

Tek Tabakalı Dalgakıranların Sismik Davranışı

Kubilay CİHAN*
Yalçın YÜKSEL**

ÖZ

Geleneksel iki tabakalı dalgakıranlarda yapay koruma tabakalarında tetrapod, dolos ve tribar gibi elemanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda Accropode ve Core-loc™ gibi tek tabaka olarak kullanılabilen elemanlar tercih edilmeye başlanmıştır. Tek tabaka kullanılan elemanlar dalga altında yüksek kilitleme davranışına sahiptir ve böylece stabiliteyi yüksektir. Bu elemanların dalga etkisindeki davranışının bilinmesine rağmen sismik davranışları bu güne kadar incelenmemiştir. Bu çalışmanın amacı sismik etki sırasında bu elemanların davranışının sunulmasıdır. Çekirdek malzemesinden ve Accropode ve Core-loc™ elemanlardan oluşan iki dalgakıran modeli için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Her iki modelde sağlam temel üzerine yerleştirilmiştir. Modellerin deformasyonu, rölatif oturma ve şevlerinde hasar seviyeleri belirlenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: dalgakıran, tek tabaka, accropode, core-loc™, sismik davranış

ABSTRACT

Seismic Response of Single Layer Armored Breakwaters

In conventional two-layer systems various artificial armor units such as tetrapod, dolos, and tribar have been commonly used. Recently, Accropode and Core-loc™ which can be used in a single layer of armoring were recently preferred as armoring. The units for one-layer systems have a high interlocking response under waves and therefore their stability is high. Although response of these units under wave effect is known, their response to seismic action has not so far been investigated. The objective of this study is to investigate the response of breakwaters armored with these units during seismic loadings. An experimental investigation has been carried out for two breakwater models, which consist of a core material and armored with Accropode and Core-loc™. Both models were placed on a rigid bed. Deformation of the models, relative settlements and damage on the slopes due to the seismic loading are surveyed and compared with each other.

Keywords: breakwater, single layer, accropode, core-loc™, seismic response

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 26.01.2010 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul - kcihan@yildiz.edu.tr

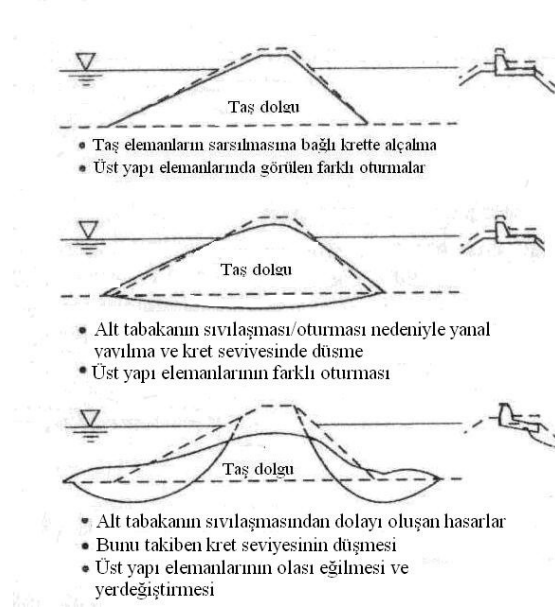
** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul - yuksel@yildiz.edu.tr

1. GİRİŞ

Taş dolgu dalgakıranlar dalgaları kırarak ve yansıtarak dalgakıran arkasındaki su haznesini dalgalara karşı koruyan, taş veya beton blokların yığılmasıyla inşa edilen yapılardır. Hemen hemen bütün taş dolgu dalgakıranlar tabakalı olarak inşa edilirler. Dalgakıranın her tabakası, bir altındaki tabakanın ince malzemesinin yıkanma etkisiyle boşluklardan kaçmayacak şekilde planlanmasını gerektirmektedir. Ayrıca, dış tabakalar, yapım sırasında ve yapım bittikten sonra beklenen dalga etkilerine dayanıklı tasarlanmaktadır. Dalgakıranlar çoğunlukla belirli tasarım fırtınası süresince dalganın iletilmesini ve dalga aşmasını sınırlamak, aynı zamanda ilgili dalga yüklerine karşı dayanım için tasarlanırlar. Büyük bir deprem ile tasarım deniz (dalga) şartının aynı anda meydana gelmesi çok küçük bir olasılıktır çünkü bu iki olay ilişkili değildir. Bu nedenle tasarım dalga hareketi ve deprem etkisi, iki bağımsız yükleme durumu gibi ele alınabilir. Uzun dönem aşılma istatistiğine göre sıklıkla görülen ortalama deniz durumu tasarım depremleriyle birlikte düşünülmalıdır.

Yapılar üzerindeki deprem etkisi sadece yüksek sismik aktiviteye sahip bölgeler için değil, sismik aktivitenin düşük olduğu bölgeler içinde göz önüne alınmalıdır. Taş dolgu dalgakıranlar için deprem esnasında beklenen tipik hasar durumları Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Taş dolgu dalgakıranların sismik etki altındaki hasarı, kret seviyesinde azalma ve şevlerdeki yanal yayılma sonucunda koruma tabakasını oluşturan elemanların dalgakıran gövdesini terk etmesi şeklinde oluşmaktadır. Deprem sonrasında hasar görmüş dalgakıranlar çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Memos ve Protonotarios, (1992) [1], Patras limanına ait taş dolgu dalgakıran için yapmış olduğu çalışma ile dalgakıranın dinamik davranışını araştırmış ve yapının göçmesine sebep olan mekanizmayı ifade etmeyi amaçlamıştır. Göçme mekanizması, hidrodinamik ve geoteknik olarak adlandırılan iki yöntem ile araştırılmıştır. Birinci yöntemde, yapıyı çevreleyen su kütesinin taş dolgu üzerindeki dinamik yükü izah edilerek hidrodinamik yapı araştırılmıştır. İkinci yöntemde “dalgakıran-zemin etkileşimi” sismik analizi ile tanımlanmıştır. Memos vd., (2000) [2] iki taş dolgu dalgakıran modelini fiziksel ve matematiksel olarak modellemiştir. Birinci dalgakıran modeli, kaya tabanı temsil eden katı bir düzlem üzerine yerleştirilmiştir. İkinci model ise sıkıştırılmamış kum tabaka üzerine inşa edilmiştir. Çalışmada hidrodinamik basınçlar ve ivmeler kaydedilerek, dalgakıran modeli üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yüksel vd. (2003) [3], 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi sonrasında Karamürsel Ereğli balıkçı barınağı'nı koruyan dalgakıranda oluşan hasarı yerinde yapılan ölçümlerle belirlemişlerdir. Deprem sonrası yapılan ölçümlere göre, dalgakıranın kreti boyunca 1.5 m'lik oturmanın gerçekleştiği ve beton kronman duvarında çatlakların oluştuğu bildirilmiştir. Yüksel vd. (2004) [4], Ereğli balıkçı barınağına ait taş dolgu dalgakıranın 1999 Kocaeli depremi sırasında gösterdiği sismik davranışı incelemişlerdir. Yapılan çalışma dört ana başlık altında özetlenmiştir. Bunlar, (1) deprem sonrası oluşan deformasyonlar ve yerdeğiştirmeler, (2) standart penetrasyon testlerini içeren sondaj sonuçları, (3) gözlemlenen deformasyon mekanizmasının uygun yöntemlerle analizleri, (4) zemin sıvılaşmasının deformasyonlar üzerindeki etkisidir. Bölgede yapılan incelemeler ile meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir. Ergin ve Yüksel (2006) [5], 1999 Doğu Marmara Depremi sonuçlarını tüm deniz yapılarının hasar kriterlerini tanımlamak amacıyla irdelemiş ve taş dolgu dalgakıranlar içinde hasar kriterleri vermişlerdir.



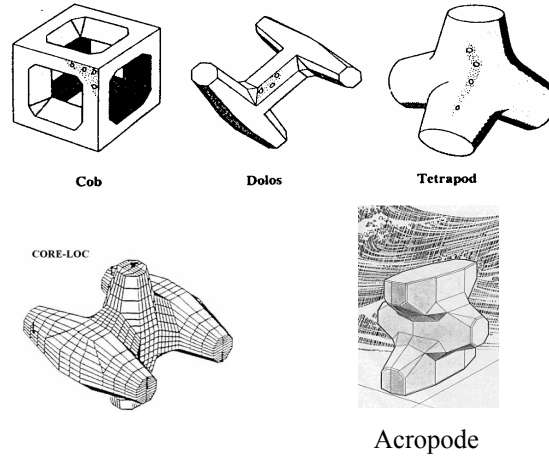
Şekil 1.1 Taş dolgu dalgakıranda hasar (PIANC, (2001) [6])

Taş dolgu dalgakıranlardaki koruma tabakasında doğal ocak taşının haricinde betondan imal edilmiş elemanlarda kullanılmaktadır (Şekil 1.2). Beton blokların kullanılmasının bazı avantajları mevcuttur. Bu bloklar kilitlenme yeteneklerinden dolayı yüksek stabiliteye sahiptirler ve kolayca imal edilebilmektedirler. Ayrıca beton bloklar istenilen boyutlarda üretilebilirler. Ancak farklı geometrilere sahip olan bu blokların dalga etkileri altındaki davranışlarının bilinmelerine rağmen deprem etkisindeki davranışları bilinmemektedir. Farklı eğimlerdeki doğal taştan imal edilen dalgakıranların dalga etkisindeki stabilitelelerinin araştırılmasına karşın, bazı yapay blokların dalga etkisindeki araştırmaların sınırlı olması nedeniyle, ya çalışılan eğimde imal edilmelerine ya da model deneylerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Dalgakıranların koruma elemanlarının deprem etkisindeki davranışları ise bilgi yetersizliği nedeniyle dikkate alınmamaktadır. Geleneksel iki tabakalı sistem uzun yıllar tercih edilirken son yıllarda tek tabaka yerleştirilen beton bloklar geliştirilmiştir. Tek tabaka yerleştirilen bloklar daha ekonomik olması nedeniyle tercih edilmeye başlanmıştır. En popüler tek tabaka olarak kullanılan beton bloklar Accropode ve Core-locTM’tur. Accropode, 1981 yılında Sogreah tarafından, Core-locTM ise 1996 yılında the US Army Waterways Experiment Station tarafından geliştirilmiştir. Accropode ve Core-locTM geleneksel iki tabakalı dalgakıranlara göre dalga etkisinde büyük dalga yüksekliklerinde bile daha stabil davranmaktadır. Bu özellikleri yüksek kilitlenme yetenekleri sayesinde sağlanmaktadır. Dik eğimli şevlerde kullanılmaya elverişli bloklardır. Tek tabaka kullanılan bu bloklarda büyük dalga yükseklikleri için hasar başlangıcı ile tam hasara ulaşma aralığının oldukça yakın olduğu Van der Meer (1999) [7], tarafından bildirilmiştir. Çevik vd. (2005) [8], yaptıkları çalışmada Core-LocTM bloku dalgakıranların düzenli ve düzensiz dalga etkisi altındaki stabilitelelerini incelemişlerdir. Bu çalışmada

Tek Tabakalı Dalgakıranların Sismik Davranışı

bloklar düzensiz olarak yerleştirilmiştir. Düzensizliğin sağlanabilmesi için bloklar topuktan itibaren dalgakıran yüzeyine belli mesafeden bırakılmıştır.

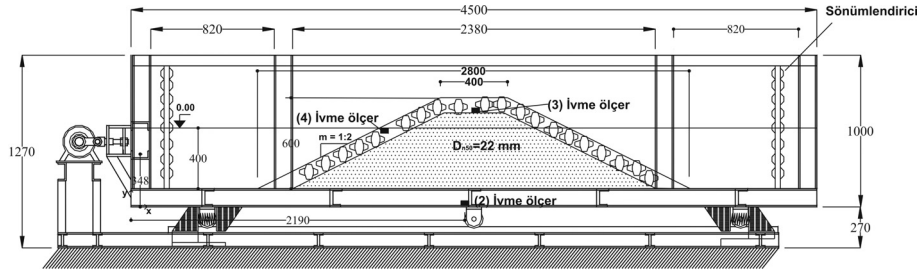
Bu çalışmada sert zemin üzerine yerleştirilen Accropode ve Core-loc™ dalgakıranların sismik yükleme altındaki davranışı deneysel olarak araştırılmış ve hasar modları değerlendirilmiştir.



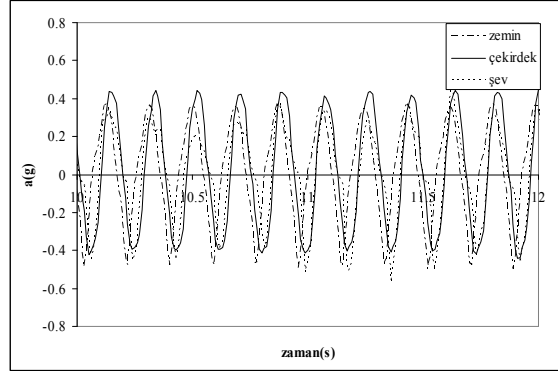
Şekil 1.2 Değişik yapay koruyucu blok tipleri

2. DENEY SİSTEMİ

Modele sismik yüklemenin uygulanabilmesi için bir sarsma tankı geliştirilmiştir. Sarsma tankı 4.5 m uzunluğunda 1 m genişliğindedir ve 1 m yüksekliğindedir. Şekil 2.1’de sarsma tankının genel görünüşü görülmektedir. Tek doğrultuda harekete izin verilmektedir ve uygulanan hareket sinüzoidal formdadır. Sarsma tankının yapacağı ivmeli hareket tankın frekans ve yatay yer değiştirme genliğinin değiştirilmesi ile kontrol edilebilmektedir. Deneylerde üç adet IMI 626A13 ICP model ivme ölçer kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan ivme ölçerlerin aldığı sinyaller LabView’da hazırlanan program yardımıyla bilgisayara kaydedilmektedir. Şekil 2.2’te tipik bir ivme tarihçesi görülmektedir.



Şekil 2.1 Sarsma tankının genel görünüşü (birimler mm’dir)



Şekil 2.2 3 mm genlik 5 Hz frekan durumunda uygulanan sismik hareket için kaydedilen ivme tarihçesi (10-12 s'ler arası)

Kıyı hidrolöği ve kıyı yapıları gibi problemlerde viskozite ve yüzey gerilimi etkin rol oynamadığından modeller için atalet ve ağırlık kuvvetleri dikkate alınmaktadır. Bu koşullarda model benzeşimi için en uygun olan yöntem Froude benzeşimidir. Froude benzeşiminde modeldeki ağırlık kuvvetlerinin atalet kuvvetlerine oranı prototipteki bu kuvvetlerin oranına eşit olmalıdır. Dalgakıran modelleri için seçilen ölçekler 1/20 ile 1/50 arasında değişmektedir. Bu çalışmada seçilen ölçek 1/50'dir ve dalgakıran modelleri 60 cm yüksekliğinde, 1/2 şev eğimine sahiptir. Su seviyesi ise 40 cm olarak seçilmiştir.

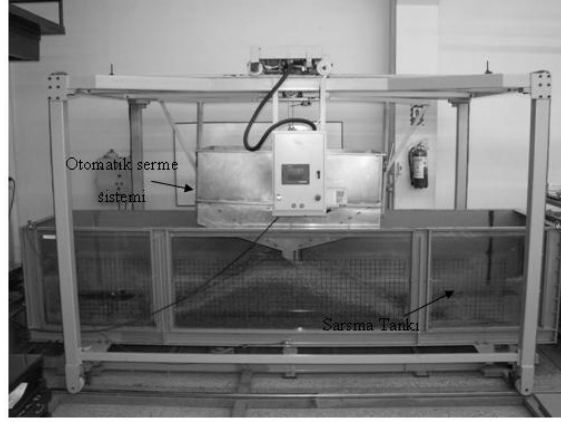
Yapılan çalışmada oluşturulan model üzerine dinamik bir etki söz konusu olduğu için modele uygulanan hareketin ivmesinin ölçeklendirilmesi de önemlidir. Bu çalışmada uygulanan yöntem 1g yöntemidir ve model ile prototipe uygulanan ivme ölçeğinin 1 olmasını gerektirmektedir. Memos vd. (2000) [2]'de taş dolgu dalgakıranlar üzerine yaptıkları çalışmada ivme ölçeğini 1 olarak belirlemişlerdir. Aynı şekilde Hagiwara vd. (2004) [9] ve Sugano vd. (2004) [10], keson tipi kıyı duvarları için yaptıkları çalışmada ivme ölçeği olarak 1 değerini kullanmışlardır.

Accropode ve Core-loc boyutları Hudson formülü ile belirlenmiştir. Bu çalışmada model blok boyutlarına karşılık gelen tasarım dalga yüksekliği her iki blok için 16.50 cm'dir. Accropode için nominal çap, D_n , 4.97 cm ve core-loc için ise 5.04 cm'dir. Accropode ve Core-loc bloklar literatürde önerildiği gibi model üzerine düzensiz şekilde yerleştirilmiştir. Çekirdek malzemesinin boyutu ise $D_{n50}=22$ mm olarak belirlenmiştir. Granümetri sonuçlarına göre (D_{85}/D_{15}) oranı 1.38'dir. Çekirdek malzemesinin karakteristik özelliklerinden biri olan ve boşluk hacminin tüm hacme oranını ifade eden porozite ile malzemenin en sıkı ve en gevşek yerleşim konumlarına karşılık gelen sıklık dereceleri ile karşılaştırılmasını ifade eden rölatif sıklığın her deneyde aynı olabilmesi için Şekil 2.3'te görülen otomatik serme sistemi kullanılmıştır. Çekirdek malzemesinin porozitesi ve rölatif sıklığı sırasıyla %46 ve 0.40 olarak belirlenmiştir.

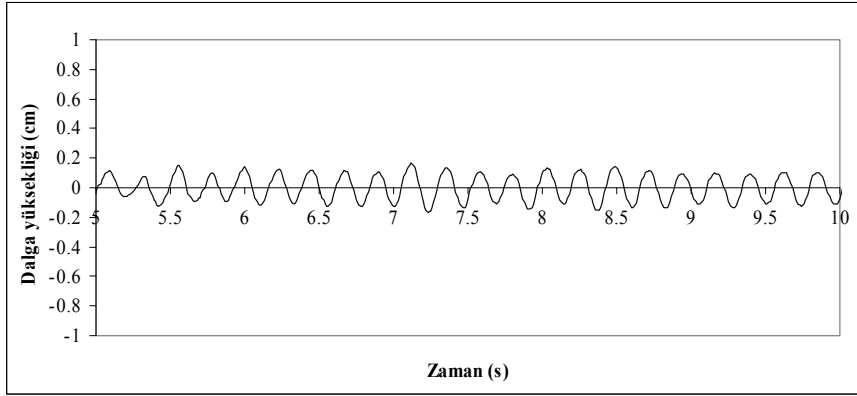
Modeller rijit taban üzerine oturmaktadır. Modeller ile sarsma tankı arasındaki sürtünmeyi prototipteki ile benzeştirebilmek için tank tabanı pürüzlendirilmiştir. Ayrıca, dalgakıran elemanları arasındaki katı-katı sürtünmesi için sürtünme kuvvetleri gerek modelde, gerekse

Tek Tabakalı Dalgakıranların Sismik Davranışı

prototipte elemanların sürtünme ve kilitlenmeleri açısından önem arz etmektedir. Bu durumun üstesinden gelmek için model ve prototipteki elemanları aynı cinsten seçilebileceği Memos vd. (2000) [2], tarafından bildirilmiştir. Böylece model ve prototipteki sürtünme katsayıları aynı kalacaktır. Bu çalışmada benzer şart sağlanmıştır.



Şekil 2.3 Deney sistemi görünümü



Şekil 2.4 1 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri

Sarsma tankında çevrimsel hareket yaratabilmek için kullanıcı tarafından kontrol edilebilen iki parametre mevcuttur. Bunlardan ilki tankın hareket sırasında yapacağı yer değiştirme genliği ve diğeri ise hareketin frekansıdır. Sarsma tankı tek serbestlik dereceli sönümsüz zorlanmış hareket yapan bir sistemdir ve harekete zorlanan sistemin kütlesi elde edilen ivme değerleri üzerinde etkilidir. Her iki modele 1, 2, 3 mm yer değiştirme genliğinde ve farklı titreşim frekanslarında (3, 4, 5 ve 6 Hz) toplam 11 farklı durumda sismik hareket

uygulanmıştır. Model üzerinde değişik noktalarda (zemin, kret ve şev) ivme tarihçileri kaydedilmiştir. Her iki modele aynı frekans ve genlik değerlerinde çevrimsel hareket uygulanmasına rağmen yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı ivme değerlerinde farklılıklar mevcuttur. Ayrıca her deneyden önce ve sonra profil kaydedici ile 5 farklı noktadan modelin profili elde edilmiştir. Sismik hareket sonucunda tank içinde suyun oluşturabileceği çalkantıyı engellemek için tankın iki ucuna sönümlendiriciler yerleştirilmiştir. Bu sönümlendiriciler kapalı tankın yüzeylerinden yansıma sonucu model üzerine etkiyecek ve hidrodinamik etkiyi arttıracak olan çalkantıları engellemektedir. Şekil 2.4'te çevrimsel hareket altında ölçülen çalkantı yüksekliklerinin zamansal değişimi görülmektedir.

2.1 Hasar parametreleri

Deneylerde dalgakıran modellerinin sismik davranışını (deformasyonlarını) tanımlayacak profiller modelin üzerinde 10 cm aralıklarla 5 farklı kesit dikkate alınarak ölçülmüştür. Bu ölçümlerin değerlendirilmesinde modelin sismik hareket etkisinde kalması sonrası gördüğü hasarın değerlendirilmesi için (Şekil 2.5);

- (i) Kretteki maksimum düşey deplasman (S_c) profil kayıtlarından elde edilmiştir. Bu değer, boyutsuz hale getirilmek amacıyla orijinal kesit yüksekliğine (h_i) bölünmüştür. Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$ miktarı her bir deney sonrası, beş farklı kesitteki maksimum oturma değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.
- (ii) Van der Meer (1988a) [11]'in taş dolgu dalgakıranlar için vermiş olduğu hasar tanımı (S) kullanılarak hasar miktarı hesaplanmıştır. Bunun için deformasyon nedeniyle kesit alanındaki değişim (-A) nominal taş çapının karesine bölünmesiyle elde edilmiştir. Deformasyon alanı, şevde oluşan blok hareketleri ile dinamik etki sırasında modelde oluşan sıkışma etkilerini kapsamaktadır. Denklem 1'de hasar ifadesi görülmektedir.

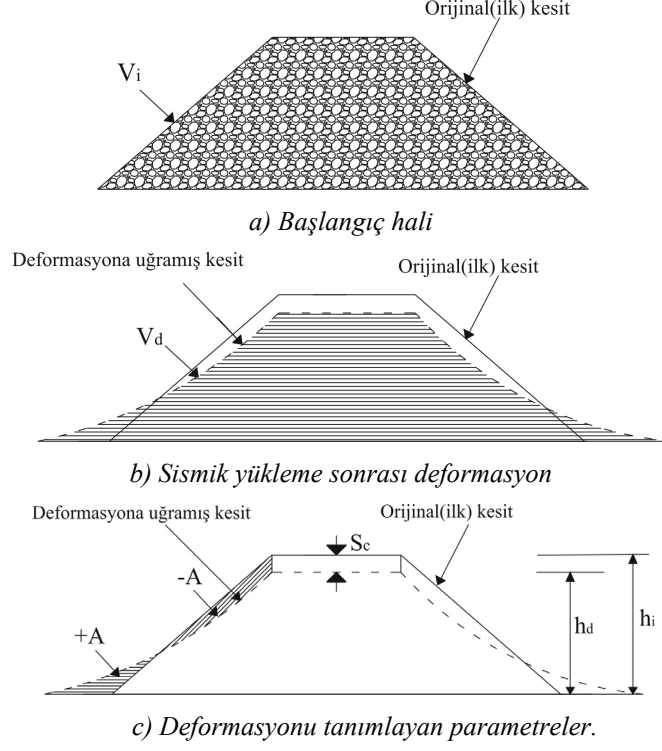
$$S = \frac{-A}{D_n^2} \quad (1)$$

Literatürden bilindiği gibi dalga etkisinde yapay bloklu dalgakıranlarda hasar “göreceli hasar” ile tanımlanmaktadır. Göreceli hasarda dikkate alınan yerinden çıkan blokların sayısıdır. Ancak sismik harekette hasarın bu yöntemle tanımlanması uygun değildir. Bu nedenle sismik hasar; hasara uğramış kesitin tanımlanması ile mümkün olabilecektir. Bununla boyutsuz formu 2. maddede de verilen Van der Meer tarafından tanımlanmış hasar parametresine benzemektedir.

- (iii) Görüntü işleme tekniği ile kret ve şevlerde meydana gelen toplam anlık hasar miktarlarının deformasyonun tamamlanması sonucunda ortaya çıkan toplam hasara oranı alınarak, sismik yükleme süresince her ana ait hasar yüzdeleri $S_a(\%)$ belirlenmiştir.

Tek Tabakalı Dalgakıranların Sismik Davranışı

- (iv) Dalgakıran modeli üzerinde sismik hareket sırasında farklı noktalarda (Şekil 2.1) ivme ölçerlerle ölçülen ivme kayıtlarında elde edilen maksimum ivme değerinin (a_{maks}), zemin ivmesine oranı ivme büyütmesi (A_m) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.5 Deformasyonu belirleyen parametreler

3. DENEY SONUÇLARI

i) Accropode Bloklü Model

Deneylerde modele uygulanan zemin ivmesi aralığı 0.1-0.763g'dir. Üç farklı genlik için, farklı frekans değerinde deneyler tekrarlanmış ve toplam 11 adet deney ile Accropode bloklü dalgakıranların sismik davranışı incelenmiştir. Ayrıca deneyler SVHS kamera ile kaydedilmiş ve model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Boyutsuzlaştırılan sismik parametreler Çizelge 3.1'de görülmektedir.

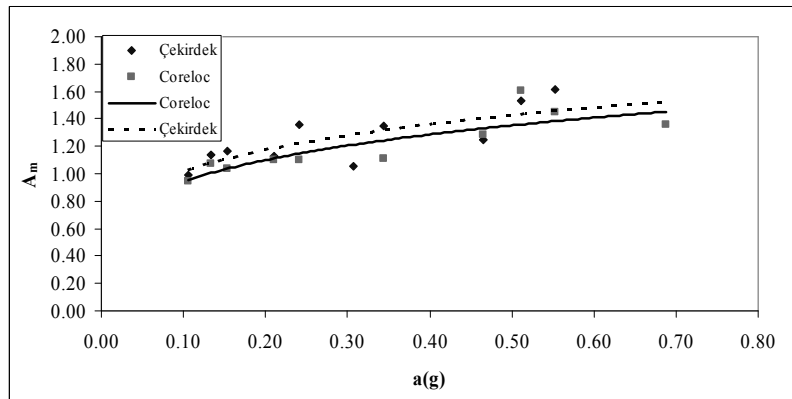
Accropode dalgakıran modelinde şevde ve çekirdekte meydana gelen ivme değişimleri belirlenerek Şekil 3.1'de her iki değişim birlikte gösterilmiştir, böylece ivme büyümesinin çekirdekte daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca deneyler SVHS kamera ile kaydedilmiş ve model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 3.2'de 3 mm genlik 5 Hz deney

koşullarında oluşan hasarın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Hasarın yaklaşık %80'lik kısmı ilk 10 s içinde olurken, yaklaşık 30 s'lik süre sonunda hasar tamamlanmaktadır.

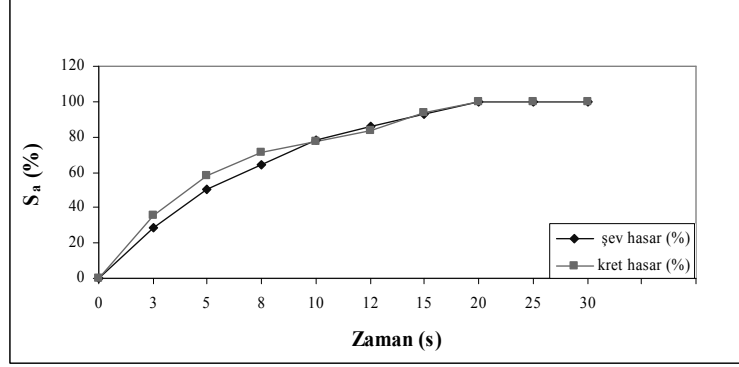
Çizelge 3.1 Accropode bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

| Deney No | Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$ | Hasar seviyesi (S) | Sismik ivme a(g) | Çekirdek İvme büyümesi (A_m) | Accropode İvme büyümesi (A_m) |
|----------|--|--------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 0103ACC | 0.012 | 1.03 | 0.100 | 0.930 | 0.882 |
| 0104ACC | 0.025 | 2.03 | 0.224 | 0.906 | 0.872 |
| 0105ACC | 0.119 | 2.80 | 0.397 | 1.230 | 1.486 |
| 0106ACC | 0.158 | 5.99 | 0.531 | 1.888 | 1.314 |
| | | | | | |
| 0203ACC | 0.014 | 1.25 | 0.151 | 1.314 | 1.312 |
| 0204ACC | 0.045 | 2.17 | 0.320 | 1.261 | 1.105 |
| 0205ACC | 0.162 | 3.12 | 0.441 | 1.581 | 1.654 |
| 0206ACC | 0.225 | 6.12 | 0.552 | 1.614 | 1.448 |
| | | | | | |
| 0303ACC | 0.018 | 0.78 | 0.138 | 1.208 | 1.198 |
| 0304ACC | 0.079 | 2.53 | 0.357 | 1.438 | 1.048 |
| 0305ACC | 0.198 | 5.01 | 0.535 | 1.535 | 1.609 |



Şekil 3.1 İvme büyütme değerlerinin değişimi

Tek Tabakalı Dalgakıranların Sismik Davranışı



Şekil 3.2 Accropode bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

ii) Core-Loc™ Bloklı Model

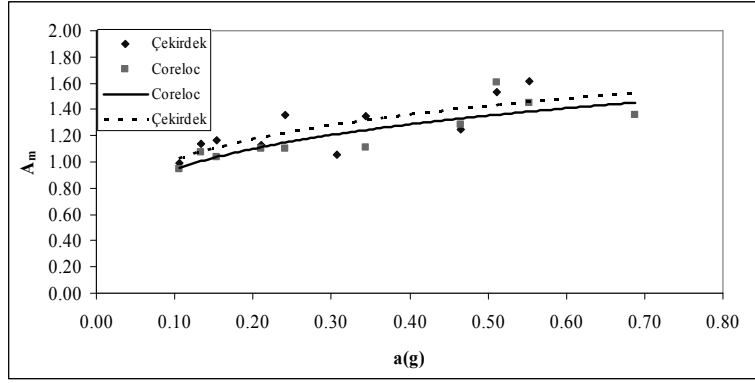
Deneylerde modele uygulanan zemin ivmesi aralığı 0.154-0.687g'dir. Üç farklı genlik için, farklı frekans değerlerinde deneyler tekrarlanmış ve toplam 11 adet deney ile Accropode bloklı dalgakıranlara benzer şekilde Core-loc™ bloklı dalgakıranların sismik davranışı incelenmiştir. Boyutsuzlaştırılan sismik parametreler Çizelge 3.2'de görölmektedir.

Çizelge 3.2 Core-loc™ bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

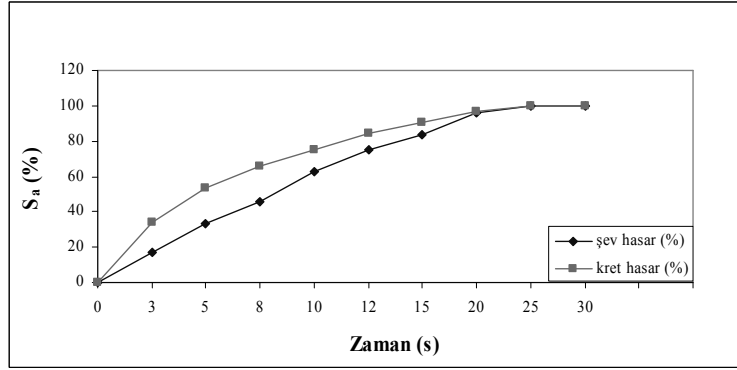
| Deney No | Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$ | Hasar seviyesi (S) | Sismik ivme a(g) | Çekirdek İvme büyümesi (A _m) | Core-loc™ İvme büyümesi (A _m) |
|----------|--|--------------------|------------------|--|---|
| 0103COR | 0.011 | 0.65 | 0.154 | 1.166 | 1.038 |
| 0104COR | 0.025 | 1.33 | 0.210 | 1.132 | 1.102 |
| 0105COR | 0.073 | 1.90 | 0.345 | 1.347 | 1.106 |
| 0203COR | 0.014 | 0.82 | 0.106 | 0.992 | 0.941 |
| 0204COR | 0.028 | 1.48 | 0.241 | 1.354 | 1.105 |
| 0205COR | 0.148 | 2.93 | 0.466 | 1.250 | 1.287 |
| 0206COR | 0.235 | 5.20 | 0.552 | 1.614 | 1.448 |
| 0303COR | 0.017 | 1.05 | 0.134 | 1.137 | 1.076 |
| 0304COR | 0.051 | 1.94 | 0.307 | 1.059 | 0.898 |
| 0305COR | 0.182 | 5.90 | 0.511 | 1.535 | 1.609 |
| 0306COR | 0.246 | 7.74 | 0.687 | 1.007 | 1.357 |

Şekil 3.3’de şevde ve çekirdekte oluşan ivme büyütme gösterilmiştir. Çekirdekteki ivme büyütmesinin daha büyük olduğu görülmektedir.

Model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 3.4’de 3 mm genlik 5 Hz deney koşullarında oluşan hasarın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Hasarın yaklaşık %80’lik kısmı ilk 10 s içinde olurken, yaklaşık 30 s’lik süre sonunda hasar tamamlanmaktadır.



Şekil 3.3 İvme büyütme değerlerinin değişimi



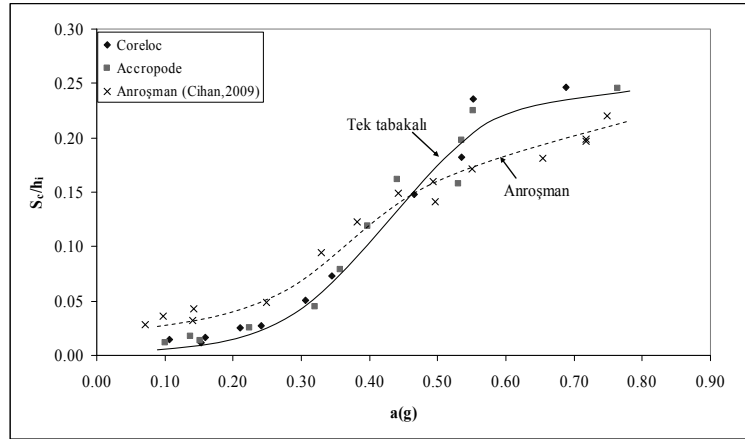
Şekil 3.4 Core-loc™ bloklu dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

Şekil 3.5’de Accropode ve Core-loc™ bloklar ile Cihan (2009) [12] tarafından koruma tabakasında anroşman elemanların kullanıldığı, geleneksel iki tabakalı taş dolgu dalgakıranlar (topuklu) için gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarına göre kesit yayılmasını da içeren birim oturmanın zemin ivmesine göre değişimleri görülmektedir. Tek tabaka kullanılan blokların davranışı benzer özellikler göstermesinden dolayı ivmeye karşılık birim oturmada oluşan değişim tek bir eğri ile gösterilmiştir. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi

Tek Tabakalı Dalgakıranların Sismik Davranışı

tek tabakalı modeller için 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerinde oluşan birim oturmaların büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görülmektedir. Anroşmandan oluşan topuğa sahip taş dolgu dalgakıran da ise ivme ile birim oturma arasındaki değişimin eğilimi tek tabakalı dalgakıranlara benzemekle birlikte, 0.45g ivme değerlerine kadar tek tabakalı dalgakıranlardan daha büyük birim oturma değerlerine sahipken daha yüksek ivme değerlerinde birim oturma değerleri tek tabakalı dalgakıranlarda daha büyük olmaktadır. Bunun nedeni ölçümlerle elde edilen birim oturmaların hem sismik etki sırasında çekirdek malzemesinin boşlukları doldurarak sıkışması hem de koruma tabakasındaki elemanların olası yer değiştirmelerini içermesidir (Bu çalışmada gerek anroşman gerekse bloklu modellerdeki çekirdek malzemesi tamamen aynı özelliklerde yapılandırılmıştır). Tek tabaka bloklar yüklenme etkisinde tekil olarak değil grup halinde direnç göstermeleri sebebiyle oluşan yer değiştirmeler sonucunda krette, büyük ivme değerlerine karşılık, yerel olarak büyük oturma değerleri oluşmaktadır.

Çevrimsel hareket altında şevlerdeki blokların hareketlerinin gözlenememesi ve dalgakıran çekirdek malzemesinin sıkışması sonucunda şevlerde oluşan hasar seviyesinin belirlenmesinde daha önce belirtildiği gibi sismik davranışı da tanımlama özelliği nedeniyle Van der Meer'in önerdiği ifade kullanılmıştır. Van der Meer (1988a) [13]'ya göre dalga etkisi altında hasar başlangıcı koruma tabakasındaki bazı blokların yer değiştirmesine rağmen onarım gerektirmeyen durumu ifade ederken, tam hasar durumunda blokların yer değiştirmeleri sonucunda filtrenin ortaya çıkması ve dalga etkisine karşı korumasız kalması olarak ifade edilmektedir. $\frac{1}{2}$ şev eğimine sahip yapılarda hasar başlangıcı olarak $S=2$ değeri tanımlanırken, tam hasar durumu için $S=8$ değeri tanımlanmıştır. Sismik etki altında şevde oluşan hasarın gerek anroşman gerekse yapay bloklu dalgakıranlarda benzer özellik gösterdiği yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Bunun nedeninin sismik etki altında yapının davranışında baskın role çekirdek malzemesinin sahip olmasının olduğu düşünülmektedir. Koruma tabakasındaki blokların ya da anroşman malzemesinin özellikleri davranış üzerinde ikincil derecede önemlidir.



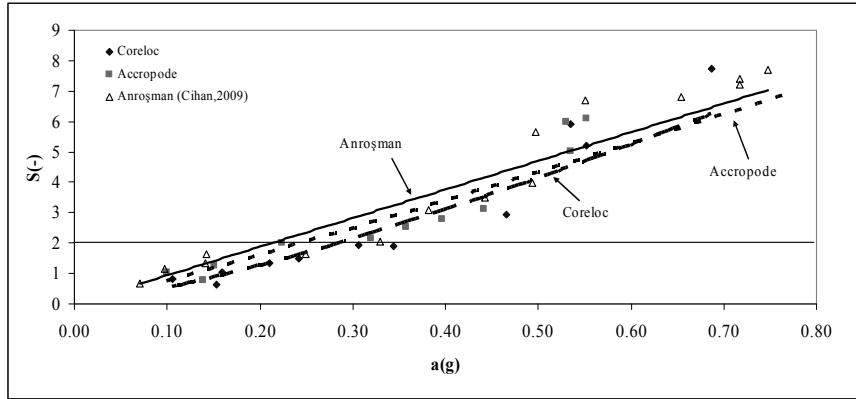
Şekil 3.5 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Şekil 3.6'da şevdeki hasar seviyesi (S) ile zemin ivmesi değerlerinin değişimi Accropode ve Core-Loc™ ile koruma tabakasında anroşman elemanların kullanıldığı, topuğa sahip geleneksel iki tabakalı taş dolgu dalgakıranlar için birlikte görülmektedir. Değişimin korelasyon katsayısı Accropode ve Core-loc™ için $R=0.95$ olarak hesaplanmıştır ve iki değişken arasındaki uyum oldukça iyi olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi zemin ivmesindeki artış ile hasar seviyeleri üç tip model için artmaktadır. Accropode için hasar başlangıcı $0.25g$ 'de, Core-loc™ için ise $0.3g$ 'de oluşmaktadır. Her iki blok için de tam hasar ($S>8$) durumu, mevcut deney şartlarında oluşmamıştır. Kesitin rijit taban üzerinde olması, Core-loc™ ve Accropode blokların yüksek kenetlenme yetenekleri, yüksek zemin ivmelerine karşı direnç göstermelerine sebep olmaktadır.

Topuğa sahip geleneksel iki tabakalı dalgakıran modeli ise hasar başlangıcı durumuna daha erken ulaşmaktadır ($0.2g$). Anroşmanın daha düşük kenetlenme özelliği ve stabilitenin blokların tekil davranışına bağlı olması sismik etki altında şevde önemli miktarda elemanın yer değiştirmesine sebep olmaktadır (Cihan, 2009) [12].

Yapay blokların dalga etkisine karşı daha büyük dayanıma sahip olmasına rağmen, sismik etki altında görülen hasar tipi, topuğa sahip anroşman ve yapay bloklar için benzer özellikler göstermektedir. Bu durum karşısında anroşman malzemenin kullanılması düşünülen bir yapı için, eğer bölge sismik hareket açısından aktif bir bölgede ise dalga şartları ne olursa olsun, yapı topuklu yapılmalıdır (Cihan, 2009) [12]. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi $0.5g$ 'den büyük ivme değerlerinde anroşman malzemesinin hasar seviyeleri yapay bloklara göre daha fazla saçılım göstermektedir. Bu bölgelerde yapay blokların tercih edilmesi yapının dayanımı açısından faydalı olacaktır. Ayrıca tek tabaka kullanılmaları ve betondan hızlı bir şekilde üretilibilmeleri, maliyetlerin düşmesine katkı sağlayabilir. Ancak bu konuyla ilgili daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.6 Hasar seviyesi (S) ile zemin ivmesi değerlerinin değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Accropode ve Core-loc™ bloklu dalgakıranlar ile korunan dalgakıranların sismik yük altında stabilitesi 1g model yöntemi ile incelenmiştir. Dalgakıran modelleri rijit taban üzerine yerleştirilerek sadece modeli oluşturan elemanların davranışı zemin malzemesinin davranışından bağımsız olarak gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Accropode ve Core-loc™ bloklar için birim oturmanın 0.3-0.5g aralığında arttığı, 0.5 g'den sonra artış miktarının azalarak nihai duruma ulaştığı belirlenmiştir. Geleneksel iki koruma tabakalı topuğa sahip taş dolgu dalgakıranların birim oturma değerlerinin 0.4 g'den sonra tek tabakalı dalgakıranlara göre daha az olduğu belirlenmiştir.
- 2- Şevdeki hasar seviyelerinin değişimine göre hasar başlangıcı (S=2) durumuna Accropode ve Core-loc™ bloklar için sırasıyla 0.25g ve 0.30g ivme değerlerinde ulaşılmıştır. Her iki blok için de tam hasar durumuna (S>8) mevcut deney şartlarında ulaşılmamıştır. Benzer karakterdeki bu iki bloğun arasındaki bu farkın, Core-loc™ blokların kilitlenme yeteneklerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Geleneksel iki koruma tabakalı topuğa sahip taş dolgu dalgakıranlar ise hasar başlangıcı 0.20g'de oluşmaktadır. Tam hasar durumuna bu model için de ulaşılmamıştır.
- 3- Deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; bir boyutlu sinüzoidal etki altında her iki blok için deformasyonun %80'lik kısmının ilk 10 s'de, deformasyonun geri kalan kısmının ise yaklaşık 30. s'de oluştuğu belirlenmiştir.
- 4- Yapılan deney sonuçlarına göre iki blok tipi de yüksek ivme değerlerine kadar direnç göstermektedir. Ancak tek tabaka olarak kullanılan bu blokların tekil olarak değil tabaka halinde davranış göstermesi, sismik yükleme altında şevde çok sayıda bloğun yer değiştirmesi ve filtre tabakasının ortaya çıkması riskini de beraberinde getirmektedir. Van der Meer (1999) [7]'in tek tabaka dalgakıranların dalga etkisinde belirlediği bu davranış, sismik yükler altında da gözlemlenmiştir.
- 5- Tek tabaka kullanılan yapay bloklar dalga etkisinde yüksek stabiliteye sahiptir. Bu çalışmada aynı durum sismik etki altında, anroşmana kıyasla tek tabaka kullanılan bu blokların, çok büyük fark olmasa da daha stabil oldukları belirlenmiştir. Ayrıca iki tabakalı kullanılan yapay bloklar (tetrapod, küp gibi) dalgakıran inşasında tercih edilebilecek blok tipleridir. Ancak yüksek stabiliteye sahip blokların dik eğimlerde kullanılabilmesi, anroşmana göre yapım maliyetini düşürmektedir. Hasar durumunda ise onarım maliyetleri açısından bakıldığında anroşman (eğer taş ocağı yakınsa) daha ucuz ve kalifiye işçilik gerektirmemektedir. Yapay bloklar için ise tek tabaka bloklar kullanılan beton hacminden tasarruf sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen İÇTAG I846 (104I007) No'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a verdiği maddi destekten dolayı teşekkür ederler. Yazarlar çalışmaya yapmış olduğu önerilerden dolayı Dr. Van der Meer'e teşekkür ederler.

Semboller

- D_n : Nominal çap
 D_{85} : malzemenin %85'inden küçükoluğu çap değeri
 D_{15} : malzemenin %15'inden küçükoluğu çap değeri
 S_c : krette oluşan oturma miktarı
 h_i : başlangıç model yüksekliği
 h_d : hasara uğramış model yüksekliği
 a_{maks} : maksimum ivme değeri
 A_m : ivme büyümesi
 S : hasar seviyesi
 V_i : modelin başlangıç hacmi
 V_d : hasara uğramış modelin hacmi
 $-A$: hasara uğramış modelin şevinde oluşan oturma alanı
 $+A$: hasara uğramış modelde oluşan yığılma alanı

Kaynaklar

- [1] Memos, C.D. and Protonotarios, J.N., 1992, "Patras Breakwater Failure due to Seismic Loading", ICCE, 1992, Venice, pp. 3343-3356.
[2] Memos, C., Bouckovalas, M. and Tsiachris, A., 2000, "Stability of Rubble Mound Breakwaters Under Seismic Action", Proceedings of the Conference ASCE, Sydney Australia, pp. 1585-1598.
[3] Yuksel, Y., Alpar, B., Yalciner, A.C., Cevik, E., Ozguven, O. and Celikoglu, Y., 2003, "Effects of the Marmara Earthquake on the Marine Structures and Coastal Areas" J. of Water and Maritime Engr., 156, ICE, pp. 147-163.
[4] Yuksel, Y., Çetin, K.O., Ozguven, O., Isik, N.S., Cevik, E. and Sumer, B.M., 2004, "Seismic Response of a Rubble-Mound Breakwater in Turkey" J. of Maritime Engr., 157, ICE, pp. 151-161.
[5] Ergin, A., Yüksel, Y., (2006), "Deprem Ve Tsunami Yükleri Altında Kıyı Yapıları Tasarımına Yeni Bir Yaklaşım: Davranışa Dayalı Tasarım", Sigma, 1-13.
[6] PIANC, (2001), Seismic Design Guidelines for Port Structures.
[7] Van der Meer, J.W., "Design of Concrete Armour Layers", Proceedings of the International Conference Coastal Structures, Santander, Spain, 1, 213-221, 1999.
[8] Çevik, E., Cihan, K., Yüksel, Y., (2005), "Stability for Structures Armored With Core-loc™", Turkish Journal of Eng. and Environmental Sciences, Volume 29, Number 4, 2005, 225-233.

- [9] Hagiwara, T., Yamazaki, H., Shiraishi, S., Fukumori, Y., Satoh, Y., Hirano, T., Yamada, H., Yamada, T., (2004), "Experimental study on stability of a caisson type quay wall by the artificial drain method using recycle material during earthquake", Oceans '04. Mts/Ieee Techno-Ocean:2092-2097, 9-12 November2004, Kobe.
- [10] Sugano, T., Nakamichi, M., Sugaya, M., Sezaki, Y., Iwai, T., Moriya, M., Horaya, K., (2004), "Development of "wedged caisson" as a quay wall structure and its application to Hidaka-port Japan", Oceans '04. Mts/Ieee Techno-Ocean '04, 4:2072-2077, 9-12 November 2004, Kobe.
- [11] Van der Meer, J.W., 1988, "Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack" PhD Thesis, Delft Hydraulics Communication No: 396.
- [12] Cihan, K., (2009), "Taş Dolgu Dalgakıranların Sismik Davranışı", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye