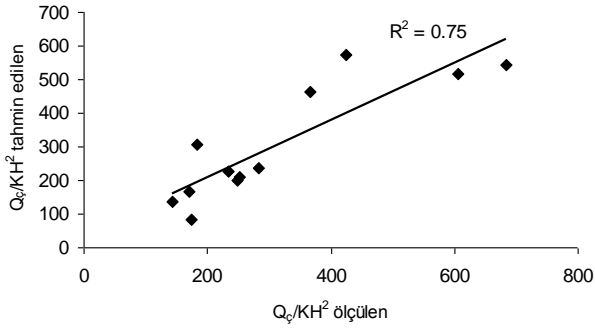
Elde edilen denklem, deneysel olarak ölçülen boyutsuz debi parametresi ile karşılaştırıldığında Şekil 10’daki gibi bir ilişki elde edilmektedir.



Şekil 10. Analitik olarak elde edilen ve deneysel olarak ölçülen debi parametresi ilişkisi

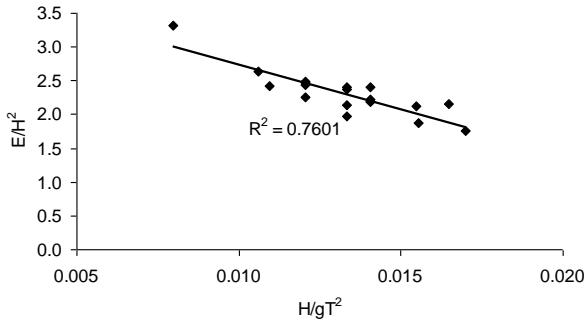


Elde edilen denklem 2 ve 6 konumları için elde edilen veriler ile kontrol edilmiştir. Bu ilişki Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Elde edilen debi parametresinin 2 ve 6 konumlarındaki veriler ile kontrolü

Öte yandan değişik dalgaların ve drenaj boru konumlarının etkisinde erozyon alanının tahmin edilmesi profil hakkında önemli bilgiler ortaya koyacaktır. Bu nedenle boyutsuz erozyon alanı parametresi ( $E/H^2$ ) önerilmiştir. Erozyon alanını etkileyen en önemli parametre dalga özellikleridir. Konum parametresinin etkisi zayıftır. Boyutsuz konum parametresi ile  $H/gT^2$  ilişkisi Şekil 12’de görülmektedir.



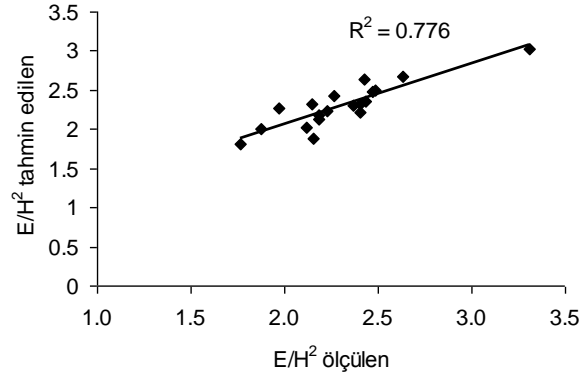
Şekil 12. Erozyon alanı parametresi  $H/gT^2$  ilişkisi

Boyutsuz erozyon alanı için önerilen denklem,

$$\frac{E}{H^2} = 4.1267 - 134.7 \frac{H}{gT^2} - 0.06 \frac{Y_b H}{X_b^2} \quad (5)$$

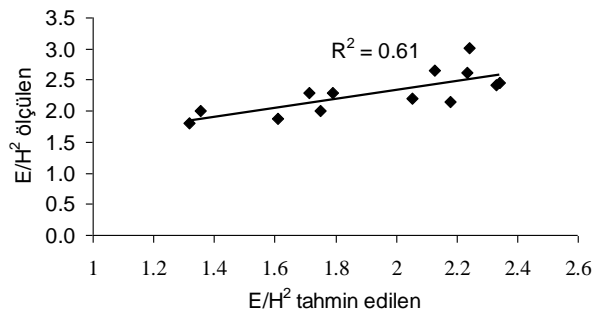
Yukarıdaki denklem drenaj debisi tahmininde olduğu gibi 1, 3, 4 ve 5 konumları için elde edilmiştir. Elde edilen denklem ile tahmin edi-

len değerler deneysel olarak ölçülen değerler ile karşılaştırılırsa Şekil 13’teki gibi bir ilişki ortaya çıkmıştır. Şekil 14’te ise 2 ve 6 konumlarının verileri ile elde edilen denklemin kontrolü görülmektedir.



Şekil 13. erozyon alanı parametresinin ölçülen ve tahmin edilen değerleri

Denklem (5)’ten görüleceği üzere, boyutsuz erozyon alanı parametresinin tahmininde konum parametresi  $H/X_b$  ile çarpılarak hesaba katılmıştır. Boyutsuz erozyon alanı parametresini etkileyen ana parametre  $H/gT^2$  dir. Bu iki parametrenin korelasyon katsayısı Şekil 12’de görüleceği üzere 0.76 mertebesindedir. Konum parametresinin  $H/X_b$  ile çarpılması ile elde edilen parametre hesaba katıldığında ise korelasyon katsayısının 0.776 mertebesine çıkması sağlanmıştır.



Şekil 14. Elde edilen erozyon alanı parametresinin 2 ve 6 konumlarındaki veriler ile kontrolü

## Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Altı adet drenaj borusu konumunun hepsinde drenaj, erozyonu azaltmıştır.

- Erozyon alanı ile drenaj debisi arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, suyun hangi konumdan çekildiği önem kazanmaktadır. Drenaj borusu yerleşim yeri sakin su seviyesi ile şev kesişim noktasına yaklaştıkça erozyon alanında azalma görülmüştür.
- Drenaj debisi dalga özellikleri ve boru konumu ile değişmektedir. Dalga yüksekliği arttıkça debi de artmaktadır. Öte yandan drenaj borusu derine gittikçe, borunun üzerindeki hidrolik yük artacağından debi de artmaktadır.
- Sahil drenajı, belirli bir dalga yüksekliği değerine kadar etkili olmaktadır. Bu değer üzerinde yüksekliğe sahip dalgalar için yöntem erozyon alanında bir etki yapmamaktadır.

## Kaynaklar

- Austin, M.J. ve Masselink G., (2006). Swash-ground water interaction on a steep gravel beach, *Continental Shelf Research*, **26**, 2503-2519.
- Bagnold, R.A., (1940). Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank. *Journal of the Institute of Civil Engineers*, **15**, 27-54.
- Birleşmiş Milletler, UNES Report: Human Settlements on the Coast, (2006).
- Chappel, J., Eliot, I.G., Bradshaw, M.P. ve Lonsdale, E., (1979). Experimental control of beach face dynamics by water table pumping, *Engineering Geology*, **14**, 29-41.
- Gillham, R.W., (1984). The capillary fringe and its effect on water table response, *Journal of Hydrology*, **67**, 307-324.
- Grant, U.S., (1946). Effect of ground-water table on beach erosion, Abstract, *The Bulletin of the Geological Society of America*, **57**, 1252.
- Grant, U.S., (1948). Influence of the water table on beach aggradation and degradation, *Journal of Marine Research*, **7**, 655-660.
- Günaydın, K., Kabdaşlı, M.S. ve Aydınkako, A., (2001). Yer altı su seviyesinin kıyı stabilitesine etkileri, *Türkiye'nin kıyı ve deniz alanları III. Ulusal konferansı, İstanbul*, 26-29 Haziran, 579-588.
- Li, L., Barry, D.A. ve Pattiaratchi, C.B., (1996). Modeling coastal ground water response to beach dewatering, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **122**, 6, 273-280.
- Li, L., Barry, D.A. ve Pattiaratchi, C.B., (1997a). Numerical modeling of tide-induced beach water table fluctuations, *Journal of Coastal Engineering*, **30**, 105-123.
- Li, L., Barry, D.A., Parlange, J.Y. ve Pattiaratchi, C.B., (1997b). Beach water table fluctuations due to wave runup: capillary effects, *Water Resources Research*, **33**, 5, 935-945.
- Li, L. ve Barry, D.A., (2000). Wave induced beach ground water flow, *Advances in Water Resources*, **23**, 325-337.
- Machemehl, J.L., French, T.J. ve Huang, N.E., (1975). New method for beach erosion control, *Proceedings, Engineering in the oceans, ASCE Specialty Conference*, 142-160.
- Nielsen, P., Aseervatham, R., Fenton, J.D. ve Perrochet, P., (1997). Groundwater waves in aquifers of intermediate depth, *Advances in Water Resources*, **20**, 1, 37-43.
- Nielsen, P., Robert, S., Christiansen, B.M. ve Oliva, P., (2001). Infiltration effects on sediment mobility under waves, *Journal of Coastal Engineering*, **42**, 105-114.
- Sato, M., Nishi, R., Nakamura, K. ve Sasaki, T., (1994). Short-term field experiments on beach transformation under the operation of a coastal drain system, *Proceedings, 1st International Conference on Soft Shore Protection*, Patrai, Greece, October, 2000, 171-182.
- Sümer, B.M., Ünsal, İ. ve Bayazıt, M., (1983). *Hidrolik*, Birsen Yayınevi.
- Turner, I.L. ve Masselink, G., (1998). Swash infiltration and exfiltration and sediment transport, *Journal of Geophysical Research*, **103**, 30813-30824.