

Tsunaminin geçirimli kıyılardaki tırmanma yüksekliğinin deneysel incelenmesi

Nuray GEDİK^{*1}, Emel İRTEM¹, M. Sedat KABDAŞLI²

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Çağış, Balıkesir

²İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Tsunamiler depremlerle tetiklenebilen zemin hareketleri, heyelanlar, kayma, göçme, çökme gibi olaylar ile oluşabilmektedir. Bu dalgalar kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek büyük hasarlara neden olurlar. Tsunamiler özellikle kıyı çizgisinde tırmanma bölgesinde daha etkili olduğu için tırmanma yüksekliğinin önceden tahmin edilebilmesi kıyı yapılarının boyutlandırılması açısından önemli olacaktır. Bu çalışmada tsunaminin geçirimli yüzeylerde tırmanma yüksekliği deneysel olarak incelenmiştir. 1:5 eğimde geçirimsiz yüzey pürüzsüz, düz saç levha kullanılarak oluşturulmuştur. Aynı eğimde geçirimli yüzey için dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı 2.63 gr/cm³ olan doğal plaj malzemesi kullanılmıştır. Tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler dalga yüksekliği, şev eğimi, su derinliği, eğimi oluşturan malzeme özellikleri olarak belirlenmiş geçirimli yüzeyler için ampirik bir ifade önerilmiştir. **Anahtar Kelimeler:** Tsunami, tırmanma yüksekliği, geçirimli kıyı, deney, eğimli kıyı, kum.

Experimental investigations on tsunami runup height on permeable beaches

Abstract

Tsunamis may be generated by earthquake-triggered movement of the sea bottom, landslides and collapses. With the change of nearshore bathymetry these waves progress towards inland and causes large damage. Prediction of runup height will play an important role in dimensioning coastal structure as tsunamis are more effective in the runup area at the shoreline. In the literature research on runup height, tsunami wave is liken to solitary wave and produced by horizontal movement of a vertical plate, which is a proposed by Goring (1978). In this study, for the simulation of sudden motion of the ocean bottom, tsunami wave generation system is developed by piston attached to an horizontal plate. The piston moves vertically. Experiments were carried out in the glass-side wall wave flume of 22.5 m length, 1 m width, and 0.50 m depth at the Hydraulics Laboratory, Civil Engineering Faculty, Istanbul Technical University. The beach was formed by natural beach sand and had a slope of 1 vertical to 5 horizontal. The specific gravity of sand was 2.63 g/cm³ and the diameter of sand was 0.35 mm. In the experiments it is observed that the waves are not broken. Water surface profiles and velocity values of the waves calculated and generated are compared. Runup height of tsunami waves on permeable beach is analysed and the experimental results, for impermeable slopes are compared with the runup law and it is seen that they are in consistency. Empirical equation are proposed for permeable beach by defining parameters effecting runup height, wave height, slope, water depth, and the characteristics of the material at the slopes.

Keywords: Tsunami, run-up height, permeable beach, experiment, slope beach, sand.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Nuray GEDİK. ngedik@balikesir.edu.tr; Tel: (266) 612 11 94 dahili: 164.

Makale metni 24.03.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 20.07.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Tsunamiler, depremler sonucu, deniz tabanındaki volkanik aktiviteler, taban çökmesi, toprak kayması veya su yüzeyine düşen göktaşı gibi şiddetli titreşim ya da kütle hareketine yol açan olaylarla oluşan uzun su dalgalarıdır. Bu dalganın sığ bölgelere geldiğinde gösterdiği dalga profili solitary, knoidal veya N dalga biçimine benzetilebilir. Tsunami ilk oluştuğunda genellikle tek bir dalga biçimindedir. Tsunamiler dalganın altında bulunan su moleküllerinin birbirini iterek yer değiştirmesi ile hareket ederler. Kıyılara gelen dalga denizin önce geri çekilmesi veya karaya doğru ilerlemesi ardından da karada dalga tırmanması ve su taşınımı oluşturur. Bunun sonucu olarak da kıyılarda şiddetli akıntılar ve su düzeyi değişimleri gerçekleşir. Tsunamiler kıyıya doğru ilerlerken kıyı batimetrisindeki değişimle birlikte iç kısımlara doğru ilerleyerek can ve mal kaybına neden olurlar. Tsunami sonucunda oluşan bu hasarlar, sakin su yüzeyi ile suyun tırmandığı en yüksek nokta arasındaki düşey mesafe olarak bilinen tırmanma yüksekliğine bağlıdır. Bu yüzden bir çok kıyı yapısının boyutlandırılmasında tırmanma yüksekliği en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır.

Uzun dalgaların tırmanma yüksekliğini belirlemek için yapılmış teorik ve deneysel çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. İlk deneysel çalışmayı yapan Hall ve Watts (1953)'de 1:1 şev eğiminde geçirimsiz yüzeyler için solitary dalga tırmanmasını veren aşağıdaki ampirik bağıntıyı önermişlerdir:

$$\frac{R}{d} = 3.1 \left(\frac{H}{d} \right)^{1.15} \quad (1)$$

Burada, H, dalga yüksekliğini; d, su derinliğini ve R, tırmanma yüksekliğini göstermektedir. Camfield ve Street (1969) nümerik modellerin doğruluğunda ve analitik sonuçların ispatında bu çalışmayı kullanmışlardır. Kırkgöz (1983)'de 1:10 eğimli kıyıda uzun periyotlu dalgaların tırmanmasını ve kırılmasını teorik olarak incelemiştir. Nonlineer sığ su dalga denklemlerini karakteristikler metodunu kullanarak çözmüştür. Kobayashi ve diğerleri (1987) pürüzlü eğimlerde akım karakteristiklerini belirlemek için nümerik

akım modeli geliştirmişlerdir. Taban sürtünme etkileri dahil sonlu genlikli sığ su denklemlerini Lax-Wendroff sonlu fark metodunu kullanarak nümerik olarak çözmüşlerdir. Synolakis (1986, 1987)'de düz kıyılarda solitary dalga tırmanmasını teorik ve deneysel olarak incelemiş ve kırılmayan dalgalar için bir yaklaşım teorisi sunmuştur. Asimptotik sonuçlardan ampirik tırmanma ifadesi elde edilmiştir. Düz kıyılarda kırılmayan dalgaların tırmanma yüksekliği laboratuvar verilerini oldukça iyi modelleyen, tırmanma kanunu olarak da bilinen aşağıdaki (2) ifadesi ile verilmiştir:

$$\frac{R}{d} = 2.831 \sqrt{\cot \beta} \left(\frac{H}{d} \right)^{5/4} \quad (2)$$

Bu ifadede β , şev eğimidir. Güney Kaliforniya Üniversitesi Deniz Bilimleri Merkezi'nde uzun dalga tırmanması ile ilgili araştırmaları içeren bir workshop düzenlenmiştir. Bu workshopda sunulan tırmanma ile ilgili teorik, deneysel ve saha çalışmalarını kapsayan yirmi altı bildirinin özeti verilmiştir (Liu vd., 1991). Kobayashi ve diğerleri (1990)'da düzensiz dalga koşullarında 1:3 eğime sahip pürüzlü geçirimsiz yüzeyde dalga tırmanmasını ve yansımalarını incelemiştir. Kaistrenko ve diğerleri (1991)'de geçirimsiz düz kıyılarda kırılmayan uzun dalga tırmanmasının analizini sunmuşlardır. Zelt (1991) tarafından yapılan çalışmada, geçirimsiz düz kıyılarda kırılan ve kırılmayan solitary dalgaların tırmanması Lagrange sonlu-eleman Boussinesq dalga modeli ile araştırılmıştır. Müller (1964)'de solitary dalga tırmanmasını (3) ifadesi ile aşağıdaki gibi vermiştir:

$$\frac{R}{d} = 1.25 \left(\frac{\pi}{2\beta} \right)^{0.2} \left(\frac{H}{d} \right)^{1.25} \left(\frac{H}{L} \right)^{-0.15} \quad (3)$$

Burada L, dalga uzunluğunu göstermektedir. Titov ve Synolakis (1995) bir boyutlu uzun dalgaların tırmanması ve yayılmasını modellemek için viskozite ve sürtünme faktörünü ihmal ederek sığ su dalga denklemlerinin değişken aralıklı sonlu fark şemasını sunmuşlardır. Çalışmada, kırılan ve kırılmayan dalgaların laboratuvar verileri, diğer nümerik ve analitik çözüm

sonuçları ile karşılaştırılmış, metot VTCS-2 olarak adlandırılmıştır. Grilli ve diğerleri (1997)'de potansiyel akım denklemlerine dayalı nonlineer dalga modelinin doğrulandığı deneyleri kullanarak solitary dalgaların kırılmasını ve sığlaşmasını 1:100 eğimden 1:8 eğime kadar hesaplamışlardır. 12°'den büyük eğimlerde dalganın kırılmadığı belirtilmiştir. Kırılma kriteri boyutsuz eğim parametresinin değerine bağlı olarak hafif eğimler için çıkarılmıştır. Tüm sonuçların laboratuvar verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Kanoğlu ve Synolakis (1998)'de gel-git dalgalarının kıyıya etkilerini anlamak amacıyla parçalı lineer bir ve iki boyutlu batimetridedeki tırmanmayı ve uzun dalga değişimini araştırmıştır. Maksimum tırmanma yükseklikleri ve zamana bağlı serbest yüzey değişimlerine ait laboratuvar sonuçları ile kullandıkları teori uyum içindedir. Maiti ve Sen (1999)'da Euler-Lagrange metodunu kullanarak dik ve hafif eğimlerde nonlineer solitary dalgaların etkisini analiz etmek için zamanla değişen bir algoritma tanımlamıştır. Tırmanma yüksekliğinin düzlem eğimine ve dalga dikliğine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Pelinovsky ve diğerleri (1999)'da sığ su denklemlerini kullanarak farklı enkesitli körfezde düşey duvarlar üzerinde tsunami dalgalarının tırmanmasını incelemiştir. Gelen dalganın genliği ve düşey duvarda tırmanma yüksekliği arasında (4) bağıntısını elde etmişlerdir:

$$\frac{R}{\zeta_0} = 2 + \frac{1}{2} \frac{\zeta_0}{d} \quad (4)$$

Burada ζ_0 , dalga genliği'dir. Teng ve diğerleri (2000 a-b) yaptığı çalışmada, hem düz hem de pürüzlü kıyılarda kırılmayan solitary dalgaların maksimum tırmanmasını deneysel çalışmalarla incelemiştir. Düz kıyıları 1.22 x 2.44 m'lik cilalı kontrplaktan veya pleksiglas levhadan yapılmıştır. Kontrplak levhanın yüzeyi dolgu macunu ile geçirimsiz hale getirilmiş ve pürüzsüzlüğü sağlamak için boyanmıştır. Bu plaka pürüzsüz eğimi simule etmek için tırmanma ölçümlerinde kullanılmıştır. Pürüzlü kıyı pleksiglas levhanın yüzeyine küçük çakıllar yapıştırılarak oluşturulmuştur. Farklı eğimler ve taban pürüzlülükleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarında dik eğimli kıyılarda (20°) viskozite ve pürüzlülüğün

maksimum tırmanma üzerinde etkisinin az olduğu sonucuna varmışlardır. Bu durumda viskozitenin ihmal edildiği uzun dalga teorilerinin tırmanma yüksekliğini belirlemede yeterli olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca hafif eğimli kıyılar üzerinde viskozite ve pürüzlülüğün çok etkili olduğunu ve viskozitenin ihmal edildiği durumlarda karşılaştırıldığında maksimum tırmanmanın %50'den daha fazla azaldığını bulmuşlardır.

Melito ve Melby (2002)'de düzensiz dalga koşullarında Core-Loc koruma tabakasında dalga tırmanmasını ve ilerlemesini deneysel olarak incelemiştir. Carrier ve diğerleri (2003)'de sığ su dalga teorisine bağlı uniform eğimli kıyılar üzerinde tsunami dalgasının tırmanmasını ve geri çekilmesini değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmada ise tsunaminin tırmanma yüksekliğini belirlemek için geçirimli kıyılarda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Şev eğimi 1:5 olan geçirimli yüzey, dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı 2.63 gr/cm³ olan doğal plaj malzemesi kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca geçirimsiz yüzey için elde edilen deney sonuçları tırmanma kanunu ile karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür. Tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler dalga yüksekliği, şev eğimi, su derinliği, plaj malzeme özellikleri belirlenerek geçirimli yüzeyler için ampirik bir ifade önerilmiştir.

Teorik yaklaşım

Açık denizden sabit derinlikteki uniform eğimli kıyı üzerine gelen iki boyutlu uzun dalga tırmanması göz önüne alındığında (Şekil 1) klasik nonlineer sığ su denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\eta_t + (u(h+\eta))_x = 0 \quad (5)$$

$$u_t + uu_x + g\eta_x = 0 \quad (6)$$

Burada η dalga genliği, u ortalama derinlikteki hız ve g yerçekimi ivmesidir.

Carrier ve Greenspan (1958), Keller ve Keller (1964), Synolakis (1986) bu denklemlerin çözümü için çalışmışlardır. Kıyı çizgisindeki hız sıfır

olduğu zaman maksimum tırmanma noktasına ulaşılmıştır. $t=0$ iken $x=X_1$ durumunda solitary dalga kullanılarak yüzey profili (7) bağıntısı ile tanımlanır:

$$\eta(x,0) = \frac{H}{d} \operatorname{sech}^2 \left(\sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d} (x - X_1) \right) \quad (7)$$

Burada, H sabit su derinliğindeki ($h=d$) dalga yüksekliği, X_1 eğimin ucundan denize doğru olan mesafe ($X_1 = L/2$)'dir. Çok sığ su şartlarında solitary dalgalar uzun yatay dalga çukuru ve çok dik tepeli bir görünüm alırlar. Bu durumda ardışık dalgalar birbirlerinden bağımsız olarak göz önüne alınabilirler ve dalga periyodu artık dalga özelliklerinin gelişiminde etkin parametre olmaktan çıkar. H/d 'nin birinci mertebeden dikkate alındığı denklemler aşağıdaki gibi verilmiştir (Yüksel vd., 1998):

$$\eta = H \operatorname{sech}^2 \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - ct) \quad (8)$$

$$c = \sqrt{gd} (1 + 0,5 (H/d)) \quad (9)$$

$$u = \frac{\eta}{d} \sqrt{gd} \quad (10)$$

c , dalga yayılma hızını ifade etmektedir.

Tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler, konu ile ilgili değişkenler, daha önce yapılan çalışmalar ve konunun özellikleri dikkate alınarak aşağıda verilmiştir:

Dalga yüksekliğindeki artış ile tırmanma yüksekliği artmaktadır. Yapılan çalışmalar eğimdeki artışın tırmanma yüksekliğini azalttığını göstermiştir. Bu çalışmada kırılma için sınır değer olan 1:5 eğim seçilmiştir. Çalışmada doğal plaj kumu kullanılmıştır. Yapılan deneyler, kum birim hacim ağırlığındaki azalmanın tırmanma yüksekliğini azalttığını göstermiştir. Yapı önündeki su derinliği arttıkça tırmanma yüksekliği azalmaktadır.

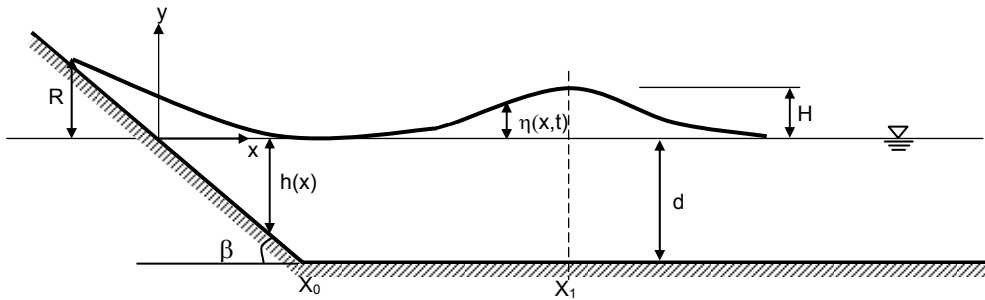
Deneysel

Deney düzeneği

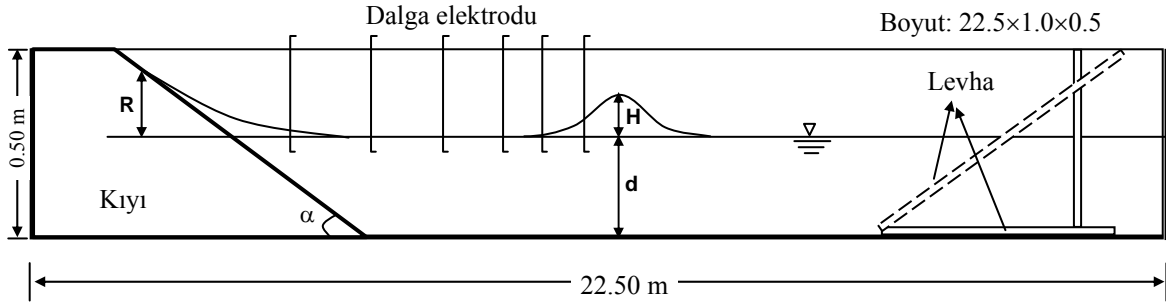
Deneysel İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan boyu 22.5 m, genişliği 1.0 m ve yüksekliği 0.50 m olan dalga kanalında yapılmıştır. Dalga kanalının yan duvarları deneylerin daha iyi gözlenebilmesi için camdan yapılmıştır. 1:5 eğimli kıyı, dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı 2.63 gr/cm^3 olan doğal plaj malzemesinden oluşmuştur. Şekil 2'de deney düzeneği görülmektedir.

Tsunamiler deniz tabanındaki ani düşey hareketle oluşmaktadır (Guesmia vd., 1998). Bunu laboratuvar koşullarında sağlayabilmek için aşağıdaki dalga üretim sistemi geliştirilmiştir.

Dalga kanalına yerleştirilen $0.97 \times 2.0 \times 0.002 \text{ m}$ boyutundaki yatay bir levha PHS16B mafsalı ile pnömatik silindire bağlanarak tsunami dalga üretim sistemi oluşturulmuştur. Düşey olarak yerleştirilen NS80-500 pnömatik silindirin harekete başlayıp-durması için el kumandalı sürgülü tip valf kullanılmıştır.



Şekil 1. Solitary dalga tırmanması



Şekil 2. Deney düzeneği

Deneyler sırasında piston mevcut su kütlesini ani bir şekilde hareket ettiremediği için pistonun giriş ve çıkışına çabuklaştırıcı egzost yerleştirilmiştir. Daha sonra yine pistonun hareket hızını ayarlamak için bu egzostlara hız ayar valfi yerleştirilmiştir. Deniz tabanındaki ani hareketi simule etmek için yatay levhaya bağlı pistonun düşey yönde hareket ettirilmesi sonucunda su kütlesi yer değiştirir ve böylece tsunami dalgası oluşur (Gedik, 2004). Deneyler sırasında üretilen dalgaların oluşturduğu su yüzeyi deplasmanlarının kayıt aşamasında HRLM Cle3 C30 tipi dalga amplifikatörü ve buna bağlı toplam 6 adet rezistans tip dalga elektrodu kullanılmıştır (Şekil 2). Elektrot, pirinçten imal edilmiş olup sistemin çalışması dalga probunun çubukları arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su yüzeyinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Amplifikatörden çıkan bağlantı PCLD-780 tipi bir pasif kart üzerinde toplanmaktadır. Pasif kart üzerinden gelen sürekli analog sinyaller daha sonra PCL-812-Pg tip analog-dijital (A/D) dönüştürücü kart ile kesikli dijital volt değerlerine çevrilmiştir. Elektronik sistemden alınan dijital sinyallerin anlamlı parametrelere çevrilmesi Kabdaşlı ve Ünal (1996) tarafından hazırlanan bilgisayar programı yardımı ile yapılmıştır. Tüm dalga elektrotları doğru ölçüm alabilmek için her deneyden önce kalibre edilmiştir. Su hızlarını ölçmede akustik hız ölçüm cihazı (ADV) kullanılmıştır. ADV su hareketlerinin hızını ses dalgaları yardımı ile ve "noktasal hız ölçümü" yöntemi ile 3 boyutlu olarak ölçen cihazdır. ADV ile yapılan ölçümler CollectV adlı bilgisayar yazılımı ile anında bilgisayara aktararak hız değerleri elde edilmiştir. Bu cihaz kullanımdan sonra yeniden kalibrasyon gerektirmemektedir.

Üretilen dalgaların analizi

0.33 m su derinliğinde dalga yüksekliği 0.012 m ile 0.11 m aralığında değişen solitary dalgalar üretilmiştir. Üretilen dalga ($H/d = 0.233$) iken (8) bağıntısından elde edilen solitary dalganın serbest yüzey değişimleri Şekil 3'te karşılaştırılmış ve uyum içinde olduğu görülmüştür.

Deneyler sırasında ölçülen hız verilerinin zamanla değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Dalga kayıtlarından elde edilen serbest yüzey değişimleri (10) denkleminde yerine konularak elde edilen hız verileri ile ölçülen hız verileri Şekil 5'te karşılaştırılmış ve uyum içinde oldukları görülmüştür.

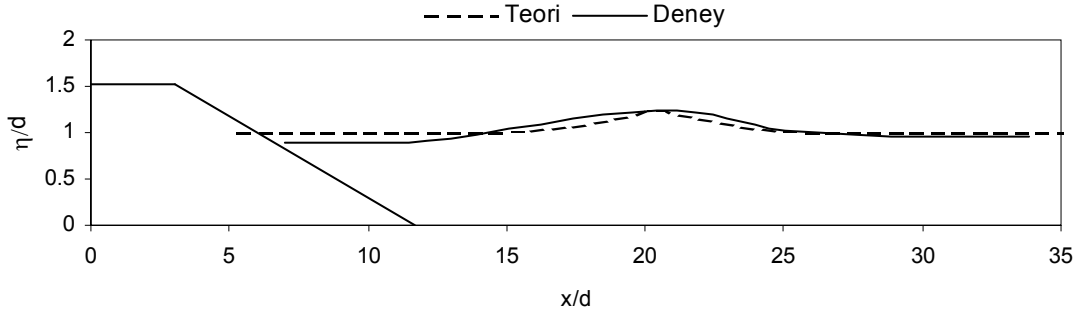
Grilli ve diğerleri (1997)'de solitary dalgalar için boyutsuz eğim parametresini (kırılma kriteri) aşağıdaki gibi ifade etmiştir:

$$S_0 = 1,521 \cdot \frac{s}{\sqrt{H/d}} \quad (11)$$

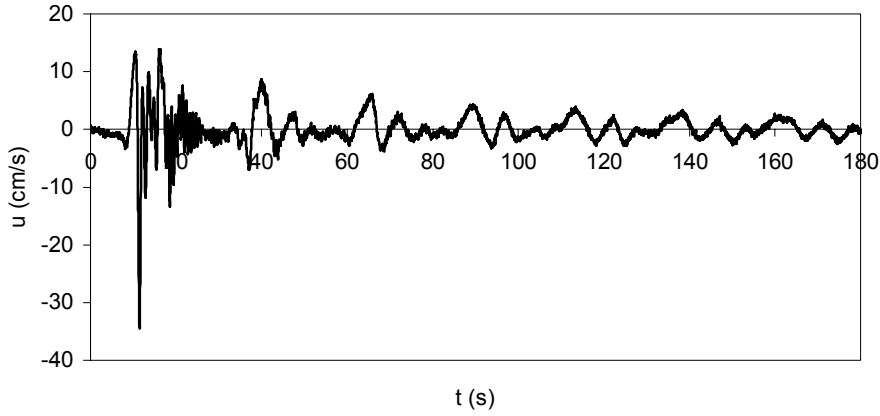
s şev eğimini, (H/d) boyutsuz dalga yüksekliğini ifade etmektedir. Grilli ve diğerleri $S_0 > 0.37$ ise solitary dalgalarının kırılmadığını hem hesaplarla hem de deneylerle göstermişlerdir. Bu çalışmadaki tüm deneylerde de S_0 'ın 0.37'den büyük olduğu ve dalgaların kırılmadığı görülmüştür.

Tırmanma yüksekliğinin analizi

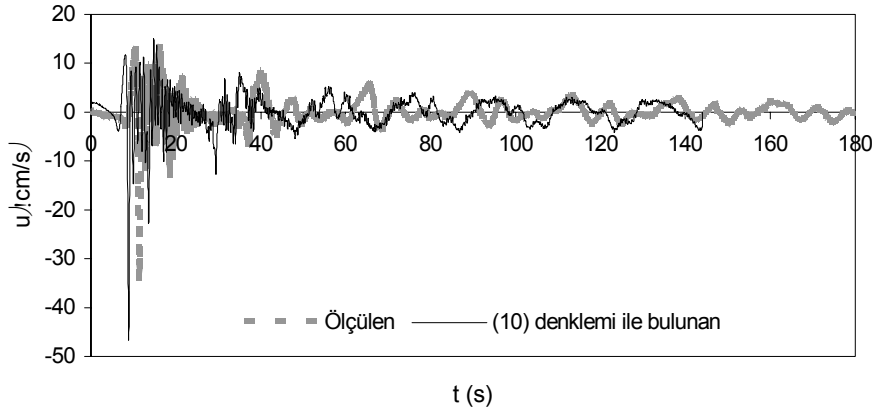
Geçirimsiz yüzeylerde-1:5 eğimde geçirimsiz yüzey pürüzsüz ve düz saç levha kullanılarak oluşturulmuştur. Pistonun düşey yönde hareket ettirilmesiyle eğim üzerindeki tırmanma mesafeleri ölçülmüştür. Geçirimsiz yüzeylerde dalga yüksekliğindeki artışın tırmanma yüksekliğini arttırdığı Şekil 6'da görülmektedir.



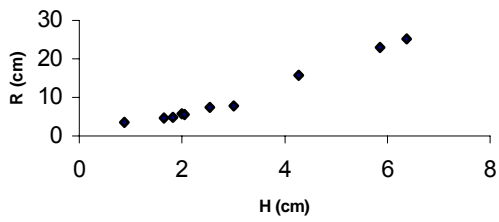
Şekil 3. Serbest yüzey değişimi



Şekil 4. Yatay hızın zamanla değişimi

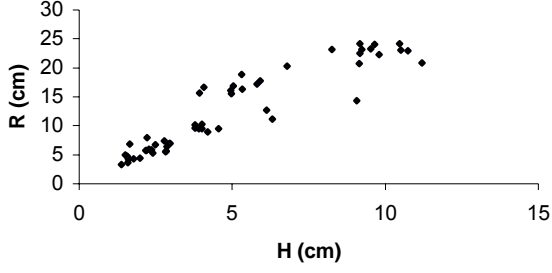


Şekil 5. Ölçülen ve (10) denkleminde hesaplanan hız verilerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Geçirimsiz yüzeylerde dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi

Geçirimli yüzeylerde-1:5 eğimli kıyı, dane çapı 0.35 mm ve birim hacim ağırlığı 2.63 gr/cm³ olan doğal plaj malzemesinden oluşmuştur. Dalga kanalı 33 cm yüksekliğe kadar su ile doldurulmuştur. Pistonun düşey yönde hareket ettirilmesiyle oluşan uzun dalganın kıyıda tırmandığı noktalar ölçülmüş ve video kamera ile kaydedilmiştir. Şekil 7'de geçirimli yüzeylerde dalga yüksekliğindeki artışın da tırmanma yüksekliğini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 7. Geçirimli yüzeylerde dalga yüksekliği ile tırmanma yüksekliği ilişkisi

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Boyutsuz parametreler

DeneySEL değerlendirmeLer sonucunda geçirimli yüzeyde tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler,

$$f(H, D, d, \gamma_w, \gamma_{sp}, \beta, R, g) = 0$$

olarak belirlenmiştir. Bu parametreler π teoremi kullanılarak boyutsuz büyüklükler halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$\frac{R}{d}$: boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresi

$\frac{H}{d}$: boyutsuz dalga yüksekliği parametresi

$\frac{\gamma_{sp}}{\gamma_w} = G_{sp}$: boyutsuz plaj malzemesi spesifik gravite parametresi

$\frac{D}{d}$: boyutsuz plaj malzemesi çapı parametresi

$\cot \beta$: boyutsuz eğim açısı

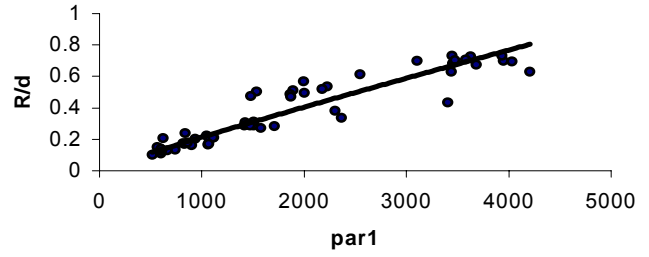
Yukarıdaki boyutsuz parametrelerin tırmanma yüksekliği ile ilişkileri aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$H \frac{G_{sp}}{D} \cot \beta = \text{par1} \quad (12)$$

Şekil 8'de geçirimli durum için tırmanma yüksekliğine etki eden boyutsuz parametrelerin (par 1)

artması ile birlikte, tırmanma yüksekliği parametresinin de belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. İki parametre arasındaki korelasyon katsayısı 0.95'dir. Bu ilişkiden faydalanarak nonlineer regresyon metoduyla boyutsuz tırmanma yüksekliği (R/d) için aşağıdaki denklem önerilir (Gedik, 2004):

$$\frac{R}{d} = 4.10^{-4} \left(H \frac{G_{sp}}{D} \cot \beta \right)^{0.921} \quad (13)$$



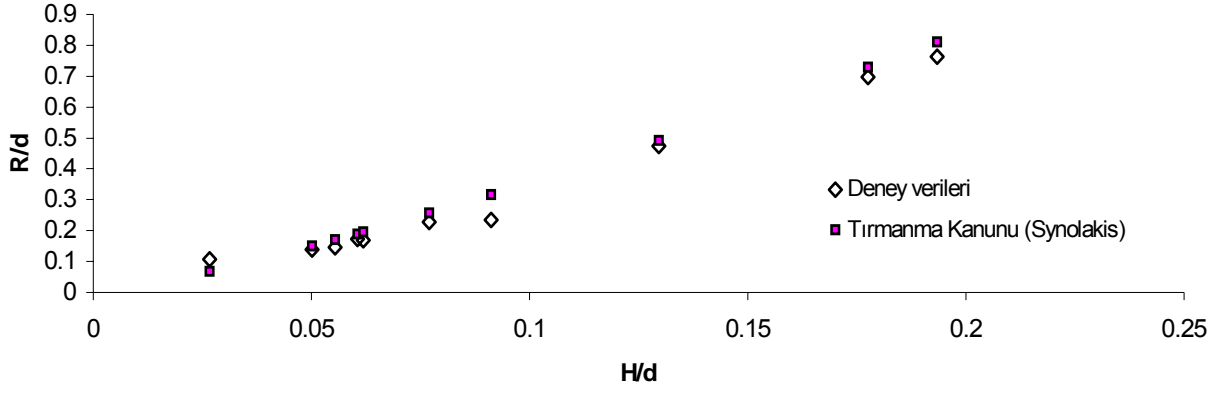
Şekil 8. Geçirimli yüzeyde tırmanma yüksekliğine etki eden parametreler ile boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresinin ilişkisi

Tartışma ve sonuçlar

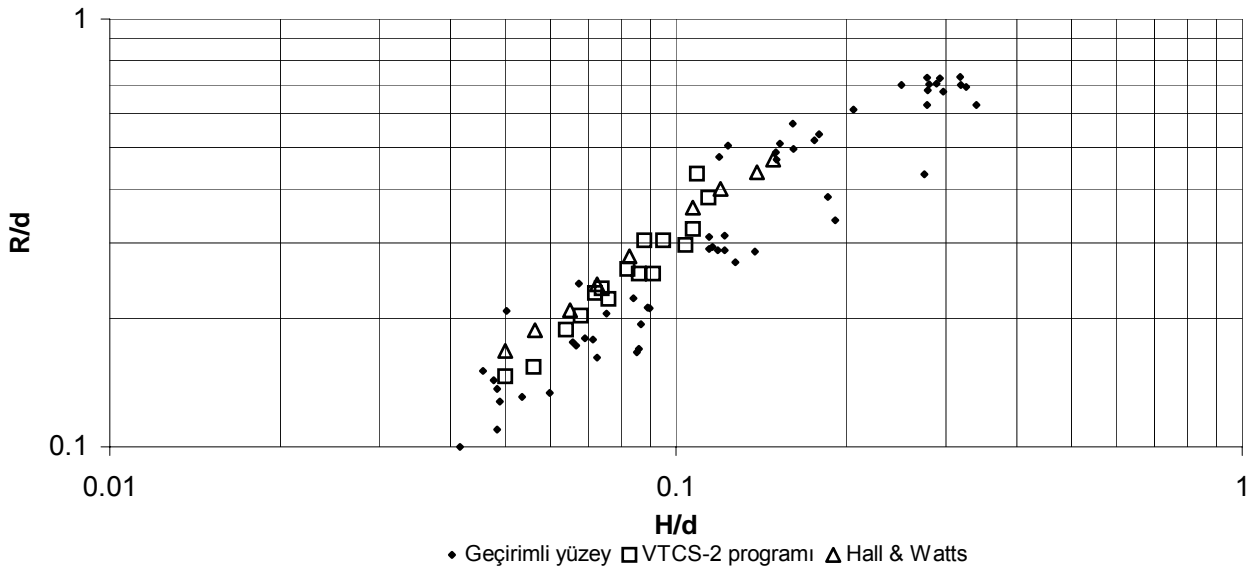
İlk olarak geçirimsiz düz levhadan oluşan eğim üzerindeki tırmanma yükseklikleri ölçülmüş, R/d 'ler oluşturulmuş ve bunların tırmanma kanunu olarak bilinen (2) denkleminden elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametreleri ile karşılaştırılması Şekil 9'da yapılmıştır. Deney sonuçlarının uyum içinde olduğu görülmüştür.

Hall ve Watts (1953)'de deneysel araştırmalar sonucunda boyutsuz tırmanma yüksekliğinin (R/d) boyutsuz dalga yüksekliği (H/d) değişimini geçirimsiz yüzey için incelemiştir (Synolakis, 1986). Aynı değişimi Titov ve Synolakis (1995)'de ikinci dereceden sonlu fark şemasının kullandığı VTCS-2 olarak adlandırılan programla incelemiştir. Bu çalışmada deneysel verilerden elde edilen tırmanma yükseklikleri ve dalga yükseklikleri boyutsuz hale getirilerek sonuçlar diğer araştırmacıların sonuçları ile Şekil 10'da karşılaştırılmıştır.

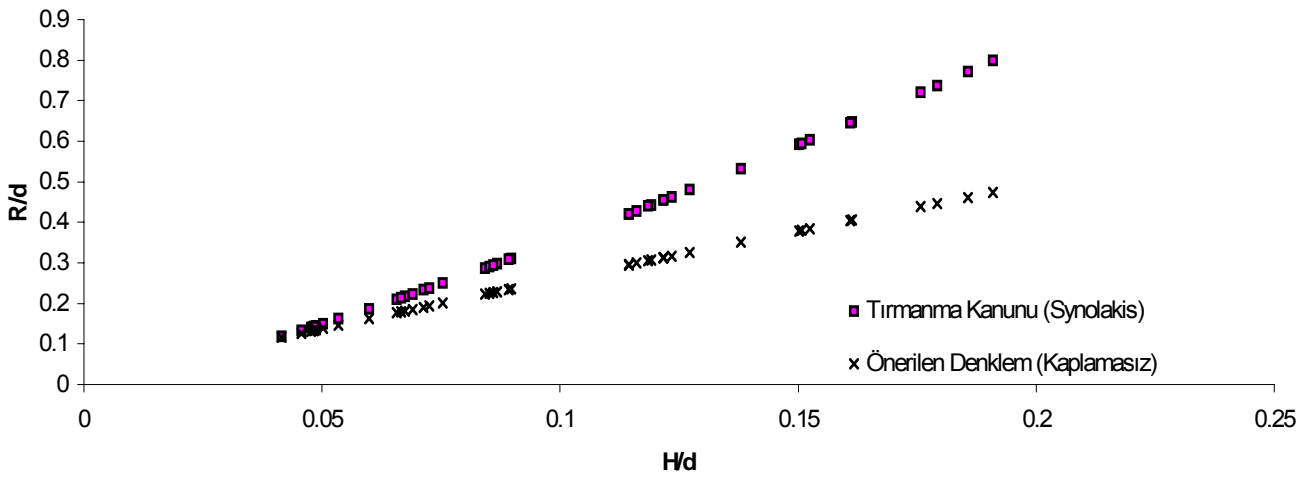
Laboratuar verilerinden elde edilen H/d değerleri tırmanma kanunu olarak bilinen (2) denklemde, daha sonra geçirimli yüzeyler için önerilen (13) denklemde yerine konarak boyutsuz tırmanma yüksekliği değerleri elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 9. Deney verilerinden ve tırmanma kanunundan (2) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametrelerinin karşılaştırılması



Şekil 10. Çalışmadaki geçirimli yüzey verilerinin VTCS-2 (Titov ve Synolakis, 1995) ve Hall & Watts (1953) ile karşılaştırılması



Şekil 11. Kaplamasız durum için önerilen denklemden (13) ve tırmanma kanunundan (2) elde edilen boyutsuz tırmanma yüksekliği parametresinin karşılaştırılması

Şekil 10'da bu çalışmadaki geçirimli yüzey durumuna ait veriler geçirimsiz yüzey durumuna ait verilerle karşılaştırılmıştır. Şekil 11'de de geçirimli yüzey için önerilen denklem geçirimsiz yüzey için verilen (tırmanma kanunu) denklemle karşılaştırılmıştır. Her iki durumda da geçirimli yüzeye ait verilerin daha küçük boyutsuz tırmanma yüksekliği değerleri vermesi beklenen bir sonuçtur. Bu sonuç mevcut deney koşullarında önerilen denklemin doğruluğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- Camfield, F.E. ve Street, R.L., (1969). Shoaling of solitary waves on small slopes, *Journal of Waterway and Harbour Division*, **1**, 1-22.
- Carrier, G.F. ve Greenspan, H.P., (1958). Water waves of finite Amplitude on a sloping beach, *Journal of Fluid Mechanics*, **17**, 97-109.
- Carrier, G.F, Wu, T.T. ve Yeh, H., (2003). Tsunami run-up and draw-down on a plane beach, *Journal of Fluid Mechanics*, **475**, 79-99.
- Fritz, H.M., Hager, W.H. ve Minor, H.E., (2001). Lituya Bay case: Rockslide impact and wave run-up, *Science of Tsunami Hazards*, **19**, 1, 3-22.
- Gedik, N., (2004). Uzun dalgaların tırmanma yüksekliğinin deneysel incelemesi, *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Grilli, S.T., Svendsen I.A. ve Subramanya, R., (1997). Breaking criterion and characteristics for solitary waves on slopes, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **123**, 3, 102-112.
- Guesmia, M., Heinrich P. H. ve Mariotti, C., (1998). Numerical simulation of the 1969 Portuguese Tsunami by a finite element method, *Natural Hazards*, **17**, 31-46.
- Hall, J.V. ve Watts, J.W. (1953). Laboratory investigation of the vertical rise of solitary waves on impermeable slopes, Tech. Memo.33, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers.
- Kaistrenko, V.M., Mazova, R. Kh, Pelinovsky, E.N. ve Simonov, K.V., (1991). Analytical theory for tsunami runup on a smooth slope, *Science of Tsunami Hazards*, **9**, 2, 115-127.
- Kanoglu, U., Synolakis, C.E., (1998). Long wave runup on piecewise linear topographies, *Journal of Fluid Mechanics*, **374**, 1-28.
- Keller, J.B. ve Keller, H.B., (1964). Water wave runup on a beach, ONR Research. Rep. Contract No. NONR-3828(00), Department of Navy, Washington, D.C.
- Kırkgöz, M.S., (1983). Breaking and run-up of long wave, *Tsunamis, Their Science and Engineering*, 467-478.
- Kobayashi, N., Otta A.K. ve Roy, I., (1987). Wave reflection and runup on rough slopes, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **113**, 3, 282-298.
- Kobayashi, N., Cox, D.T. ve Wurjanto, A., (1990). Irregular wave reflection and run-up on rough impermeable slopes. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **116**, 6, 708-726.
- Li, Y., Raichlen, F., (2001). Solitary wave runup on plane slopes, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **127**, 1, 33-44.
- Liu, P.L., Synolakis, C.E. ve Yeh H. H., (1991). Report on the international workshop on long wave run-up, *Journal of Fluid Mechanics*, **229**, 675-688.
- Maiti, S., Sen, D., (1999). Computation of solitary waves during propagation and runup on a slope, *Ocean Engineering*, **26**, 1063-1083.
- Melito, I., Melby J. A., (2002). Wave runup, transmission, and reflection for structures Armored with CORE-LOC, *Coastal Engineering*, **45**, 33-52.
- Müller, L., (1964). The rock slide in the Vajont Valley, *Rock Mechanics and Engineering Geology*, **2**, (3-4), 148-212.
- Pelinovsky, E., Troshina, E., Golinko, V., Osipenko, N. ve Petrukhin, N., (1999). Runup of tsunami waves on a vertical wall in a basin of complex topography, *Physics, Chemistry and Earth Sciences (B)*, **24**, 5, 431-436.
- Svendsen, Ib., A., Hansen, J.B., (1978). On the deformation of periodic long waves over a gently sloping bottom, *Journal of Fluid Mechanics*, **3**, 433-448.
- Synolakis, C.E., (1986). The runup of long waves, *Doktora Tezi*, California Institute of Technology.
- Synolakis, C.E., (1987). The runup of solitary waves, *Journal of Fluid Mechanics*, **185**, 523-545.
- Teng, M.H., Feng, K. ve Liao, T.I., (2000). Experimental study of long wave run-up on plane beaches, *Proceedings of the Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Seattle, USA, 660-664.
- Titov, V.V., (1997). Numerical modeling of long wave runup, *Doktora Tezi*, Faculty of Graduate School, University of Southern California.

- Titov, V., Synolakis, C.E., (1995). Modelling of breaking and nonbreaking long-wave evolution and runup using VTCS-2, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **121**, 6, 308-316.
- Yüksel, Y., Çevik, E., ve Çelikoğlu, Y., (1998). *Kıyı ve liman mühendisliği*, Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası Birliği, Ankara Şubesi.
- Zelt, J.A., Raichlen, F., (1990). A lagrangian model for wave-induced harbour oscillations, *Journal of Fluid Mechanics*, **213**, 203-225.
- Zelt, J.A., (1991). The run-up of nonbreaking and breaking solitary waves, *Coastal Engineering*, **15**, 205-246.
-
- Teng, M.H., ve Feng, K., (2000). Long wave runup on sloping beaches.
<http://www.ce.utexas.edu/em2000/papers/MHTeng.pdf>