

Invited Review Paper / Çağrılı Derleme Makalesi
**A STATE OF ART APPROACH TO THE DESIGN OF COASTAL
STRUCTURES UNDER SEISMIC AND TSUNAMI LOADS: PERFORMANCE
BASED DESIGN**

Ayşen ERGİN¹, Yalçın YÜKSEL^{*2}

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANKARA

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Geliş/Received: 02.05.2006

ABSTRACT

An evolving design philosophy for port structures in many seismically active regions gained great importance and reflects the observations that:

-The deformations in ground and foundation soils and the corresponding structural deformation (vertical and horizontal displacement) and stress states are key design parameters.

-Performance based design, depending on the coastal structure type, is carried out under the design seismic loads and based on the structural performance and the corresponding deformations within the allowed limits.

In the conventional limit equilibrium-based methods, performance of the structure and the corresponding structural deformations and stresses are not viewed as design parameters. Conventional seismic design is basically based on providing capacity to resist (overturning and sliding) a design seismic force, but it does not provide information on the performance of structure when the limit of the force-balance is exceeded.

Performance-based design is an emerging methodology whose goal is to overcome the limitations present in conventional seismic design. In this approach, coastal structures are designed under the seismic loads given with a certain probability of occurrence, within the maximum allowable limits of structural deformations and stresses considering the local site effects.

Keywords: Coastal structures, performance based design, earthquake, coastal engineering.

**DEPREM VE TSUNAMİ YÜKLERİ ALTINDA KIYI YAPILARI TASARIMINA YENİ BİR
YAKLAŞIM: DAVRANIŞA DAYALI TASARIM**

ÖZET

Son yıllarda kıyı mühendisliğinde, geliştirilmiş olan davranışa dayalı tasarım yaklaşımı, özellikle sismik olarak aktif bölgelerde çok önem kazanmıştır. Yapı davranışını temel parametre olarak alan bu yeni yaklaşımda :

- Zemin ve temel toprağındaki deformasyonlar altında oluşan yapısal davranışlar (deformasyon; dönme, yatay ve düşey ötelenme ve gerilme durumları) temel tasarım parametrelerini oluşturur.

- Tasarım, yapı özelliklerine göre, verilen sismik yükler altında yapının davranışını veren deformasyon ve gerilmelerin kabul edilen limitleri içinde gerçekleştirilir.

Geleneksel, dengeye dayalı tasarım metotlarında, yapı davranışını veren deformasyon ve gerilme durumları tasarım parametreleri olarak kullanılmamaktadır. Bu yöntemde yapı tasarımı, belli bir sismik yüklemeye dayanacak denge durumu(dönerek devrilme ve kayma) için yapılı ve yük dengesi aşıldığında yapının davranışı genelde göz önüne alınmaz. Geliştirilmiş olan davranışa dayalı yöntemde ise, geleneksel metottaki kısıtlamaların önüne geçilmektedir. Bu yöntemde tasarım, oluşma olasılığı belirlenen sismik yükler altında, yerel zemin koşulları gözönüne alınarak, yapı türüne göre tanımlanan yapı davranışları (deformasyon ve gerilme) sınırları içinde gerçekleştirilir.

Anahtar Sözcükler: Kıyı yapıları, davranışa dayalı tasarım, deprem, kıyı mühendisliği.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail / e-ileti:yuksel@yildiz.edu.tr, tel: (212) 259 70 70 / 2741

1. GİRİŞ

Şiddetli bir depremin büyük bir kentin yakınında meydana gelmesi nadir görülen bir olay olsa da bunun sosyal ve ekonomik etkileri ulusal boyut açısından yıkıcı olabilmektedir. 1994 Los Angeles, ABD depremi (61 ölü ve 30 milyar \$ maddi zarar); 1995 Kobe, Japonya depremi (6,400'ün üzerinde ölü ve 100 milyar \$ maddi zarar); 1999 Kocaeli, Türkiye depremi (15,000'in üzerinde ölü ve 20 milyar \$ maddi zarar); 1999 Atina, Yunanistan depremi (143 ölü ve 2 milyar \$ maddi zarar) ve 1999 Tayvan depremi (2,300'ün üzerinde ölü ve 9 milyar \$ maddi zarar) son yıllardaki örneklerdir.

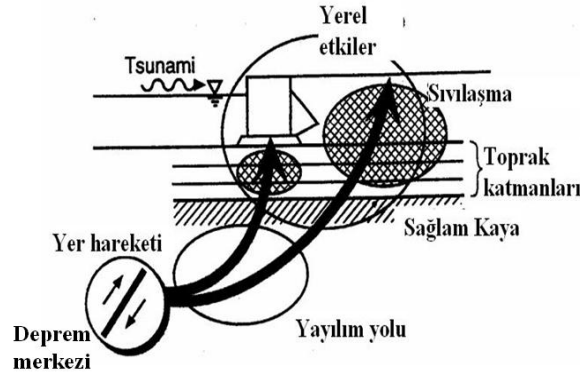
Oluşma olasılığı daha az olan, ancak, yıkıcı etkileri ile büyük hasar meydana getirerek, mal ve can kaybına neden olan büyük depremler, son yıllarda bütün dünyada temel araştırma alanlarını oluşturmaktadırlar. Özellikle kıyı bölgelerinde, kıyı ve deniz yapıları tasarımında kıyıda oluşan depreme ek olan ve genelde deniz tabanında depremin yarattığı hareketten oluşan uzun dönemli dalgaların (tsunami) etkileri, yapılan bu çalışmalarda ağırlıklı olarak göz önüne alınmaktadır. Yüzyıllardır depremlerin yıkıcı etkilerinin bilinmesine rağmen, ancak 1950'li yıllardan sonra, sismik etkiler, şartname ve standartlarda tasarım parametreleri olarak tanımlanmaya başlamıştır. 1990'lı yıllardan itibaren ise, kıyı ve deniz yapılarındaki sismik tasarım çalışmaları hız kazanmış ve bu konuda "Davranışa Dayalı Tasarım" metodu, yeni bir yaklaşım olarak ortaya konulmuştur. Bu tasarım yönteminde temel yaklaşım, zemin hareketleri sonucunda ortaya çıkan zemin deformasyonları ve bunun yarattığı yapısal deformasyonlar (dönme, yatay ve düşey ötelenmeler) ve gerilme durumlarının göz önüne alınmasıdır. Geleneksel yaklaşıma göre yapılan sismik tasarımda yapının sismik kuvvete dayanacağı denge durumu (dönme ve kayma) hesaplamada temel olarak alınmakta, yük ve dayanım eşitliğinin bozulduğu andaki yapı davranışı incelenmemektedir. Davranışa dayalı tasarımda ise göz önüne alınan temel tasarım yaklaşımları aşağıdaki gibidir.

1. Tasarım, yapının dayanışına dayalıdır.
2. Yapı davranışı, deformasyon (dönme, yatay ve düşey ötelenmeler) ve gerilmeler ile tanımlanır.
3. Yapının davranış özellikleri, yapı türüne, depremin yarattığı zemin hareketlerine bağlıdır.
4. Tasarımda, belli bir oranda hasar kabul edilir.
5. Tasarım parametreleri, sismik aktivitelerin oluşma olasılığına ve sosyal ve çevre koşullarını da içeren yapı kullanım fonksiyonlarına bağlı olarak tanımlanır.
6. Yapının sismik davranışını veren analiz yöntemleri, tasarım özelliklerine göre basitten çok karmaşık dinamik analiz yöntemlerine kadar değişebilir.

2. DEPREM YÜKLERİ

Kıyı yapılarında deprem ve tsunaminin etkisiyle çok büyük hasarlar meydana gelebilmektedir. Deprem ile oluşan sismik dalgaların yayılımı ve yüzeye ulaşması, Şekil 1'de gösterildiği gibi yerel zemin koşullarına bağlıdır. Bir merkezde oluşan sismik hareket, depremin büyüklüğüne, merkez uzaklığına, yerel zemin koşullarına bağlı olarak yapıları etkiler. Bu arada, yine zemin koşullarına bağlı olarak sıvılaşma meydana getirerek zemin çökmelerine neden olabilir. Sıvılaşma, sarsıntı etkisiyle boşluk suyu basıncının artarak etkin yatay gerilmeyi sıfır yapması şeklinde açıklanabilir. Bu durumun oluşma olasılığının yerel zemin özellikleri araştırılarak ortaya konması, zorunlu bir tasarım koşuludur. Deprem yüklerinin hesaplanmasında, yer hareketi (ground motion) ve bunun yarattığı yerel etkiler göz önüne alınır. Yer hareketi genelde, en yüksek yer ivmesi (PGA: Peak Ground Acceleration) veya en yüksek yer hızı (PGV: Peak Ground Velocity) ile tanımlanır. Belli bir konumdaki yerel etkiler ise depremin genlik, frekans ve süresine, merkez uzaklığına ve yerel zemin türüne bağlı oluşan yerel zemin hareketi olarak tanımlanır. Bu etkileşimi veren etki – yerel tepki katsayıları, zemin özellikleri gözönüne

alınarak hazırlanmaktadır (Seed ve diğ., 1997). Olasılığa dayalı tasarımlarda ana girdi olarak verilen deprem oluşma olasılığı ise yinelenme dönemine bağlı olarak verilir ve belirlenen tasarım süresi içinde bu olasılığın aşılma durumları araştırılır. Bu çalışmaların temelini ise depremler için yapılan ve uzun dönem verilerine dayanan istatistiksel çalışmalar oluşturur.



Şekil 1. Deprem yükleri ve kıyı yapıları (PIANC, 2001)

3. TSUNAMİ (DEPREŞİM DALGASI)

Sularda gözlenen dalgalar, denize geçen enerjinin, su ortamında yayılma biçimidir. Okyanuslar, denizler ve göllerde her zaman gözlenen dalgalar, rüzgar enerjisinin suya geçerek oluşturduğu, küçük genlikli dalgalar sınıfındaki “rüzgar dalgaları”dır. Güneş, ay ve dünyanın çekim kuvvetleri etkisi ile okyanus ve denizlerde belirgin olarak var olan, 6 saat ya da 12 saat dönemli, yani uzun dönemli dalgalar ise “gel-git dalgası” olarak tanımlanmıştır. Dalga dönemleri sınıflandırmasına bakarak yapılan tanım içinde tsunami, bu iki tür dalga arasında yer alır ve uzun dönemli dalgalar sınıfına girer. Uzun dönemli dalgaların en çarpıcı özelliği, içinde bulunduğu su ortamının sürüklenmesi biçiminde, yani akıntılarla ilerlemesidir. Bu tür dalgalar derin sularda pek hissedilmez. Ancak sığ sulara geldikçe şiddetlenen akıntılar ve suyun bazı durumlarda aşırı tırmanması nedeniyle çok şiddetli biçiminde kendini gösterirler. Gemi pervaneleri etkisi ile limanlarda ya da kıyılarda gözlenen dalgaların ise tsunamiden farkı, hem küçük olmaları hem de tsunamilere göre daha kısa dönemli olmalarıdır.

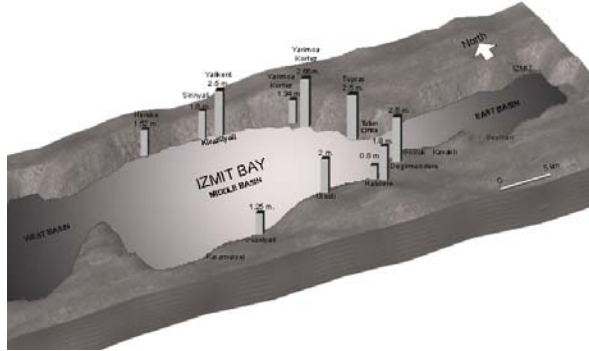
Bunlardan başka, kapalı havzalarda İngilizce’de “seiche” olarak söylenen ve Türkçe’imizde henüz bir karşılık koymadığımızdan “salınım” olarak tanımlayabileceğimiz dalga türü ise, kapalı denizler, körfezler, göller gibi, yani kapalı basenlerde rüzgarlarla ya da depremin sarsıntıları ile oluşan çalkantılarla ortaya çıkan küçük genlikli küçük dönemli dalgaların, kıyılardan karşılıklı yansımaları sonucu kapalı basen içinde gelişen uzun dönemli bir dalgadır. Bu dalganın periyodu, basenin geometrisi ile ilişkili olan basenin serbest salınım dönemlerinden biri ile aynı olursa, dalga kıyılarda büyür. Bunun olması için de kıyılarda yansımanın yüksek düzeyde olması ve denize geçen enerjinin su ortamında bir süre dolaşması gerekir. Küçük genlikli küçük periyotlu dalgalar, uzun periyotlu dalgalara göre kıyılardan kolay yansıyamaz ve enerjilerinin büyük bölümünü yitirirler. Hepsinden önemlisi bahsettiğimiz biçimde “salınım” oluşması zaman ister. Denize yakın merkezli her depremden sonra çalkantı oluşabilir. Bunu, özellikle balıkçılar daha iyi gözlemlerler. Bu tür çalkantılar ya durulur ya da bir süre içinde salınım’a dönüşürler. Salınım dönüşüğünde ise hemen durulmazlar. Salınım ile tsunami arasındaki farklar ise, tsunaminin hemen oluşması, 4-5 dalgadan ibaret olması ve salınım’a göre daha kısa sürede etkisini kaybetmesidir. Salınım daha geç oluşur. Daha fazla sayıda dalgadan ibarettir. Daha uzun süre etkili olur.

Tsunami, depremle oluşan fay kırılması, zemin çökmesi, zemin kayması, zemin göçmesi ya da volkan patlaması gibi olaylarla su ortamına geçen enerji nedeniyle oluşan dalgadır. Sismik etki ile doğrudan tsunami oluşması için, deniz tabanında depremle beraber, normal atımlı fay kırılması olmalıdır. Normal atımlı fay demek, fay kırığının olduğu çizginin bir yanındaki, zeminin, diğer yandakine göre bir miktar dikey olarak yükselmesi ya da alçalması demektir. Böylece fay kırılması ile denize dikey yönde gelen etki tsunami oluşturabilir. Yanal atımlı fay kırılmalarında zemin, fayın her iki tarafında aynı düzeyde kaldığından, bu biçimde yüzey değişimi pek olmaz. Buna bağlı olarak, yanal atımlı faylar, denize dikey yönde önemli bir etki veremediğinden tsunami yaratamazlar. Ancak, yanal atımlı fayların başladığı ya da sonlandığı noktalardaki zemin hareketi, tsunami oluşturabilecek nitelikler göstermektedir.

Kocaeli depreminde yanal atımlı olduğu anlaşılan fay kırılması, Kavaklı, Gölçük, Yüzbaşılar, Değirmendere ve Halidere arasındaki bölgede kıyıya çok yakın geçmiştir. Depremin yarattığı hareket, katı ve sıvı ortamların birbiri ile önemli etkileşimlerine neden olmuş, ve birbirini tetikleyen yer hareketi, sıvılaşma, kayma, göçme ve heyelan biçiminde hareketler yaratmıştır. Her biri ayrı birer ender doğa olayı sayılan bu olayların, İzmit körfezinde ve de Marmara'da, deprem sonrası oluşan dalga ve akıntı hareketlerine ve bu hareketlere bağlı olarak kıyılarda kalan izlere bakarak denizde ne olduğu açıklanabilmiştir.

1992 Nikaragua tsunamisi ile, dünyadaki tsunami bilimcilerinin çalışma düzeninde bir yenilik yapılmıştır. O tarihten sonra, her önemli deprem ve tsunamiyi incelemek üzere bölgeye uzmanlar gönderilmiş ve ayrıntılı raporlar hazırlanmıştır. 1999 Kocaeli depremi sonrasında da aynı uygulama gerçekleştirilmiş, önceki tsunami araştırmalarında uygulanan yöntemler izlenerek, yerinde yapılan incelemeler, bulgular üzerinde ölçüm ve tanımlamalar, ve görgü tanıkları ile görüşmeler sonucunda olayı tanımlayacak bilgilere ulaşılmıştır. Bu bilgiler aşağıda özetle verilmiştir.

Kuzey kıyılarda elde edilen bilgilere göre tsunami tırmanma yüksekliği 2.6 metreye kadar ulaşmış, Tüpraş ve Hereke arasındaki bölümde etkili olmuştur. Güney kıyılarda ise tsunami tırmanma yüksekliği 2.9 m'ye ulaşmış, Değirmendere ve Güzelyalı arasındaki bölgede etkili olmuştur (bkz. Şekil 2).



Şekil 2. 1999 İzmit Tsunamisi Tırmanma Yükseklikleri Dağılımı (Yüksel ve diğ., 2000)

4. SIVILAŞMA

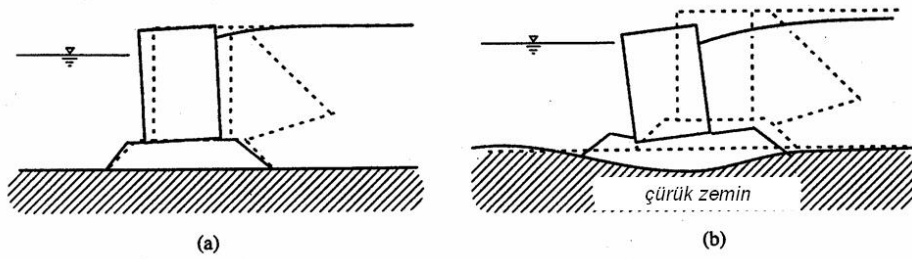
Yeraltı suyunun yukarı doğru hareketi ile yerçekimine karşı uyguladığı kuvvetin tanelerin batık ağırlığını yenmesiyle meydana gelir. Bu durumda tanelerin birbirine göre temas dirençleri ortadan kalkar ve taban üzerinde bulunan herhangi bir deniz yapısı gibi ağır bir cismin tabana gömülmesine neden olur. Boşluk suyu basıncı taneleri yukarı doğru kaldırarak tanelerin boşlukta gibi hareket etmesine neden olur. Dalgalı ortamda sıvılaşma her zaman mümkündür. Diğer bir şekilde tanımlanmaya çalışılırsa, zemindeki taneler arasındaki efektif gerilmeler ortadan

kalktığında katı tane-su karışımı akışkan gibi davranmaya başlar, bu durum sıvılaşıma olarak bilinmektedir (Sümer ve Fredsoe, 2002). Sıvılaşıma deprem etkilerinin yanı sıra dalga etkisinde de meydana gelebilmektedir. Özellikle deniz yapıları suya doygun zeminler üzerine inşa edilmeleri nedeniyle sıvılaşıma potansiyeli yüksek zemin yapıları mevcut olduğunda, bu yapıların deprem etkisinde hasar görmeleri ya da toptan göçmeleri söz konusu olabilmektedir.

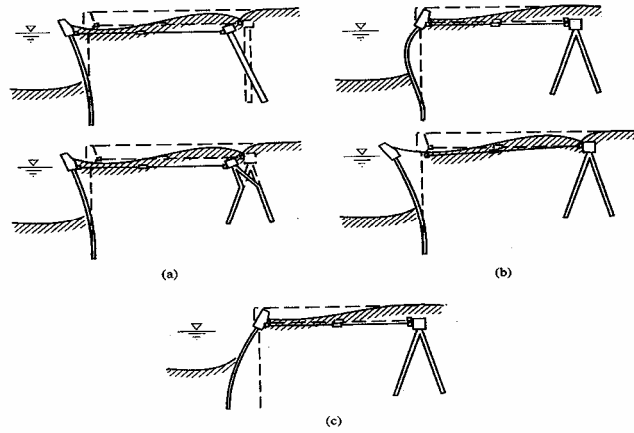
5. KIYI YAPILARININ DAVRANIŞLARI

Kıyı yapılarının tasarımında, yapı türüne göre en önemli temel tasarım parametreleri dalga, akıntı, toprak, deprem ve tsunaminin oluşturduğu yüklerdir.

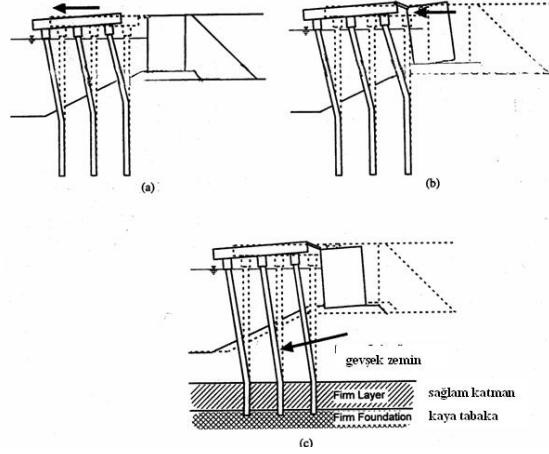
Kıyı yapıları yapısal özelliklerine göre genel olarak; dik duvarlı blok yapılar (dalgakıran, rıhtım, kıyı koruma duvarı gibi), taş dolgu yapılar (dalgakıran, topuk, mahmuz gibi) ve kazık destekli yapılar (iskele, rıhtım, platform gibi) olarak sınıflandırılabilir. Yapı türlerine göre özellikle deprem yükleri altında farklı yapı davranışları (deformasyonlar ve dönme) ve yıkım durumları ortaya çıkar. Örnek olarak, deprem yükleri altında rıhtım duvarlar, palplanş duvarlar ve kazık destekli rıhtım yapılarında oluşan deformasyonlar ve yıkım modları sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. (PIANC, 2001)



Şekil 3. Rıhtım duvarlarının deformasyon / yıkım durumları (PIANC, 2001) (a) sıkı zeminde, (b) gevşek kumlu zeminde

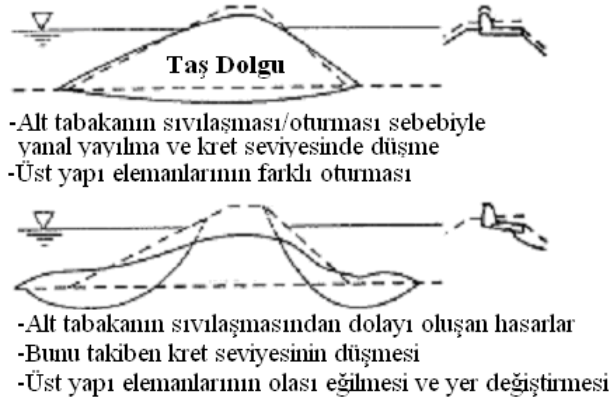


Şekil 4. Palplanş duvarlarda deformasyon / yıkım durumları (PIANC, 2001)
(a) Ankrajdaki deformasyon / yıkım
(b) Palplanş ve bağlantı çubuğundaki yıkım
(c) Temel toprağındaki yıkım



Şekil 5. Kazık destekli rıhtımlarda deformasyon / yıkım durumları (PIANC, 2001),
 (a)Güvertedeki atalet kuvvetinden kaynaklanan deformasyon, (b) İstinad duvarındaki yatay kuvvetlerden kaynaklanan deformasyon, (c) Gevşek toprağın yer değiştirmesinden kaynaklanan deformasyon.

Taş dolgu dalgakıranlar için ise deprem esnasında beklenen tipik hasar durumları Şekil 6'da gösterilmiştir. 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 muhtemel değildir çünkü bu iki olay ilişkili değildir. Bu nedenle tasarım dalga hareketi ve deprem etkisi, iki bağımsız yüklem durumu gibi ele alınabilir. Sadece ortalama bir deniz durumundaki dalga yükleri, tasarım depremleriyle birlikte düşünülmelidir. Bu deniz durumu ile ilgili karar, fırtınanın bölgeye ait uzun dönem istatistiği ile verilmelidir.



Şekil 6. Taş dolgu dalgakıranda hasar (PIANC, 2001)

Taş dolgu dalgakıranlardaki koruma tabakasında doğal ocak taşının haricinde betondan imal edilmiş elemanlar da kullanılmaktadır. Bu tip elemanların birbirine kilitlenme özellikleri nedeniyle dalga etkileri karşısındaki stabiliteleri daha fazladır. Ancak farklı geometrilere sahip

A State of Art Approach to the Design of Coastal ...

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 bloklarda dalga etkisinde 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.

Karamürsel Ereğli Balıkçı Barınağı, 1999 Kocaeli Depremi sırasında hasar gören tipik bir dalgakıran örneğidir. Yüksel vd (2005) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda taş dolgu kesite sahip bu dalgakıranda 50 cm civarında oturmanın meydana geldiği bu oturmanın en önemli nedeninin ise deprem nedeniyle sırasıyla zeminde oluşan sıvılaşma ve şev kaymalarından kaynaklandığı belirtilmiştir.

5.1. Davranışa Dayalı Tasarım Parametreleri

Davranışa dayalı tasarım yönteminde sismik yükler altında yapıda oluşan yapısal deformasyon (dönme, yatay ve düşey ötelenmeler) ve gerilme durumları, ana tasarım parametrelerini oluşturur ve iki aşamalı bir çalışma ile tanımlanır:

A. Tasarım deprem seviyelerinin belirlenmesi

Deprem oluşma olasılıkları, bölgesel ölçekte yapılan uzun dönem istatistiksel çalışma ile saptanır. Bu çalışma, yer bilimcilerin temel çalışma alanına girmektedir. Belli bir yinelenme dönemine sahip bir depremin, yapı ekonomik ömründe aşılma olasılığı ise tasarım depremini saptamada kullanılır. Buna göre, Seviye 1 ve Seviye 2 tanımlanır.

i- Seviye 1: Yapının ekonomik ömründe tasarım deprem hareketinin %50 olasılıkla aşılması durumu.

ii- Seviye 2: Yapının ekonomik ömründe tasarım deprem hareketinin %10 olasılıkla aşılması durumu. Seviye 2, daha az oluşma olasılığına sahip, büyük depremleri tanımlamaktadır.

B. Kabul edilebilir hasar düzeylerinin belirlenmesi

Yapı hasarları, tasarım deprem yükleri altında yapıda meydana gelen “yapısal hasar” ve yapının hizmet verebilmesini tanımlayan “kullanım hasarı” :

i-Yapısal hasar

ii-Kullanımsal hasar

olarak tanımlanır.

Çizelge 1’de hasar düzeyleri ‘yapısal’ ve ‘kullanım’ başlıkları altında Derece 1’den Derece 4’e kadar tanımlanmaktadır. Bu tanımda Derece 1, ‘yapısal’ olarak az hasarlı veya hasarsız durumu tanımlarken, ‘kullanım’ açısından da yapının bir kısmının veya tümünün kullanılabilirliğini göstermektedir. Derece 4 ise yapının tamamen yıkılma ve kullanım dışı kalma durumunu göstermektedir. Davranışa dayalı yöntemde, yapı ve kullanım özelliklerine bağlı olarak, belli bir hasar düzeyi önceden kabul edilerek tasarıma bağlanır.

Çizelge 1. Davranışa dayalı yöntemde kabul edilebilir hasar düzeyleri, (PIANC, 2001)

HASAR DÜZEYİ	YAPISAL	KULLANIM
Derece 1: <i>Kullanılabilir</i>	Az hasarlı veya hasarsız	Yapının bir kısmı veya tamamı kullanılabilir
Derece 2: <i>Onarılabilir</i>	Kontrol edilebilir hasar: limitler içinde deformasyon	Yapının bir süre kullanım dışı kalması
Derece 3: <i>Kısmi yıkım</i>	Yıkılmaya yakın, büyük hasarlı	Yapının uzun süre veya tamamen kullanım dışı kalması
Derece 4: <i>Yıkım</i>	Yapının çevreye en az zararlı tamamen yıkılması	Yapının tamamen kullanım dışı kalması

Tasarımda diğer bir tanımlama ise, kıyı yapılarının önem derecelerine göre yapı davranış sınıflarına ayrılmasıdır. Bu sınıflandırma Çizelge 2’de verilmiştir. Bu çizelgede Sınıf S, çok önemli ve deprem sonrasında da kullanılması gerekli yapılar olarak tanımlanmaktadır. Bu yapıların hasar görmeyecek şekilde tasarımı gerekmektedir. Sınıf C ise çok önemli olmayan ve kolayca onarılabilecek yapıları tanımlamaktadır. Çizelge 2’nin hazırlanmasında, hasar durumunda can ve mal kaybını en aza indirecek durumlar gözetilmiştir. Buna göre, ana ulaşım desteği veren (örneğin, ana ulaşım limanları) ve çevreyi zehirleyerek kirletecek madde yayılımına neden olabilecek kıyı yapıları, Sınıf S olarak nitelendirilmişlerdir.

Çizelge 2. Kıyı yapılarının önem derecelerine göre davranış sınıfları (PIANC, 2001)

Davranış sınıfı	Yapılar üzerindeki deprem etkisine göre açıklamalar
Sınıf S	1-Deprem hasarı sonucu çok fazla can ve mal kaybına sebep olabilecek kritik yapılar. 2- Deprem hasarı sonucu kullanılabilir olması gereken önemli yapılar. 3-Tehlikeli madde bulunduran yapılar 4- Hasar görmesi halinde deprem bölgesinde büyük ekonomik ve sosyal sorunlara yol açabilecek yapılar.
Sınıf A	Önemli ancak yıkımı sınıf S’den daha az etki yaratacak veya yıkımı halinde onarılması zor olan yapılar.
Sınıf B	Sınıf S, A ve C’nin dışında kalan sıradan yapılar
Sınıf C	Küçük ve kolay onarılabilecek yapılar

Yapıların yapı davranış sınıfına ve tasarım deprem seviyelerine göre verebileceği hizmet (kullanılabilirliği) Çizelge 3’te verilmiştir. Bu çizelgede yapının deprem yükleri altında hizmet durumları tasarım deprem seviyelerine göre Seviye 1 ve Seviye 2, S, A, B ve C yapı davranış sınıfları için tanımlanmıştır. Yapı davranış sınıfı ‘S’olan tüm kıyı yapıları; Seviye 1 ve Seviye 2 deprem yükleri altında yapının kullanılabilir olma (hizmet) koşulunu vermektedir. Yapı davranış sınıfı ‘C’ olan kıyı yapıları ise Seviye 1 altında onarılabılır, Seviye 2 altında ise yıkım durumunu tanımlamaktadır. Bu çizelgenin hazırlanmasında da, hasar durumunda can ve mal kaybını en aza indirecek durumlar gözetilmiştir. Yapı davranış tasarım kriterlerine örnek olarak, A sınıfı bir rıhtım duvarı için hasar düzeylerine göre dönme ve öteleme değerleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 3. Davranışa dayalı hizmet sınıfları (S, A, B ve C) (PIANC, 2001)

Yapı Davranış Sınıfı	Tasarım depremi	
	Seviye 1	Seviye 2
Sınıf S	Derece 1:Kullanılabilir	Derece 1:Kullanılabilir
Sınıf A	Derece 1:Kullanılabilir	Derece 2:Onarılabılır
Sınıf B	Derece 1:Kullanılabilir	Derece 3:Kısmi yıkım
Sınıf C	Derece 2:Onarılabılır	Derece 4:Yıkım

Çizelge 4. A sınıfı rıhtım duvarı tasarım kriterleri (PIANC, 2001)

Hasar Düzeyi		Derece 1	Derece 2	Derece 3	Derece 4
Rıhtım Duvarı	(d/H)*	%1.5' tan az	% 1.5-5	% 5-10	% 10'dan fazla
	Denize doğru dönme(derece)	2°'den az	2-5°	5-8°	8°'den fazla

* yatay ötelenme/duvar yüksekliği

5.2. Deprem Sonrası Yapı Hasar Düzeyleri Tespit Çalışmaları

5.2.1. İzmit Körfezi'ndeki Kıyı Yapıları

17 Ağustos 1999 İzmit Depremi sonrası, İzmit Körfezi'ndeki kıyı yapılarında bir araştırma projesi (Yüksel ve diğ., 2000) kapsamında yapılan hasar tespiti çalışmaları, yapı davranışları için çok önemli bir veri tabanı oluşturarak, ülkemizde bu tip çalışmalar için bir başlangıç olmuştur. Bu çalışma sonuçları Çizelge 5'te verilmektedir. Bu çizelgede yapı hasarlarının tanımı PIANC 2001 tanımlarından (Çizelge 2 ve Çizelge 3) farklı olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yapı hasar düzeyleri ve hizmet sınıfları Çizelge 5'te tanımlanmıştır.

5.2.2. Akita Limanı, Japonya

Deprem yükleri altında oluşan hasar tespitine ikinci bir örnek olarak 26 Mayıs 1983 depremi sonucunda Japonya Akita Limanı'nda yapılan çalışma sonucu elde edilen yapı, deprem ve hasar özellikleri Çizelge 6'da, yapının hasar durumu ise Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. Yapı ve deprem özellikleri

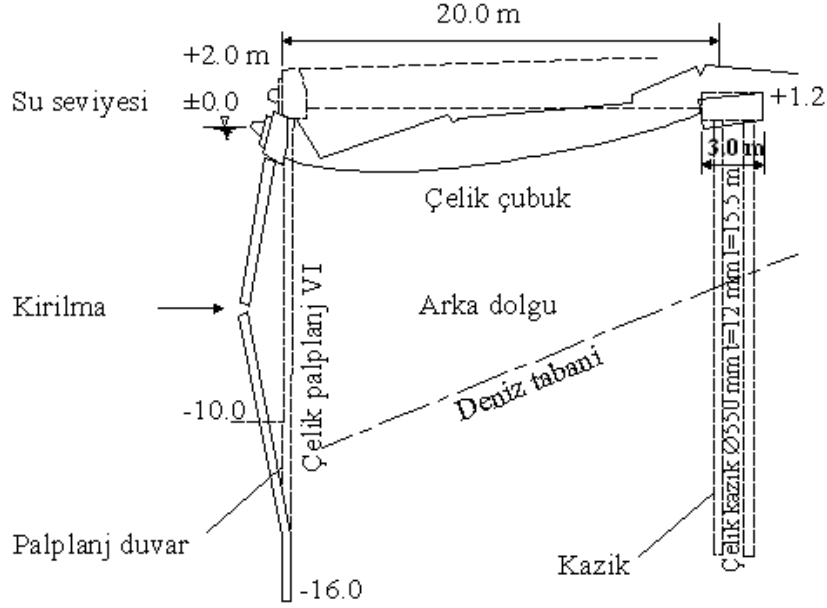
<p>Yapı özellikleri: Yapı: Yanaşma yeri, No.2 (palplanj duvarlı rıhtım) Yapı Yüksekliği: 2 m. Yapı önü su derinliği: 10 m. Tasarım sismik katsayısı: $k_n=0.10$</p> <p>Deprem bilgileri: İnşaat tarihi: 1976 Deprem adı & tarihi: Nihonkai-Chubu Depremi – 26 Mayıs 1983 Deprem büyüklüğü: $M_j=7.7$ (JMA) En büyük yer hareketi ivmesi (PGA): 0.24g En büyük yer hareketi hızı (PGV): 0.32 m/s.</p> <p>Yapısal davranış: Yatay öteleme: 2 m. (yapı üst kotunda) Dikey öteleme: 0.3 – 1.3 m. Sonuç: Palplanj duvarda kırılma</p>

Hizmet Sınıfı	
▲	Kısmi hizmet
□	Tam hizmet
●	Hizmet yok

Çizelge 5. 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi'nde hasar gören yapılar ve hasar düzeyleri (Yüksel vd, 2003)

No	Deniz Yapıları	Yapı Türü	Hasar Türü	Hizmet Türü	Deprem Merkezine Uzaklık (km)
1	TUZLA RIHTIM LİMANI	Blok tip rıhtım, tek dalgakıran	C	▲	48
2	ESKİHİSAR İSKELESİ	Blok tip rıhtım, Gemi çekek yeri	C	□	35
3	ESKİHİSAR BALIKÇI LİMANI	Taş dolgu dalgakıran	D	□	35
4	ROTA İSKELESİ	Beton kazıklı iskele	D	□	8.5
5	TUPRAS CETİ VE İSKELESİ	Beton ve çelik kazıklı iskele	B	▲	5.5
6	DERİNCE LİMANI	Blok tip ve kazıklı rıhtım	B	▲	3
7	PETROL OFİSİ İSKELESİ	Beton ve çelik kazıklı iskele	A	▲	4.5
8	SHELL DERİNCE İSKELESİ	Çelik kazıklı iskele	A	●	5
9	KORUMA TARIM İSKELESİ	Beton kazıklı iskele	A	●	5.5
10	TRANSTURK İSKELESİ	Çelik kazıklı iskele	B	▲	6
11	İZMİT YAT LİMANI	Beton kazıklı iskele	C	□	9.5
12	UM MARİNE LİMANI	Çelik kazıklı iskele	A	●	7.5
13	GOLCUK LİMANI ve RIHTIMI	Çelik kazıklı iskele	B	▲	0.0
14	KARAMURSEL EREĞLİ BALIKÇI LİMANI	Taş dolgu dalgakıran	C	▲	13.5
15	TOPÇULAR İSKELESİ	Beton ve çelik kazıklı iskele	D	□	32
16	AKSA İSKELESİ ve DOFINLER	Çelik kazıklı iskele	B	▲	43
17	YALOVA YAT LİMANI	Taş dolgu dalgakıran	D	□	48
18	KORUKOY İSKELESİ	Beton kazıklı iskele	D	□	56
19	CINARCIK BALIKÇI LİMANI	Taş dolgu dalgakıran	B	▲	65
20	KOCADERE İSKELESİ	Beton kazıklı iskele	D	□	71
21	ESENKOY BALIKÇI LİMANI	Taş dolgu dalgakıran	C	□	78

Hasar Seviyesi	
Seviye A	Yüksek hasar
Seviye B	Az hasar
Seviye C	Düşük hasar



Şekil 7. Arka dolgudaki sıvılaşma sonucu büyük zarar gören palplanş duvar

6. SİSMİK YÜKLER ALTINDA YAPISAL TASARIM

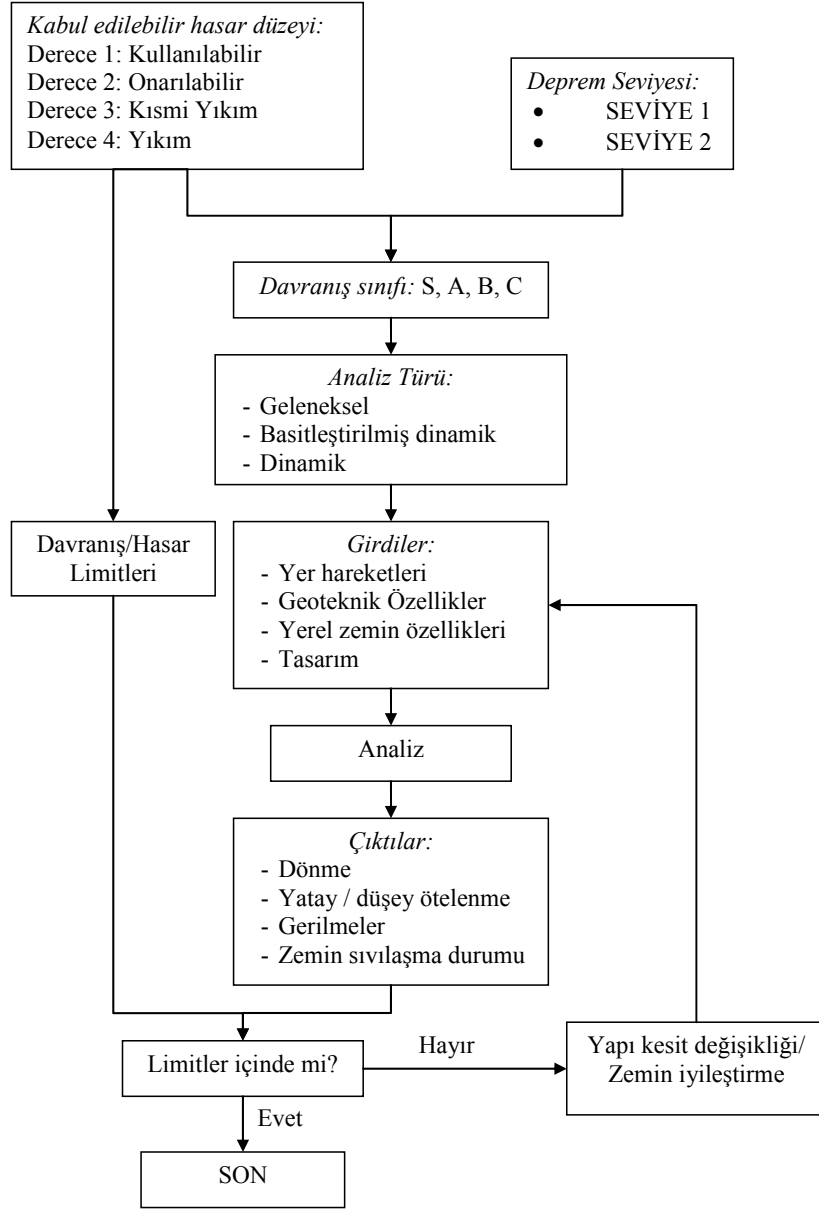
Sismik yükler altında yapısal tasarımda, aşağıda verilen 3 tasarım yöntemi kullanılabilir:

A. Davranışa dayalı basitleştirilmiş analiz (geleneksel yaklaşım) : Bu analiz yönteminde, dönerek devrilme ve kayma analizleri ile güvenlik katsayıları hesaplanır. Genelde "C" sınıfı yapıların tasarımında kullanılır.

B. Davranışa dayalı basitleştirilmiş dinamik analiz : Yapının davranış sınırları, yapı özellikleri ve sınıflamasına göre belirlenerek yapılan bu analiz yöntemi, genelde "B" ve "C" sınıfı yapıların tasarımında kullanılır.

C. Davranışa dayalı dinamik analiz : Yapı davranış ve hasar durumlarının hesaplanarak bulunduğu en geliştirilmiş analiz yöntemidir. Genelde A ve S sınıfı yapıların tasarımında kullanılır.

Sismik analiz akış şeması, Şekil 8'de özet olarak verilmiştir. Yapının sismik davranışının değerlendirilmesi aşamasında yük parametrelerinin yapıda yarattığı deformasyonlar (dönme, yatay ve düşey ötelenmeler) yapı davranış sınıfları (S, A, B, C) için kabul edilmiş limitlerle karşılaştırılır. Bu koşulun sağlanmadığı durumlarda da yapı kesit değişikliğine veya zemin iyileştirilmesi yapılarak, işlemler "Evet" yanıtı alınca kadar tekrarlanır.



Şekil 8. Sismik analiz akış şeması

7. SONUÇLAR

- Kıyı yapıları tasarımında, uluslararası standartlar ve şartnamelere giren “Davranışa Dayalı Tasarım” yöntemi kullanılması, tasarım deprem yükleri altında, en güvenilir yapı tasarımını verecektir. Bu yöntem, yeni yapılacak yapıların tasarımında ve mevcut yapıların güçlendirilmesi projelerinde kullanılabilir.

- Bu tasarımda, geoteknik araştırmalar ve olasılık dağılımları saptanmış deprem yükleri, en önemli girdilerdir.

- Deprem ve tsunami yükleri tasarımda kullanılmalıdır.

Çok pahalı yatırımları gerektiren kıyı yapılarının hasar görmesi, büyük ölçüde mal ve can kaybına yol açabileceği düşünüldüğünde, bu çalışmaların kıyı yapılarında güvenli bir tasarım için hızla ve bilimsel bir yaklaşımla yapılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Bütün bu son gelişmeler ışığında, tasarımlarda kullanılmak üzere Türkiye için kıyı bölgelerinde deprem haritalarının belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu makalenin hazırlanmasında yardımcı olan Araştırma Mühendisi Ilgar Şafak ve Araştırma Görevlisi Berna Ayat’a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] PIANC (2001), Seismic Design Guidelines For Port Structures, Working Group No. 34 of the Maritime Navigation Commission International Navigation Association, The Netherlands.
- [2] Seed, R.B., Chang, S.W., Dickenson, S.E., Bray, J.D., (1997), Site-Dependent Seismic Response Including Recent Strong Motion Data, Proc., Special Session on Earthquake Geotechnical Engineering, XIV International Conf. Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, California, March 1997.
- [3] Sümer, B. M. and Fredsøe, J., 2002, “The Mechanics of Scour in the Marine Environment”, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 19, World Scientific.
- [4] Yüksel, Y., Yalçın, A.C., Alpar, B., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., Özmen, H.İ., Özgüven, O., Bostan, T., Güner, S., (2000), Doğu Marmara Depreminin Deniz Yapıları ve Kıyı Alanları Üzerindeki Etkileri, Rapor-I, Yıldız Teknik Üniversitesi, AFP No: 99-05-01-01, İstanbul, Şubat 2000.
- [5] Yüksel, Y., Alpar, B., Yalçın, A.C., Çevik, E., Özgüven, O., Çelikoğlu, Y., (2003) Effects of the Marmara Earthquake on the Marine Structures and Coastal Areas ICE, Water and Maritime Eng. Journal, 156/147-163, 2003.
- [6] Yüksel, Y., Ozguven, O., Çetin, Ö., Işık, S., N., Çevik, E., Sumer, M., (2005), Seismic Response of Ereğli Fishery port Rubble Mound Breakwater, ICE, Maritime Engineering Journal, Vol.157/MA4, pp151-161, 2005.