

**Prof. Dr. Yalçın Yüksel**

yuksel@yildiz.edu.tr

**Dr. Kubilay Cihan**

kcihan@yildiz.edu.tr

**Anıl Uluşan**

anulusan@gmail.com

**Bilge Bulgurlar**

bulgurlar@karemaden.com.tr

Yıldız Teknik Üniversitesi,

İstanbul

**Hülya Karakuş**

ODTÜ, Ankara

khulya@metu.edu.tr

# Keson ve L Tipi Rıhtım Yapılarının Sismik Yükler Altında Davranışı

## Özet

*Yük taşımacılığının önemli bir bileşeni olan deniz yolu taşımacılığının önemli elemanlarından biri limanlardır. Limanlarda gemilerin yüklerini elleçleyebilmeleri için inşa edilen ağırlık tipi rıhtım yapılarının tasarımında deprem yüklerinin de dikkate alınması gereklidir. Bu çalışmada sağlam bir zemine oturan keson ve L tipi yanaşma yapılarının çevrimsel yük altındaki davranışı deneysel olarak çalışılmıştır. Modeller 0.40 m yüksekliğe sahiptir ve betondan imal edilmişlerdir. Model ölçeği 1/10'dur. Modellere uygulanan çevrimsel hareketin ivme değerleri 0.12-0.6g arasındadır. Deneyler sırasında ivme, toprak basınçları ve yer değiştirmeler ölçülmüştür. Ayrıca profil kaydedici yardımıyla geri dolgudaki deformasyonlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** keson, L tipi, deprem, fiziksel model, deney

## Giriş

Tüm dünyadaki ekonomik faaliyetlerin kilit noktasını oluşturan limanlar, büyük yatırımlar gerektiren yapılardır. Küreselleşme sonucu ticari malların üretimi için ihtiyaç duyulan hammaddelerin taşınması ya da üretilen malların dünyanın diğer bölgelerine aktarılması birçok limanı kapsayan ticaret yollarını oluşturulmuştur. Bu limanlardan birinin deprem gibi herhangi bir sebepten dolayı işlevini yerine getirememesi sadece o limanın bulunduğu yerel ekonomiyi değil, tüm dünya ekonomisini etkileyecektir. Bu sebeple bu yapıların tasarımına dikkatli öze gösterilmelidir.

Liman yapılarında L tipi, keson, beton blokluk gibi çeşitli ağırlık tipi yanaşma yapıları kullanılabilir. Bu yapıların tasarımlarının güvenilir ve ekonomik şekilde yapılabilmesi için tasarım yüklerinin akıntı, dalga ve sismik etkiler altında doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Depremler yüzünden oluşan zarar ve kayıpların azaltılması amacıyla, sismik tasarım yöntemleri, 20.yy'ın başlarından itibaren birçok bölgede kurallar ve standartlar ile tasarım uygulamaları geliştirilmiş ve gerçekleştirilmiştir.

Ağırlık tipi yanaşma yapılarının sismik etki altındaki davranışı deneysel ve sayısal olarak çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Bu yazı, İnşaat Mühendisleri Odası 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu'nda sunulmuştur.

Bazı araştırmacılar, ağırlık tipi yapıların deprem sırasında yapacağı yatay yer değiştirmeyi belirlemek için bazı analitik yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemler Newmark kayan blok yöntemine dayanmaktadır. Richard-Elms yöntemi (1979), Nadim-Whitman yöntemi (1986), Whitman-Liao yöntemi (1986) en iyi bilinen yöntemlerdir. Ancak bu yöntemler, deprem sırasında geri dolgudaki boşluk suyu basıncının değişimini hesaba katmamakta ve sıvılaşma etkisini gözardı etmektedirler.

Sugano ve diğ. (1996), 1995 Hyogoken-Nanbu depremi sırasında Kobe limanında 250 'nin üzerinde keson tipi rıhtım duvarının hasar gördüğünü tespit etmiştir. Tipik gözlemler sonucunda keson duvarlarda denize doğru maksimum 5m yatay yer değiştirme (ortalama 3 m) ve 1 m oturma görülmüştür. Aynı zamanda keson duvarın döndüğü gözlenmiştir. Keson duvarlardaki hasarın mekanizmasını incelemek için geoteknik araştırmalar, arazi ölçümleri, sarsma tablası testleri ve efektif gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Kim ve diğ. (2004) yaptıkları deneysel çalışmada, deprem yükü altında ağırlık tipi rıhtım duvarlarının davranışını araştırmışlardır. Çalışmada duvarın arkasına tesir eden dinamik itme kuvvetinin şiddetini ve faz değişimini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarla elde ettikleri sonuçları basit ampirik eşitliklerle hesaplayarak dinamik itme kuvvetinin faz değişimini ve büyüklüklerini karşılaştırmışlardır. Kim ve diğ. (2005)'te yaptıkları deneysel çalışma sonucunda, bir kıyı duvarının deprem sırasında yapacağı yatay yer değiştirmeyi elde etmek için analitik bir yöntem önermişlerdir. Hagiwara ve diğ., (2004), yaptıkları çalışmada yeni yapay bir drenaj sisteminin sıvılaşma ve keson duvarın yanıl ötelenmesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sugano ve diğ. (2004)'ün yaptığı bir diğer çalışmada ise yeni bir tip rıhtım duvarı olan kama tipi keson geliştirmişlerdir. Bu tip yapılar toprak tarafına doğru eğim verilmiş taban malzemesi üzerine yerleştirilmektedir. Kaymaya karşı güvenlik belli bir değere kadar taban eğimiyle birlikte artmasından dolayı, kesonun genişliği geleneksel keson genişliğine göre azaltılabileceği belirlenmiştir. Hazariki ve diğ. (2006), geri dönüşümlü malzemeden oluşan dolgu tarafından korunan; ağırlık tipi keson duvarlara bir seri sarsma tablası testi uygulamışlardır. Bu testlerde; rıhtım duvarı üzerinde etkili olan ivme ile dinamik yük, geri dolguda farklı konumlardaki boşluk suyu basıncının artması ile birlikte kalıcı yer değiştirmelere neden olduğu görülmüştür. Sadrekarimi ve diğ. (2008), yaptıkları çalışma ile kambur sırtlı ağırlık tipi kıyı duvarlarının statik ve dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Bir istinat duvarının arkasında oluşan yanıl basınçları etkileyen parametrelerden biri duvarın arka yüzünün şeklidir. Bu amaçla betondan imal edilmiş kambur sırtlı ağırlık tipi kıyı duvarı için 1g sarsma tablası testleri gerçekleştirilmiştir. Moghadam ve diğ. (2009), keson tipi rıhtım duvarlarının; oturma, devrilme ve denize doğru yer değiştirmesini azaltan, şekil değiştirebilen levhaların etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada duvar iki durumda test edilmiştir. Bunlardan birinde şekil değiştirebilen levha kullanılmış, diğerinde ise kullanılmamıştır.

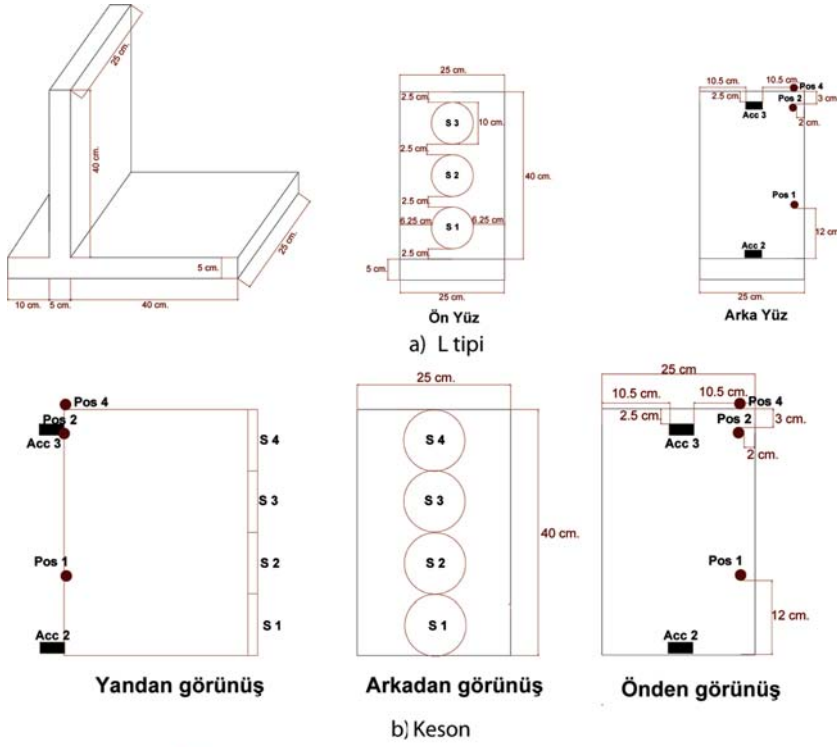
Yamamoto ve Ichii (2008), limanlardaki fonksiyonel hasar, bölgede ağır ekonomik hasarlara yol açtığından dolayı; rıhtım duvarları ve yükleme-boşaltma ekipmanlarında sismik tasarımın önemini ifade etmişler ve bu çalışmada, bir rayı onarmak için gerekli olan sismik tasarım, ancak göreceli yer değiştirmeye neden olan deprem ile mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Kesonların rölatif yer değiştirmesini hesaplamak için stokastik bir yöntem önermişlerdir. Callisto ve Soccodato , (2009)'nın yaptıkları çalışmalar, davranışa dayalı tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi yolundaki önemli çalışmalar arasında yer almaktadır.

Literatürde ağırlık tipi yapıların deprem etkisi altındaki davranışını sonlu farklar/sonlu elemanlar yöntemi ile belirlemeye çalışan sayısal modelleme çalışmaları da mevcuttur. Yang ve diğ., (2001) depreme bağlı yanıl deplasmanların sayısal yöntemlerle incelenmesini, Alyami ve diğ., (2009) kıyı yapılarının deprem yükleri altındaki deplasman hesaplarını, Anastasopoulos ve diğ. (2010) ise betonarme istinat duvarlarının sarsma tankı ile sismik etkiler altındaki davranışlarının sayısal modellemesini yapmışlardır. Ayrıca Tiznado ve Roa, (2011), yaptıkları çalışmada taneli zeminler üzerinde inşa edilmiş istinat duvarlarının deprem etkisinde yapacağı yanıl yer değiştirmeyi tahmin edebilmek için sayısal çözümler yapmış ve analitik bir yöntem önermişlerdir.

Yüksel ve diğ., (2002), 1999 Doğu Marmara depreminin kıyı yapıları üzerindeki etkilerini saha çalışmaları ile inceleyerek, bölgedeki kıyı yapılarında oluşan hasar modlarını ve sebeplerini araştırmışlardır.

Bu çalışmada L tipi ve keson yanaşma yapılarının çevrimsel yük altındaki davranışını deneysel olarak incelenmiştir. Çevrimsel yük altında yapı üzerinde oluşan zemin itme basınçları, ivme değerleri ölçülmüş ve bu şartlar altında yapıdaki kalıcı yer değiştirmeler belirlenmiştir.





c) L tipi



d) Keson

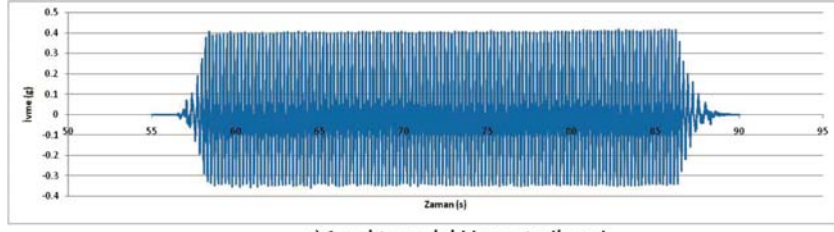
Şekil 2 - Deneylerde kullanılan modeller

## Deney Sonuçları

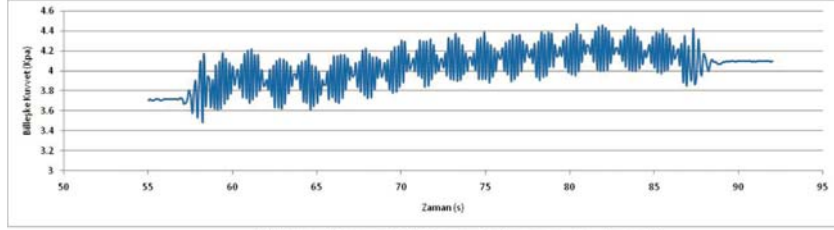
L ve keson tipi yanaşma yapılarının çevrimsel yük altındaki davranışını anlamak için her iki model için bir seri deney yapılmıştır. Çevrimsel yükleme için 3-6 Hz'lik frekans aralığı seçilmiştir. Her iki model yüksekliği 0.40 m'dir ve modeller betondan imal edilmişlerdir. Şekil 3'te deneyler sırasında yapılan tipik ölçümler görülmektedir.

Toprak basınçlarını tespit edebilmek için L tipi modelde 3 adet, keson tipi modelde 4 adet toprak basıncı ölçer kullanılmıştır. Salınım sırasında elde edilen veriler düzenli ve düzensiz bileşenlere ayrılarak, deprem sırasındaki basınç artışları tespit edilmiştir. Şekil 4'te L tipi model için S1 noktasında ölçülen basınç kaydı ile düzenli ve düzensiz bileşenleri görülmektedir.

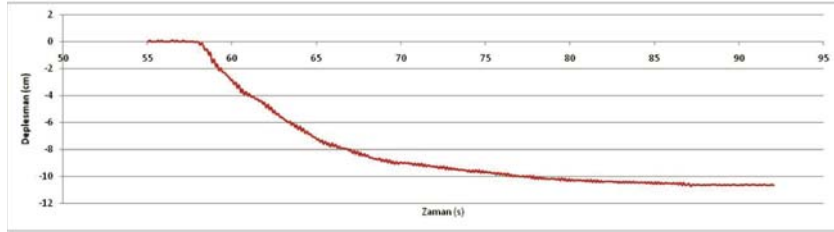
Şekil 5'te salınım sırasında oluşan maksimum toprak basınçlarının derinlik boyunca değişim her iki model için verilmiştir. Derinlik boyunca basınç değişiminin her iki model için de doğrusala yakın olduğu ve derinlik boyunca arttığı belirlenmiştir. Ancak L tipi modelde oluşan maksimum basınç değerleri, kesona göre daha düşüktür. Şekil 6'da kalıcı yatay yer değiştirmenin yapı yüksekliğine oranının (yüzde cinsinden) taban ivmesiyle olan değişimi gösterilmiştir. Şekil 6'ya göre, L tipi mo-



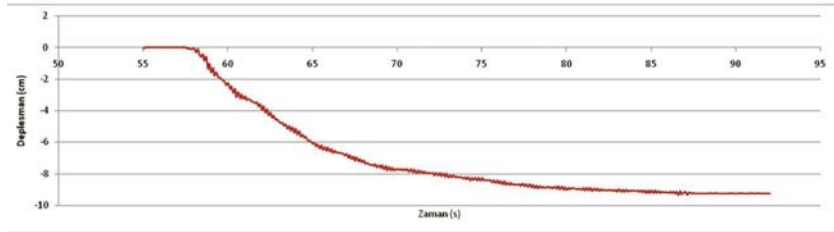
a) 1 noktasındaki ivme tarihçesi



b) S1 noktasındaki toprak basıncı tarihçesi



c) D1 noktasındaki yatay yer değiştirme tarihçesi



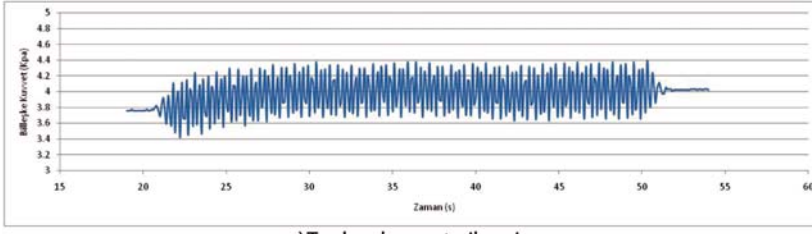
d) D2 noktasındaki yatay yer değiştirme tarihçesi

**Şekil 3** - Deneyler sırasında yapılan tipik ölçüm kayıtları (L tipi, 5Hz için)

delde oluşan yer değiştirme, kesona göre daha düşük miktardadır. Bu durum L tipinde ölçülen maksimum toprak basınçlarının daha düşük olmasıyla ilişkilidir. DLH, (2008) şartnamesine göre minimum hasar seviyesinin üst sınırı olan  $S/H < 1.5$  her iki model de yaklaşık 0.3g civarında ulaşılırken, kontrollü hasar seviyesinin üst sınırı olan  $S/H < 5$  değerine keson için 0.4g'de ve L tipi model daha büyük taban ivmesi değerinde ulaşılmaktadır.

Şekil 7'de ise her iki model için salınım sonrası denize doğru oluşan kalıcı eğikliğın, taban ivmesiyle değişimi görülmektedir. DLH, (2008) şartnamesine göre minimum hasar için  $\alpha < 3^\circ$  şartı bütün deney koşulları için sağlanmıştır. Bu durum her iki modelinde salınım sırasında etkili olan kuvvetlere direnç gösteremeyip yanal doğrultuda deniz tarafına doğru yer değiştirmesi ve deney şartlarında model temelinde deformasyona izin verilmemesiyle açıklanabilir.

DLH (2008), şartnamesinde ağırlık tipi rıhtım duvarları için performans limitlerinden biri de duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma miktarıdır. Şartnamede bu değer minimum hasar (MH) düzeyi için 30-70 cm'dir. Şekil 8'de her iki model için profil kaydedeci yardımıyla deneyden önce ve sonra ölçülen profil kayıtlarından elde edilen duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma miktarları görülmektedir. Model ölçeği 1/10 olduğundan sınırlar 3-7 cm olarak dikkate alınmıştır. Keson model 0.4 g civarında minimum hasar düzeyini aşarken, L tipi model daha büyük ivme değerlerinde aşmaktadır.



a) Toplam basınç tarihçesi

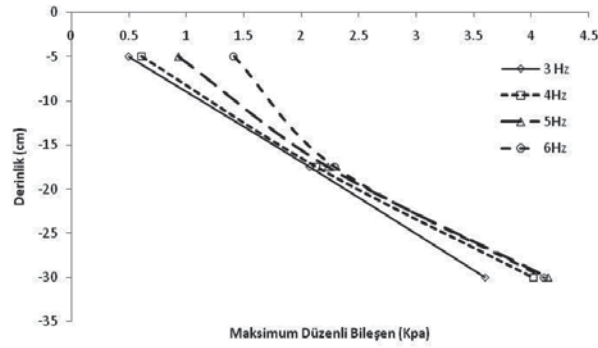


b) Düzenli bileşen tarihçesi

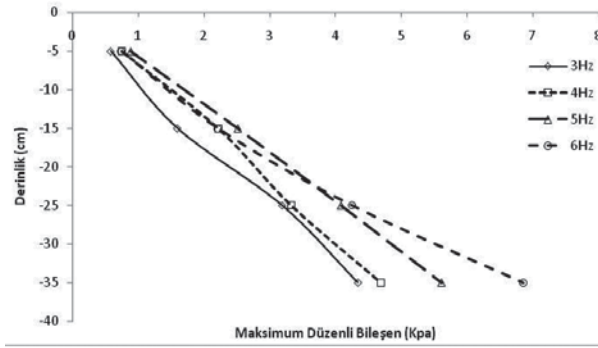


c) Düzensiz bileşen tarihçesi

Şekil 4 - S1 noktasında ölçülen basınç kaydı ile düzenli ve düzensiz bileşenleri



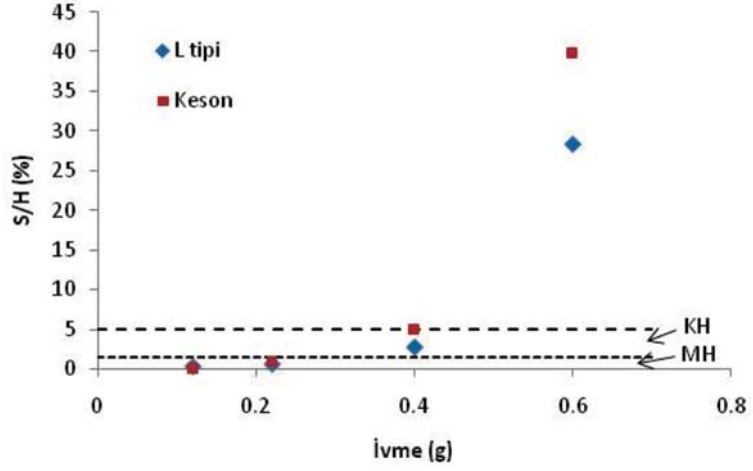
a) L tipi



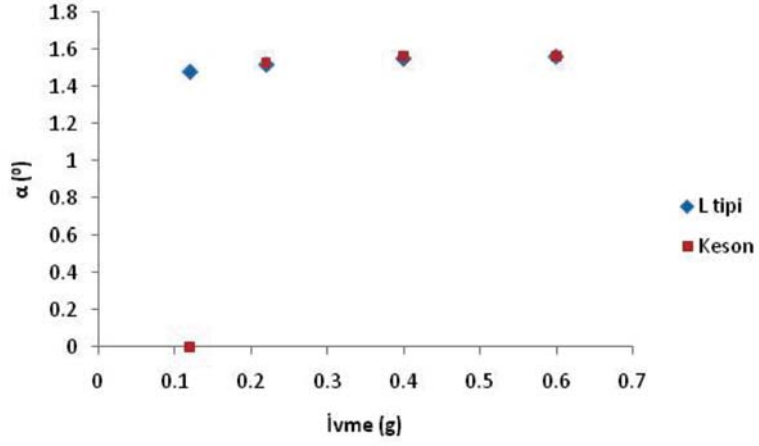
b) Keson

Şekil 5 - Deneyler sırasında ölçülen maksimum toprak basınçlarının derinlikle değişimi

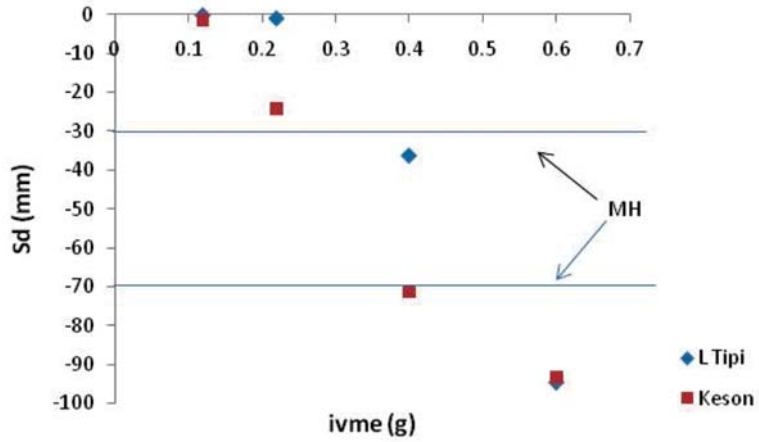




Şekil 6 - Her iki model için yatay yer değiştirmenin yapı yüksekliğe oranının taban ivmesi ile değişimi



Şekil 7 - Her iki model için denize doğru kalıcı eğiklik ile taban ivmesi ile değişimi



Şekil 8 - Her iki model için duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma değerleri

## Sonuçlar

Bu çalışmada, Yıldız teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvar'ında sağlam zemine oturan ağırlık tipi rıhtım yapılarının çevrimsel yük altındaki davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Rıhtım yapıları olarak L tipi ve keson duvarlar modellenmiştir. Model ölçeği 1/10'dur. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Derinlik boyunca basınç değişiminin her iki model için de doğrusala yakın olduğu ve derinlik boyunca arttığı belirlenmiştir. Ancak L tipi modelde oluşan maksimum basınç değerleri, kesona göre daha düşüktür.
- DLH, (2008) şartnamesine göre minimum hasar seviyesinin üst sınırı olan  $S/H < 1.5$  her iki modelde de yaklaşık 0.3g civarında ulaşılırken, kontrollü hasar seviyesinin üst sınırı olan  $S/H < 5$  değerine keson için 0.4g'de ve L tipi model daha büyük taban ivmesi değerinde ulaşılmaktadır.
- DLH, (2008) şartnamesine göre minimum hasar için  $\alpha < 3^0$  şartı bütün deney koşulları için sağlanmıştır.
- DLH (2008), şartnamesinde ağırlık tipi rıhtım duvarları için performans limitlerinden biri olan duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma miktarı tespit edilmiş ve keson model 0.4 g civarında minimum hasar düzeyini aşarken, L tipi model daha büyük ivme değerlerinde aştığı belirlenmiştir.

## Teşekkür

Yazarlar projeye sağladıkları katkı nedeniyle TÜBİTAK'na teşekkür eder.

## Kaynaklar

- Alyami M., Rouainia M., Wilkinson S. M., (2009), "Numerical Analysis of Deformation Behaviour of Quay Walls Under Earthquake Loading", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29 (2009) 525-536.
- Anastasopoulos I., Georgarakos T., Georgiannou V., Drosos V., Kourkoulis R., (2010), " Seismic Performance of Bar-Mat Reinforced Soil Retaining Wall: Shaking Table Testing Versus Numerical Analysis With Modified Kinematic Hardening Constitutive Model", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2010
- Callisto L., Soccodato F.M., (2009), "Performanced Based Design of Embedded Retaining Walls Subjected to Seismic Loading", *Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop*, 291-300, Doppiavoce, Napoli, Italy
- PIANC, (2001), International Navigation Association "Seismic Design Guidelines for Port Structures", 474 pages, ISBN 90 265 1818 8.
- Hagiwara, T., Yamazaki, H., Shiraishi, S., Fukumori, Y., Satoh, Y., Hirano, T., Yamada, H. ve 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/lee Techno-Ocean:2092-2097*, 9-12 November 2004, Tokyo.
- Hazarika, H., Sugano, T., Kikuchi, Y., Yasuhara, K., Murakami, S., Takeichi, H., Karmokar, A.K., Kishida, T. ve Mitarai, Y. (2006), "Model Shaking Table Test on Siesmic Performance of Caisson Quay Wall Reinforced with Protective Cushion", *International Offshore and Polar Engineering Conference*, 28 Mayıs-2 Haziran 2006, San Francisco, California, USA.
- Kim S.R., Kwon O.S., Kim M.M., (2004), "Evaluation of Force Components Acting on Gravity Type Quay Walls During Earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 24 (2004) 853-866.
- Kim S.R., Jang I.S., Chung C.K., Kim M.M., (2005), "Evaluation of Seismic Displacements of Quay Walls", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 25 (2005) 451-459.
- Lee C.J., (2005), "Centrifuge Modeling of The Behavior of Caisson-Type Quay Walls During Earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 25 (2005) 117-131.



- Moghadam, A.M., Ghalandarzadeh, A., Towhata, I., Moradi, M., Ebrahimian, B. ve Hajjalikhani, P. (2009), "Studying the Effects of Deformable Panels on Seismic displacement of Gravity Quay Walls", *Journal of Ocean Engineering*, 1-20.
- Nadim, F. and Whitman, R. V.; 1984. Seismically induced movement of retaining walls, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 109, No.7, pp.915-931.
- Richards, R. and Elms, D. G., (1979). Seismic behavior of gravity retaining walls, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 105, No.GT4, pp.449-464.
- Sadrekaramia A., Ghalandarzadehb A., Sadrekaramic J., (2008), "Static and Dynamic Behavior of Hunchbacked Gravity Quay Walls"; *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28 (2008) 99-117
- Sugano, T., Morita, T., Mito, M., Sasaki, T. ve Inagaki, H. (1996), "Case Studies of Caisson Type Quay Wall Damage by 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake";
- Sugano, T., Nakamichi, M., Sugaya, M., Sezaki, Y., Iwai, T., Moriya, M. ve Horaya, K., (2004), "Development of "Wedged Caisson" as a Quay Wall Structure and its Application to Hidaka-Port Japan", *Oceans '04. Mts/lee Techno-Ocean '04*, 4:2072-2077, 9-12 November 2004, Tokyo.
- Tiznado, J., F., Rodriquez-Roa, F., (2011), Seismic lateral movement prediction for gravity retaining walls on granular soils, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol:31, pp.391-400.
- Whitman, R.V. ve Liao, S. (1985) *Seismic Design of Gravity Retaining Walls*, US Army Corps of Engineers, ASCE Press, Cambridge, Massachusetts.
- Yamamoto, Y. ve Ichii, K. (2008), *Evaluation of Seismic Induced Relative Displacement for Container Cranes on Caisson Walls*, Science Press Beijing and Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation
- Yang Z., Elgamal A., Abdoun T., Lee C.J., (2001), "A Numerical Study of Lateral Spreading Behind a Caisson Type Quay Wall", *proceedings of the fourth international conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics and symposium in honor of Prof. W.D.Liam Finn*.
- Yüksel Y., Alpar B., Yalçiner A.C., Çevik E., Özgüven O., Çelikoğlu Y., (2002), "Effects of the Eastern Marmara Earthquake on Marine Structures and Coastal Areas", *Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Water & Maritime Engineers* 156, June 2002, Issue WM2, pages 147-163