Dokuz Eylül Üniversitesi
Denizcilik Fakültesi Dergisi
Cilt: 5 Sayı: 2 Yıl: 2013

SİSMİK RİSK ve LİMANLARDA HASAR TİPLERİ

Yalçın Yüksel[1]
Kadir Orhan[2]

ÖZET

Limanlar ulaşım sistemlerinde düğüm noktalarını oluşturmaktadır. Hizmet ettikleri hinterlandların kapılarıdırlar. Dünya ticaretinin %80'i denizlerden yapıldığı ve ticaretin küreselleştiği düşünülürse, limanların doğru planlanmaları, yapılarının öngörülen kullanım amacına, sahip olduğu öneme ve deprem performansına cevap verecek biçimde tasarlanmaları gerekir. Liman yapıları çevresel yükler olan rüzgar, dalga, akıntı ve deprem yüklerine göre tasarlanırlar. Yapılar bu yükler altında güvenle hizmet vermelidirler. Bu yükler altında yapıların tanımlanan limitlerin üzerinde hasar görmeleri durumunda liman hizmeti duracaktır. Bu durumda limanın büyüklüğüne bağlı olarak bölgesel, ulusal ve küresel ölçekte ticari faaliyetler aksayacaktır. Son yıllarda büyük limanların bulunduğu bölgelerde meydana gelen depremler, konunun önemini artırmıştır. Ancak yüksek yatırım maliyetlerini gerektiren limanlar da ekonomik tasarımları gerektirmektedir. Bu tip tasarımlar da ileri düzeyde analizlere ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada özellikle keson tipi rıhtıma sahip bir limanda sismik risk ve kayan blok yöntemiyle analize dayalı araştırma sunulacaktır.

***Anahtar Kelimeler*:** *Sismik risk, keson tipi rıhtımlar, kayan blok analizi.*

[1]Prof. Dr. Yıldız Teknik Üniversitesi,İnşaat Müh. Böl., Hidrolik ve Kıyı–Liman Müh. Laboratuvarı, Davut Paşa Kampüsü, Esenler, İstanbul, yalcinyksl@gmail.com

[2]İnş. Yük. Müh. Yıldız Teknik Üniversitesi,İnşaat Müh. Böl., Hidrolik ve Kıyı–Liman Müh. Laboratuvarı, Davut Paşa Kampüsü, Esenler, İstanbul, kadir.orhan@yandex.com

SISMIC RISK AND DAMAGE TYPES AT SEAPORTS

ABSTRACT

The ports are nodal points in transportation systems. They are the gates for their hinterlands. That fact that trade has been globalized and 80% of this global trade is seaborne trade makes it imperative that the ports must have layouts and their infrastructure must be designed so as to carry out the functions projected and expected seismic response. While the port structures are designed, winds, currents, waves and seismic loads are taken into consideration. The infrastructures should be safe under these environmental loads. Port operations may stop when acceptable damage limits are exceeded. In such case depending upon the size of the port failing to provide services, local, national and global trade is likely to be obstructed. The recent occurence of large earthquakes around major ports has increased the significance of port designs. Huge port investments should require economic planning and design. Port structures need advanced design methods. In this study, a simplified dynamic analysis method is proposed to evaluate the magnitude and the phase variation of the dynamic thrust acting on the caisson type quay walls and to predict the seismic sliding displacement of caisson type quay walls by considering the variation of wall thrust.

Keywords: *Seismic risk, caisson type quay wall, newmark sliding block method.*

1. SİSMİK RİSK

Sismik risk, belirli bir dönüş periyodunda meydana gelen depremlerle, oluşması olası yer sarsıntılarının düzeyi arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır. Sismik riskin analiz edilmesi, bir limanın tasarımındaki ilk adımdır ya da liman hali hazırda inşa edilmişse limanın taşıdığı sismik riskin hesaplanması sürecidir. İkinci adımda, sismik risk analizi sonucu elde edilen değerlerle limanın bulunduğu bölgedeki zemin durumu, limandaki yapıların tipleri, maliyet, yapı ömrü, limanın bölgedeki ekonomik ve fonksiyonel önemi gibi faktörler bir araya getirilmektedir (Borg, 2007: 14-44).

Limana uzak bölgelerde, sık sık ve artan büyüklüklerle meydana gelen depremler büyük tehlike arz etseler de sismik risk analizinde etkileri daha düşüktür. Buna karşılık, liman yapılarının yoğun olduğu bölgelerde meydana gelen orta ölçekli depremler büyük tehlike arz etmemelerine karşın hesaplanan sismik riskin değerini büyük oranda arttırabilmektedir.

Sismik tehlikenin değerlendirilmesi sürecinde, önceden belirlenmiş dönüş periyotlarına karşılık gelen ve bu periyotlar dahilinde aşılması olası olan, farklı seviyelerdeki yer hareketlerinin varlığı gözlemlenmelidir.

KLY (2008: 9-10)'e göre, yapıların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır:

(D1) Deprem Düzeyi;
Bu deprem düzeyi, yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelme olasılığı fazla olan, göreli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. **(D1)** düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.
(D2) Deprem Düzeyi;
Bu deprem düzeyi, yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelme olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli yer hareketlerini ifade etmektedir. **(D2)** düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.
(D3) Deprem Düzeyi;
Bu deprem düzeyi, yapıların maruz kalabileceği en şiddetli deprem hareketini ifade etmektedir. **(D3)** düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

Bir bölgedeki sismik riskin değerlendirilmesi için iki yöntem mevcuttur. Bunlar, *olasılık hesaplarına dayalı sismik risk analizi* ve *deterministik sismik risk analizi*dir. Sismik risk analizinin temel amacı deprem hareketi ve onun büyüklüğü konusunda fikir sahibi olmaktır.

Olasılık hesaplarına dayalı sismik risk analizi, boyut, uzaklık, konum ve deprem dönüş periyotları gibi parametrelerdeki belirsizliklere rağmen iyi sonuçlar vermesi sebebiyle son 20 yılda giderek daha önemli bir hale gelmiş ve geliştirilmiştir.

Deterministik sismik risk analizi daha geleneksel bir yöntemdir. Bu yöntemle belirli bir bölgede meydana gelecek bir depremin büyüklüğü hesaplanabilmektedir. Bu yapılırken hesaplamada göz önüne alınan parametrelerin çeşitli şekillerde kombine edilmeleri ile ortaya çıkan en elverişsiz durum göz önüne alınmalıdır.

Hem deterministik, hem de olasılık hesaplarına dayalı sismik risk analizleri sonucunda elde edilen sismik parametreler, yapıların tasarlanmasında ya da değerlendirilmesinde fayda sağlayacak nitelikte

olmalıdır. Proje bölgesindeki olası bir yer hareketinin karakteristikleri de bu analizler sonucunda elde edilebilmektedir.

Mevcut bir limandaki yapıların sismik hassasiyetleri, yapının dünyanın neresinde olduğuna yani coğrafi konumuna bağlı olarak değişmektedir. ABD, Japonya, Yeni Zelanda, Çin gibi ülkelerdeki önemli limanlar ve Türkiye, İtalya, Yunanistan gibi sismik olarak aktif bölgelerde bulunan Avrupa ülkelerindeki limanlar 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan maksimum yer ivmesi büyüklüklerine uygun olarak tasarlanmaktadırlar.

Dünyanın en önemli konteyner terminallerinin coğrafi konumları, ESPO (2005) tarafından daha önceden verilmiş sismik risk haritaları yardımıyla taşıdıkları sismik riskler açısından karşılaştırılmışlardır. Çalışmada 33 liman ele alınmıştır ve ele alınan limanların çoğu Çin'de yer almaktadır.

Limanlardaki sismik risk analizi yapılırken ve liman yapılarında meydana gelen hasarlar incelenirken limanların dünya ticaretindeki önemi unutulmamalıdır ve değerlendirmeler bu bilinçle yapılmalıdır.

2. LİMAN YAPILARINDA HASAR TİPLERİ

Liman yapılarının tiplerine göre nasıl hasar görebileceklerinin, liman yapılarının tasarımı sırasında bilinmesi gerekir. Sükûnetteki durumda da rıhtım duvarları zemin basınçlarının etkisi altındadır fakat duvarın kendi ağırlığı ve diğer kuvvetler bu durumda denge halindedir. Deprem esnasında ise atalet kuvvetleri, zemin ve geri dolgudan kaynaklı dinamik kuvvetler bu dengeyi bozar. Böylece rıhtım duvarı üzerinde kalıcı deformasyonlar meydana gelebilir (Şekil 1).

Ağırlık rıhtım duvarlarında görülen hasar, yapının kayması, devrilmesi ya da yapının dengesinin bozulması şeklinde gözlemlenir. Yapının kayması, yatay kuvvetler arasındaki dengenin bozulması yüzünden gerçekleşir. Moment dengesinin sağlanmadığı durumda ise yapının devrilmesi söz konusu olur. Yapının dengesinin bozulması ise yapının altındaki ve arkasındaki zeminin stabilitesinin bozulmasından kaynaklanır (Şekil 2).

Konsol rıhtım duvarlarında da benzer hasarlar görülmektedir. Bu duvarlarda toprak basınçları ve devirmeye çalışan moment değerlerinin büyüklüğü yapının geometrisi ile de yakından ilgilidir. Oluşan devirici

momentin büyüklüğü mevcut olan dengeyi bozacak kadar büyükse hasar meydana gelir.

Limit durumlar, yapılar çeşitli yüklere maruz kaldıklarında sağlamaları gereken performans ve stabilite kriterleridir. Bir yapının tasarımı sırasında aşağıdaki durumların sağlanması gerekir:

- Nihai limit durumları için emniyet: İnsanların güvenliğini kısmen ya da tamamen tehdit edebilecek veya doğanın ve ticari malların zarar görebileceği durumlara (yapının çökmesi, yapı dengesinin bozulması vs.) meydan vermeyecek kapasite.
- Verilecek hizmet üzerinde limit durumlar için emniyet: Yapıdan beklenen hizmet performansını sağlayacak kapasite.
- İstisnai durumlara karşı sağlamlık: Yangın, patlama ve darbelerin yaratabileceği hasarlara meydan vermeyecek kapasite.

Tüm rıhtım duvarları için bilinmesi gereken limit durumlar şu şekildedir (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5):

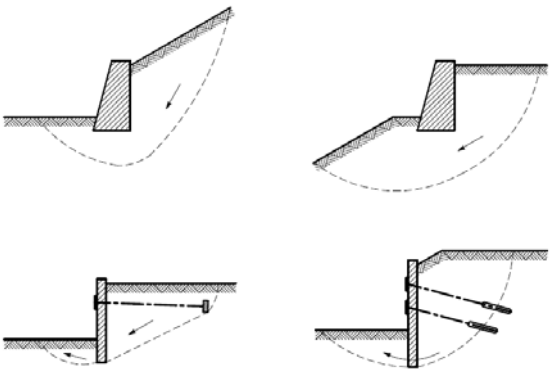
- Yapının dengesinin bozulması
- Yapının ankraj, duvar ve payandalarının çökmesi
- Yapı elemanı ve zeminin birlikte çökmesi
- Borulanmadan dolayı çökme
- Yapının gereğinden fazla hareket etmesinden dolayı oluşabilecek problemler
- Yapıya zarar verecek şekilde duvarın içinden ve altından geçebilecek sızma
- Yapıya zarar verecek şekilde duvarın içinden ve altından geçebilecek zemin
- Yeraltı suyu rejiminin yapıya zarar verecek ölçüde değişmesi

Bunlara ilaveten ağırlık rıhtım duvarları için aşağıdaki limit durumları da bilinmelidir:

- Zeminin taşıma kapasitesinin yetersiz kalması
- Yapının zeminin kayması
- Yapının devrilmesi

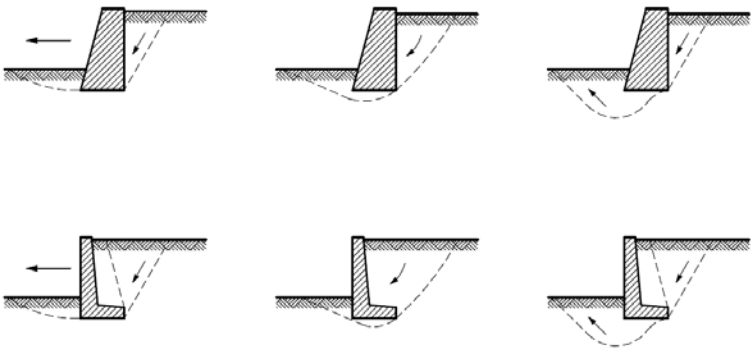
Gömülü haldeki rıhtım duvarları için ise aşağıdaki limit durumlarının bilinmesi gerekir.

- Yapının dönmesi
- Düşey dengenin bozulması durumu



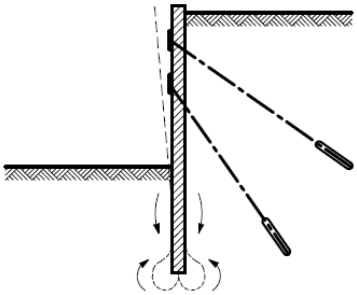
Şekil 1. Yapının dengesiyle İlgili Sorunlardan Kaynaklanan Hasar Durumları

Kaynak: Visone, 2008



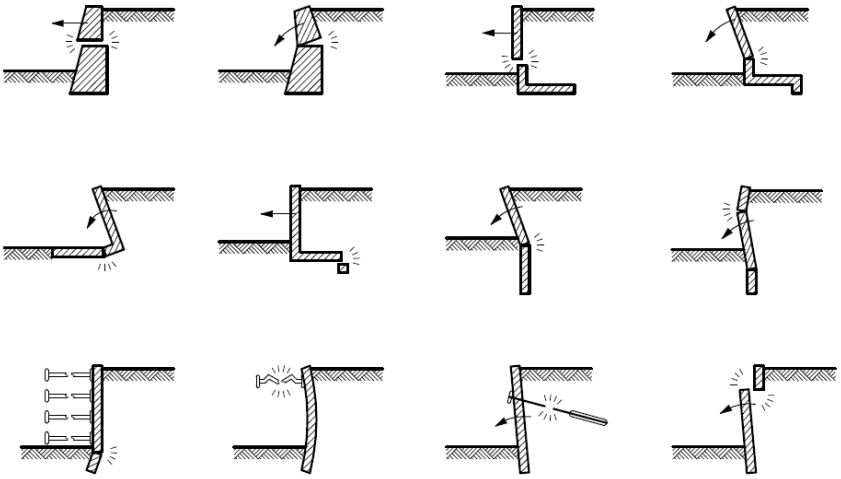
Şekil 2. Zemin ve Temelden Kaynaklanan Hasar Durumları

Kaynak: Visone, 2008



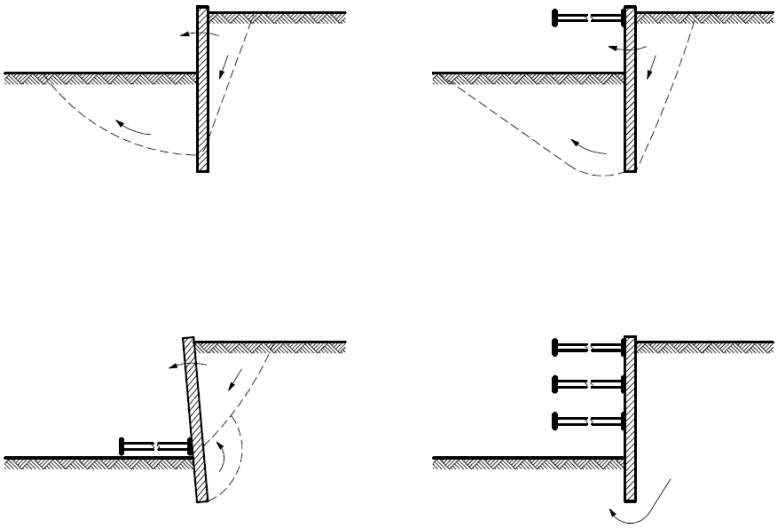
Şekil 3. Yapısal Hasar Durumları

Kaynak: Visone, 2008



Şekil 4. Yapısal Hasar Durumları

Kaynak: Visone, 2008



Şekil 5. Dönmeden Kaynaklanan Hasar Durumları

Kaynak: Visone, 2008

3. PERFORMANSA GÖRE TASARIM

KLY (2008)'e göre bu tasarım yaklaşımında belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak lineer elastik sınırları aşıp nonlineer deformasyonlara sebep olduğundan performansa göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (nonlineer) analiz yöntemleri ve *şekil değiştirmeye* (*deformasyona*) *göre tasarım* kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Esasen, hasarın sınırlı olacağının öngörüldüğü durumlardaki performans hedefleri için, geleneksel *dayanıma göre tasarım* ilkesi çerçevesinde doğrusal (lineer) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir.

Kıyı ve liman yapıları; öngörülen deprem performanslarına, kullanım amaçlarına ve sahip oldukları önemlere göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Özel Yapılar

Özel sınıfa giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- Deprem sonrasında acil yardım ve kurtarma amacı ile hemen kullanılması gereken yapılar
- Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddeler ile ilgili yapılar

Normal Yapılar

Normal sınıfa giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- Can ve mal kaybının önlenmesi gereken yapılar
- Ekonomik veya sosyal bakımdan önemli olan yapılar
- Deprem sonrasında onarım ve güçlendirmesi zor ve zaman kaybına neden olacak yapılar

Basit Yapılar

Basit sınıfa giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- Özel ve normal yapılara nazaran daha az önemli yapılar
- "Önemsiz Yapılar" sınıfına giren yapıların dışında kalan yapılar

Önemsiz Yapılar

Bu sınıfına giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- Kolaylıkla yeniden yapılabilecek yapılar
- İleri derecede hasar görmesi bile can güvenliğini tehlikeye atmayacak yapılar
- Geçici yapılar

Kıyı ve liman yapılarının performans düzeyleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi veya elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanmaktadır.

Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH)

Minimum Hasar Performans Düzeyi, kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile hiç hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek yapısal hasarın çok sınırlı olması

durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda liman operasyonu kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.

Kontrollu Hasar Performans Düzeyi (KH)

Kontrollu Hasar Performans Düzeyi, kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonunda kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir.

İleri Hasar Performans Düzeyi (İH)

İleri Hasar Performans Düzeyi (İH), kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta ilgili liman servisinin tamamen iptal edilmesi mümkündür.

Göçme Hasarı Durumu (GH)

Bu durumda, kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. İlgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonuna devam edilemez.

4. BASİTLEŞTİRİLMİŞ DİNAMİK ANALİZ

1995 yılında gerçekleşen Hyogoken-Nanbu depremi, ağırlık tipi rıhtım duvarlarına ciddi zararlar verdikten sonra bir çok araştırmacı model çalışmaları ve teorik analiz metodları ile hasar sebeplerini incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda geri dolgu içerisinde düşük boşluk suyu basıncı varken geri dolgudan kaynaklanan dinamik toprak itkisinin çalkantı bileşeni ile duvara etkiyen atalet kuvvetlerinin zıt yönlü oldukları; ancak geri dolgu sıvılaştıktan sonra bu iki kuvvetin aynı yönde etki etki ettikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, hidrodinamik kuvvetleri hesaplamakta kullanılan Westergaard yönteminin, sıvılaşma sonrası viskoz bir akışkan gibi davranan geri dolgudan kaynaklanan dinamik toprak itkisinin çalkantı bileşenini hesaplamakta kullanılabileceği görülmüştür. Bunların yanında, hiçbir hipotez dinamik toprak itkisinin büyüklüğünün sürekli değişimini açıklayamamış ya da duvara etkiyen atalet kuvveti ile arasındaki faz ilişkisini çözümleyememiştir. Kim vd. (2004: 1-14) bu soruya açıklık getirmeye çalışmıştır.

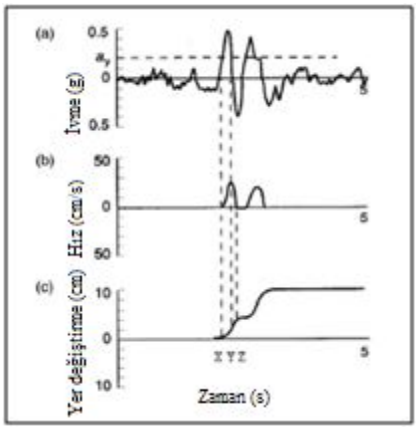
Ağırlık tipi bir rıhtım duvarına etkiyen kuvvetler aşağıdaki şekilde sıralanabilirler:

- Atalet kuvveti
- Statik toprak basıncı
- Hidrostatik basınç
- Geri dolgu kaynaklı dinamik zemin basıncının düzenli bileşeni ve çalkantı bileşeni
- Hidrodinamik kuvvetin düzenli bileşeni ve çalkantı bileşeni

Newmark kayan blok yöntemini temel alan birçok basitleştirilmiş dinamik analiz yöntemi, günümüzde ön tasarımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler; duvar ağırlığı, zeminin içsel sürtünme açısı ya da duvar tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı gibi elde edilmesi kolay parametreler yardımı ile duvarlarda meydana gelen yer değiştirmeleri gerçeğe gayet yakın bir şekilde hesaplayabildikleri için tercih edilmektedirler; ama bu yöntemler, özellikle suya doygun zeminlerde deprem esnasında çok büyük olasılıkla ortaya çıkacak olan boşluk suyu basıncını göz önüne almadan bir yenilme ivmesi hesaplamaktadırlar. Bu sebeple rıhtım duvarları gibi yapılarda kullanılmaları uygun değildir. Kim vd. (2005: 1-9) tarafından yapılmış olan çalışmada, Newmark kayan blok yöntemini temel alan fakat boşluk suyu basıncını da hesaba katan bir model önerilmiştir. Kayan blok yönteminde aşağıdaki kabüller yapılmaktadır.

- Kayan blok modelinde rıhtım duvarının mutlaka yer değiştirme yapacağı kabul edilir.
- Yer değiştirmeler yalnızca denize doğru meydana gelir.

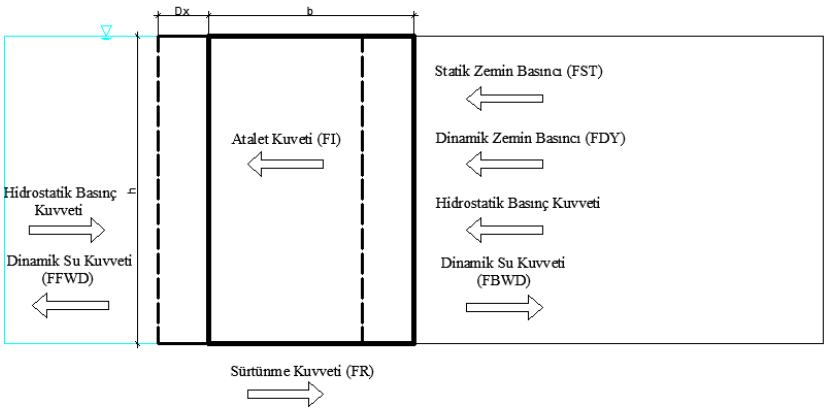
Newmark kayan blok yönteminde, yenilme ivmesi bir bloğun ivmesi gibi tanımlanmaktadır. Kayma güvenlik faktörü 1.0'a ulaştıktan sonra blokta yer değiştirmenin başlayacağı kabul edilmektedir ve yenilme ivmesinin üzerinde değerlere sahip yer ivmesi değerleri iki kere integre edilerek bloğun yaptığı yer değiştirmeler elde edilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Deprem Durumunda Meydana Gelen Yatay Yer Değiştirmenin Hesaplanması

Kaynak :Kim vd., 2005

Şekil 7'den ise duvara etkiyen toplam kuvvetin (F_{TH}), duvara etkiyen birçok farklı kuvvetin aralarındaki faz ilişkileri doğrultusunda vektörel olarak toplanmaları yoluyla elde edilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 7. Keson Tipi Rıhtım Duvarı

Şekil 7'de görüldüğü gibi keson rıhtım duvarına etkili kuvvetlerin kuvvet dengesi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Duvara etkiyen itme kuvveti $\Rightarrow F_{TH} = F_I + F_{FWD} - F_{BWD} + F_{ST} + F_{DY}$ (1)

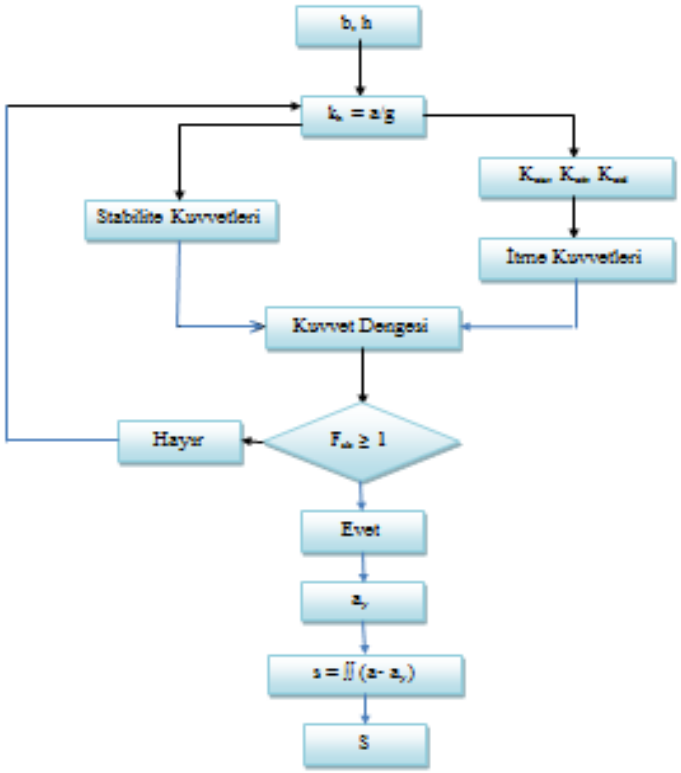
Direnç kuvveti $\Rightarrow F_R = \mu W$ (2)

$$F_{TH}\left(= F_I + F_{FWD} - F_{BWD} + F_{ST} + F_{DY}\right) \geq F_R \quad (3)$$

Bu durumda, Newmark kayan blok yöntemine göre yenilme ivmesi (a_y) Şekil 8'de verilen akış diyagramındaki gibi hesaplanır.

$$F_I = F_R - \left(F_{FWD} - F_{BWD} + F_{ST} + F_{DY}\right) = m \times a_y \quad (4)$$

$$a_y = \frac{F_R - \left(F_{FWD} - F_{BWD} + F_{ST} + F_{DY}\right)}{m} \quad (5)$$

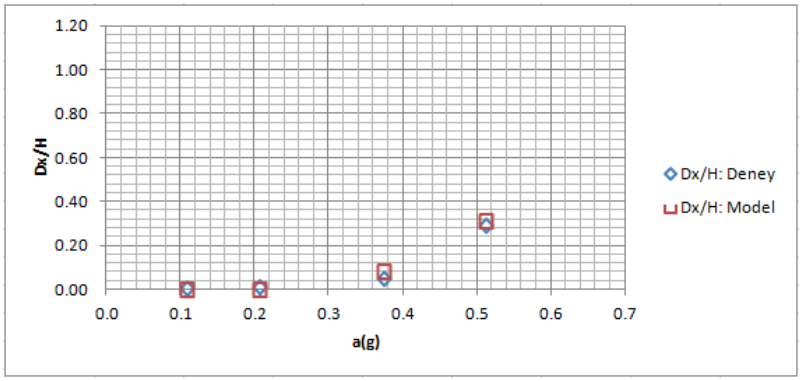


Şekil 8. Newmark Kayan Blok Analizi Akış Şeması

Duvarın harekete geçeceği yenilme ivmesi yardımıyla duvarın hızı ve daha sonra yer değiştirme miktarı yenilme ivmesini aşan ivme değerleri ile yenilme ivmesi değerleri arasındaki farkın iki defa integrallerinin alınması ile hesaplanmaktadırlar. Newmark kayan blok yöntemi ile keson tipi rıhtım duvarlarının yer değiştirme miktarının hesaplanması amacıyla Şekil 8'de verilen akış diyagramı kurulmuştur. Tanımlanan bu akış diyagramı yardımıyla MATLAB kullanılarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır ve böylece keson duvarın yaptığı yatay yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Hesaplanan yatay yer değiştirmeler Yüksel vd. (2011), Uluşan (2012) ve Orhan (2013) çalışmalarında verilen deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi Kıyı ve Liman Müh. Laboratuvarında bulunan sarsma tankında yapılmıştır.

5. DEĞERLENDİRME

Şekil 9'da, keson tipi rıhtım için deneyler ve kayan blok modellerinden t=20. saniyede elde edilen yatay yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak çizilerek gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür. Deneylerde dikkate alınan keson modelin yüksekliği 40cm ve genişliği 30cm dir. Bu keson modelin geri dolgusunda kullanılan ince kırma taş malzeme d_{50}=0.9cm granülometrik özelliğine sahiptir. Model deney ölçeği 1/10 dir. Geri dolgunun içsel sürtünme açısı 40^0 dir. Model temeli sağlam zemindir. Sıvılaşma söz konusu değildir.

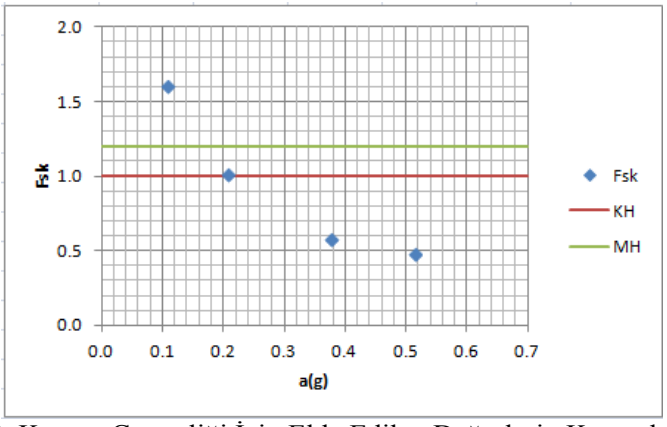


Şekil 9. Deney ve Modelden 20. Saniyede Elde Edilen Göreceli Yatay Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması

Sağlam zemin koşullarında ve geri dolguda granüler bir malzemenin kullanılması durumunda, performansa dayalı tasarımda bir yarı dinamik yöntem olarak tavsiye edilebilen kayan blok yönteminin, geri dolgunun iyi analiz edilmesi koşulu ile (boşluk suyu basıncının değişiminin değerlendirilmesi koşuluyla) bu tip (ağırlık tipi) rıhtım duvarlarının sismik performanslarını oldukça iyi belirleyebildiği anlaşılmıştır.

KLY (2008: 21-22)'de, ağırlık tipi rıhtım yapılarının sismik analizi dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGT) başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Kayan blok yöntemi, ŞGT analizi içerisinde önerilen bir yöntemdir. Aynı model yapı DGT ile ayrıca çözülerek, elde edilen sonuçlar ŞGT'den elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Keson modellerin deterministik yöntem ile çözümleri yapılmış ve Şekil 10'da kayma (F_{sk}) güvenlik katsayıları belirlenerek taban ivmeleri ile değişimleri verilmiştir. Bu şekilde, kontrollü hasar durumundaki kayma güvenliklerinin, taban ivmesinin 0.25g'den daha büyük olduğu durumda sağlanamadığı belirlenmiştir.



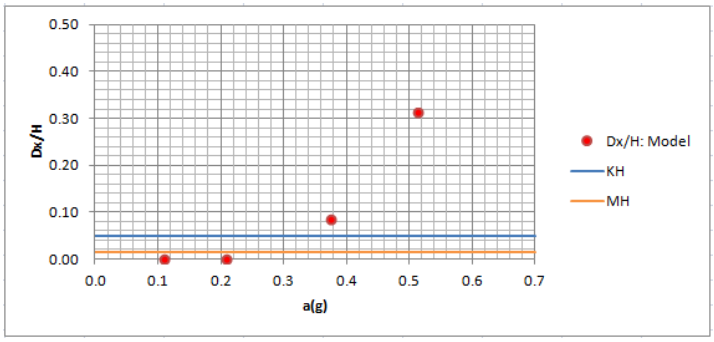
Şekil 10. Kayma Güvenliği İçin Elde Edilen Değerlerin Kontrolü (DGT)

Şekil 11'de, keson model için hesaplanmış olan göreceli yatay yer değiştirme değerleri, kontrollü hasar performans düzeyi için KLY (2008) tarafından belirlenmiş olan limitler ile karşılaştırılmışlardır (Tablo 1). Şekil 11 incelendiğinde, taban ivmesinin 0.35g'den büyük olduğu durumlarda kontrollü hasar limitlerinin aşıldığı görülmüştür.

Tablo 1. Ağırlık Tipi Rıhtım Duvarları İçin Performans Limitleri

Yerdeğiştirme/şekildeğiştirme sınırları	Performans düzeyi	
	MH	KH
Kalıcı yatay yerdeğiştirmenin yüksekliğe oranı (%)	< 1.5	1.5 - 5
Duvarda denize doğru kalıcı eğiklik (derece)	< 3	3 - 5
Duvar üstü ile arkası arasındaki farklı oturma (cm)	30-70	–
Duvar arkasında farklı oturma (cm)	3-10	–

Kaynak: KLY, 2008



Şekil 11. Kayma Güvenliği İçin Elde Edilen Değerlerin Kontrolü (ŞGT)

6. SONUÇLAR

DGT ve ŞGT analiz yöntemlerinin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde;

- Ağırlık tipi blokların, sağlam zemin koşullarında kaymaya karşı dayanımlarının devrilmeye karşı dayanımlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Kayma hasar durumunun DGT analizinde daha önce meydana gelirken, ŞGT analizinde daha geç meydana geldiği belirlenmiştir.
- DGT analizinde, yapının stabilite kuvvetleri aşıldığında hasar olduğu sonucu ortaya çıkmasına karşın, ŞGT analizinde bu stabilite kuvvetinin aşılmasına rağmen yapının hala servis verebilecek performansa sahip olduğu anlaşılmakta ve hasar düzeyinin gerçekte daha ileri eşdeğer deprem ivmesi katsayılarında ortaya çıktığını göstermektedir. Bu nedenle ŞGT

analizi daha gerçekçi sonuçlar vererek yapının daha ekonomik boyutlandırılmasını sağlamaktadır.

- Bu çalışmada dikkate alınan bir ŞGT analizi yöntemi olan kayan blok yöntemi, basitleştirilmiş bir dinamik analiz yöntemidir ve yapının performans değerlerini ancak sağlam zemin durumu ile sadece yapının kayma hasarını belirlemektedir. Ancak kayan blok yöntemi daha az veriye ihtiyaç duyması nedeniyle basit bir yöntemdir ve gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. İleri düzeyde performans analizlerinin yapılması durumunda gerek zemin, gerekse geri dolgudaki zemin davranışlarını daha iyi analiz eden matematiksel modellerin sayısal yöntemlerle çözümünü içeren dinamik modellerin geliştirilerek kullanılmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

BORG, R.C. (2007) *Seismic Performance, Analysis and Design of Wharf Structures: A Comparison of Worldwide Typologies,* Master Thesis, Rose School, Pavia.

EUROPEAN SEAPORTS ORGANISATION (ESPO), (2005) *Annual Report 2005*, Brüksel.

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*, Vol.24, pp.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,* Vol.25, pp. 451-459.

KLY, (2008) *Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği*, Ulaştırma, Habercilik ve Denizcilik Bakanlığı, (IMO İstanbul Şubesi Yayını).

ORHAN, K. (2013) *Ağırlık Tipi Yanaşma Yapılarının Kayan Blok Yöntemi ile Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ULUŞAN, A. (2012) *Keson Yanaşma Yapılarının Sismik Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

VISONE, C., (2008) *Performance-Based Approach in Seismic Design of Embedded Retaining Walls*, Yüksek Lisans Tezi, Universita degli Studi di Napoli Federico II Polo dele Scienze e dele Tecnologie, Napoli.

YÜKSEL, Y., ERGİN A., YALÇINER, A.C., BERİLGEN, M., CİHAN, K., KARAKUŞ, H. (2011) *Blok Tipi Kıyı Yapılarının Basitleştirilmiş Dinamik Analiz Yöntemi ile Tasarımı*, 111Y006, TÜBİTAK.