Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi
Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering

Basılı/Printed ISSN: 1302-9304. Elektronik/Online ISSN: 2547-958X

1999 Marmara Depreminde Sıvılaşmaya Bağlı Hasar Oluşan Bir Bloklu Rıhtım Duvarın Geriye Dönük Analizi

Back Analysis of Damaged Gravity Quay Wall due to Liquefaction in 1999 Marmara Earthquake

Çiğda Yaran [1*], Gürkan Özden [2]

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Öğrencisi, Buca-İzmir, Türkiye

[2] Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author **: yaran.cigda@ogr.deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 27.08.2019 *Araştırma Makalesi/Research Article*
Kabul Tarihi / Accepted: 07.09.2019 *DOI:110.21205/deufmd.2020226514*
Atıf şekli/ How to cite: YARAN, C., OZDEN, G.(2020). 1999 Marmara Depreminde Sıvılaşmaya Bağlı Hasar Oluşan Bir Bloklu Rıhtım Duvarın Geriye Dönük Analiz. DEUFMD, 22(65), 457-468.

Öz

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sırasında hasar gören kıyı liman yapılarından birisi olan Derince Limanı No.6 Bloklu Rıhtım Duvarı'nın geriye dönük analizleri ele alınmıştır. Geri dolgusundaki sıvılaşma nedeniyle hasarlandığı bilinen bu bloklu rıhtımın deprem davranışı dinamik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiş, sıvılaşabilen geri dolgu için UBC3D-PLM bünye malzeme modeli kullanılmıştır. Analizlerde deprem hareketi taban kayasında tanımlanmıştır. İkisi Kuzey Anadolu Fayı'nda kaynaklanan üç deprem hareketi altında yapılan hesaplar rıhtım duvarı arkasındaki sıvılaşabilen geri dolgu davranışının zemin-yapı etkileşimi ve deprem kaydının frekans içeriği ile birlikte yorumlanması gerektiğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler **:** *Bloklu rıhtım duvarı, sıvılaşma, dinamik sonlu elemanlar yöntemi, geriye dönük analiz, zemin-yapı etkileşimi*

Abstract

In this article, back analyses of No.6 Gravity Quay Wall of Derince Port which is one of the several damaged coastal structures in August 1999 Marmara Earthquake, has been conducted. Site reports after the earthquake revealed that the quay wall faced damages in terms of lateral and vertical displacements due to liquefaction of the backfill. Dynamic finite element technique was utilized during the analyses in which response of the liquefiable soil was taken into consideration by means of UBC3D-PLM material model. Earthquake motion was defined at the bedrock level using three earthquake records, two of which occurred along the North Anatolian Fault. Analyses results showed that response of the liquefiable backfill should be discussed considering soil-structure interaction and frequency content of the earthquake record.

Keywords **:** *Gravity quay wall, liquefaction, dynamic finite element method, back analysis, soil-structure interaction*

1. Giriş

İzmit Körfezi gerek coğrafi konumu gerekse jeolojik ve yapısal özellikleri bakımından Türkiye'nin en önemli endüstri bölgelerinden biridir. İzmit Körfezi'nin çevresel etkilere korunaklı olması ve jeopolitik açıdan emniyetli bir coğrafyaya sahip olması yanında İstanbul'a yakınlığı birçok kıyı yapısının bu körfez kıyı şeridinde inşa edilmesine sebep olmuştur [1]. Anılan kaynakta bu bölge için "*Körfez bölgesi sahibi olduğu sanayi potansiyeli ile Türkiye Cumhuriyeti Devleti için son derece hayati bir yapıya sahiptir*" denilmiştir. Bölgede bulunan önemli sanayi tesisleri ve bunlara hizmet veren yanaşma yapıları ve limanlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1).

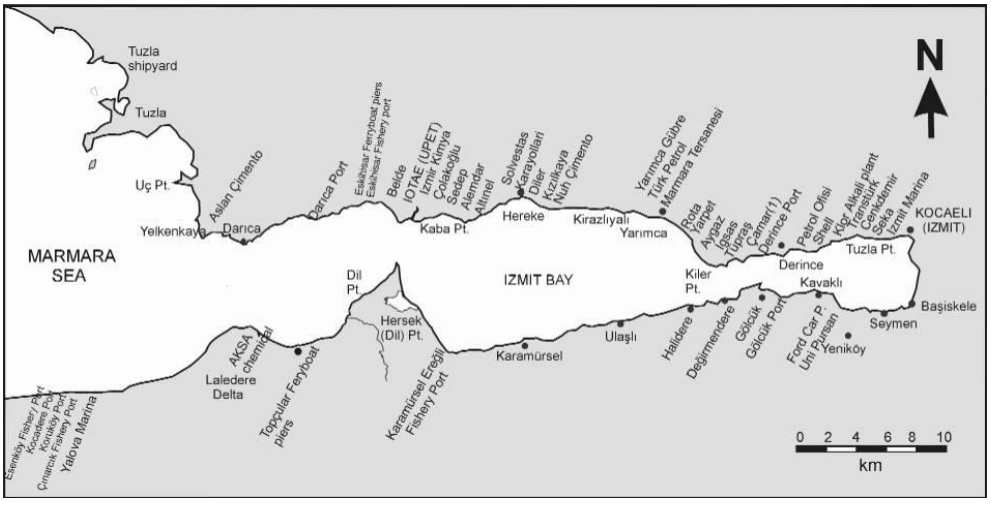
17 Ağustos 1999 yılında meydana gelen Marmara Depremi İzmit Körfezi kıyılarındaki çeşitli kıyı yapılarında hasarlara neden olmuştur [2, 3]. Deprem Kuzey Anadolu Fay Zonunun Adapazarı, Kocaeli, Gölcük segmenti üzerinde yaklaşık 45 sn süren 7.4 büyüklüğünde ölçülmüştür [4]. Kandilli Rasathanesi'nden alınan deprem ile ilgili bilgiler aşağıdaki Tablo 1'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Bu deprem İzmit Körfezi'nde yer alan kıyı yapılarında önemli hasara neden olmuştur. Körfez Bölgesi'nde hasar gören önemli kıyı yapıları arasında Derince Limanı, Tüpraş Kıyı Tesisleri ve Petol Ofisi İskelesi de vardır. Derince ve Tüpraş kıyı yapıları orta hasarlı, Petrol Ofisi İskelesi ise ağır hasarlı olup her üçü de depremden sonra kısmen işletmeye açık kalmıştır.

Tablo 1. 17 Ağustos1999 Depremi özellikler (Kandilli Rasathanesi)

Tarih ve saat	03:01:37
Cisim Dalga Büyüklüğü	6.3 (USGS)
Yüzey Dalga Büyüklüğü	7.8 (USGS)
Moment Büyüklüğü	7.4 (Kandilli, USGS)
Kayıt Süresi Büyüklüğü	6.7 (Kandilli)
Depremin dış merkezi	40.70N, 29.91E
Merkez	Gölcük (Kocaeli)
Derinlik	18 km

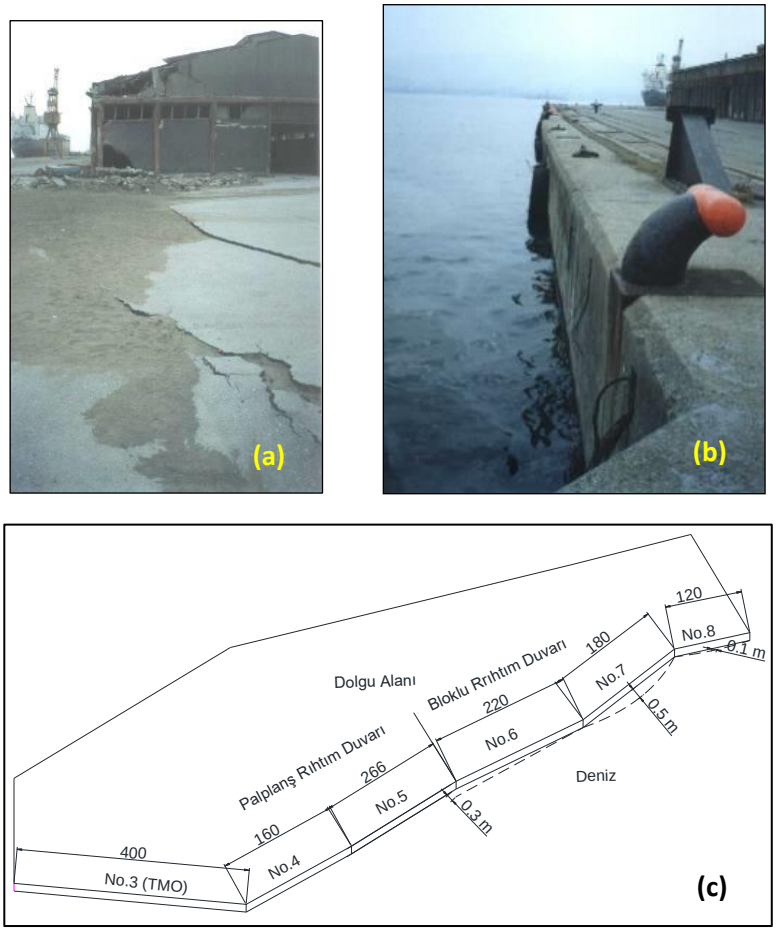
Bu çalışmaya konu olan 12 m yüksekliğinde, 220 m uzunluğundaki bloklu rıhtım duvarı Derince Limanı'nda yer almaktadır (Şekil 2). Depremden sonra rıhtım duvarının gerisinde transit ambarının olduğu bölgede düzenli bir hat boyunca sıvılaşma görülmüştür (Şekil 3a). Derince limanında sıvılaşma ile birlikte dolgu alanında oturma ve bloklu yanaşma yerlerinde ise denize doğru deplasmanlar meydana gelmiştir (Şekil 3b). Depremin maksimum yer ivmesi 0.25g-0.3g olup yatay deplasman No.6 Bloklu Rıhtımı konumunda 30 cm, düşey deplasman ise 50~80 cm mertebesinde ölçülmüştür [2]. Yatay deplasman paterni Şekil 3c'de verilmiştir.



Şekil 1. İzmit Körfezi Kıyı Yapıları [2]



Şekil 2. Derince Limanı uydu görüntüsü ve bloklu rıhtım duvarı konumu



Şekil 3. Derince Limanı bloklu rıhtım duvarında 1999 Marmara Depremi'ne bağlı hasarlar, (a) Transit ambarı ve rıhtım duvarı arasındaki geri dolguda sıvılaşma izleri; (b) Rıhtım duvarının denize doğru hareketi; (c) Deprem sonrası belirlenen yatay deplasman paterni [2]

2. Çalışma Alanına Ait Zemin Özellikleri

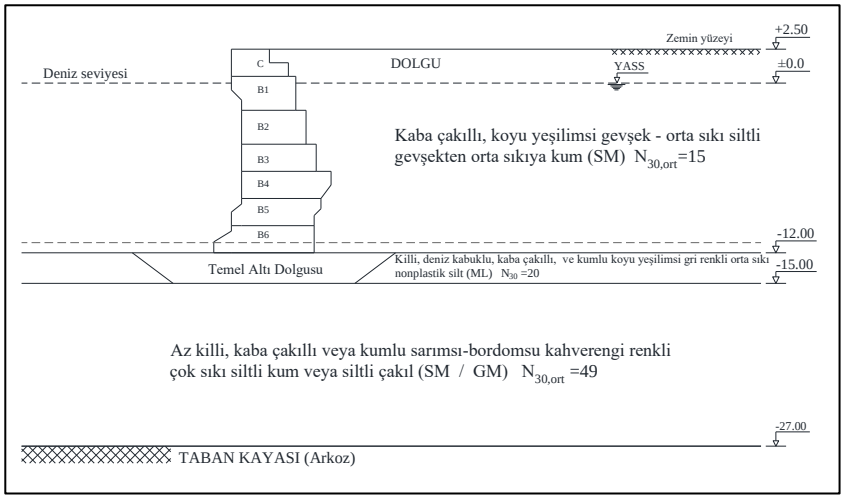
Bu çalışmaya konu olan No.6 Bloklu Rıhtım Duvarı'nın bulunduğu kısımdaki zemin özellikleri projelendirme safhasında 2016 yılında yapılan zemin etüt çalışması raporundan elde edilmiştir. Etüt sırasında yapılan sondajların konum planı Şekil 4'de, idealize geoteknik model ise Şekil 5'de verilmiştir. Söz konusu rıhtım duvarı için 1 adet denizde ve 4 adet karada olmak üzere toplam 5 adet sondaj yapılmış olup karada yapılmış sondajlar YKS-08 hariç 5.0 m, YKS-08 ise 6.5 m derinlikte açılmıştır. Denizde yapılan YDS-06 sondajı ise su derinliği dâhil 30 m derinliğe ulaşmıştır. Deniz tabanının 12 m derinde olduğu dikkate alındığında tabandan itibaren 18 m boyunca zeminde ilerlenmiş, 27 m seviyesinde taban kayasına ulaşılmıştır. Deniz tabanında 12-14 m derinlik aralığında bulgulanan nonplastik silt tabakasında ince dane yüzdesi yaklaşık %58 iken bunun altındaki ardalanmalı kum ve çakıl tabakalarında %7 ila %11 arasında değişmektedir. Zemin yüzeyindeki 150 cm kalınlığında niteliksiz dolgu tabakasının altında benzer özellikte siltli ve az killi deniz taban sedimanı mevcuttur. Bu tabakanın ortalama SPT direnci daha derindeki kum ve çakıla göre daha düşüktür. Yüzeyden 12 m derinliğe kadar Standart Penetrasyon Testi (SPT) darbe direnci N_{30}=7~42 arasında değişken olup ortalaması N_{30_ort}=15 alınabilmektedir. Takip eden tabakalar için ortalama SPT direnci sırasıyla 20 ve 49 hesaplanmıştır. İnce bir tabaka olan nonplastik silt için belirgin bir SPT değişkenliği söz konusu olmamasına rağmen taban kayasına kadar devam eden kumlu ve çakıllı birimde SPT değerleri N_{30}=20~76 aralığında bulgulanmıştır. Sahada yeraltı su seviyesini deniz seviyesi kontrol etmektedir ve YASS yüzeyden 2.5 m derinde rapor edilmiştir.

Bir önceki bölümde değinildiği üzere bloklu rıhtımda sıvılaşmaya bağlı hasar meydana gelmiştir. Arazide sıvılaşma izleri belirgin bir biçimde izlenebilmektedir (Şekil 3a). Sıvılaşma mekanizmasının kıyı yapıları için belli başlı hasar mekanizmalarından biri olduğu bilinmektedir. Literatürde kıyı yapıları için sıvılaşma mekanizması incelenmiş [5], sıvılaşma sonucunda hasar gören kıyı yapıları gerek 1999 Marmara Depremi için [2,4], gerekse 1995 Kobe ve diğer büyük depremler [6,7] için ayrıntılı ele alınmıştır.

Sektörde halen standart sıvılaşma analiz yöntemi olarak benimsenmiş ve yeni Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde yer bulmuş olan Modifiye Edilmiş Seed-Idriss Yöntemi'ne göre [8] Yapılan değerlendirme sonucunda Derince Limanı Rıhtım No.6 konumundaki idealize profilinde yer alan orta-sıkı kum ve nonplastik silt tabakalarının sıvılaşabilen zemin bölgesinde kaldığı görülmektedir (Şekil 6). İnce dane oranı %11 alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün yüzeyden 20 m derinliğe kadar F_s=0.18~1.03 olduğu ve sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Sondaj konum planı (Geosan, 2016)



Şekil 5. İdealize geoteknik model

3. Bloklu Rıhtımın Geriye Dönük Sayısal Analizleri

3.1. Sonlu elemanlar modeli

Kıyı yapılarının sismik tasarımında performansa dayalı tasarım metodu önem kazanmaktadır. "Performansa Göre Tasarım yaklaşımında, zemin ve temelde meydana gelen deformasyonlar sonucunda oluşan yapısal davranışlar (deformasyon; dönme; yatay ve düşey ötelenme ile gerilme durumları) temel tasarım parametrelerini oluşturmaktadır" [9].

Bu çalışmanın konusu olan geriye dönük analizlerde takip edilen yöntem, deprem sonrası yapıda meydana gelen kalıcı hasarların deprem verileri ve geoteknik veriler kullanılarak tanımlanabilmesi olarak açıklanabilir [10]. Bu yöntem esas olarak üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada tamamen yıkılmadan ziyade yetersizliğe neden olan deplasman açısından problem belirlenir. İkinci aşamada, deprem olmadan önceki başlangıç durumundan başlayarak deprem olduktan sonraki rezidüel duruma ulaşılıncaya kadar geçilen aşamalar tespit edilir (örneğin inşaat aşamaları, geri dolgunun yapılması, deprem hareketinin tanımlanacağı taban kayasının konumu ve bunlara bağlı oluşturulan sayısal analiz modeli). Son aşamada ise sayısal analiz gerçekleştirilir.

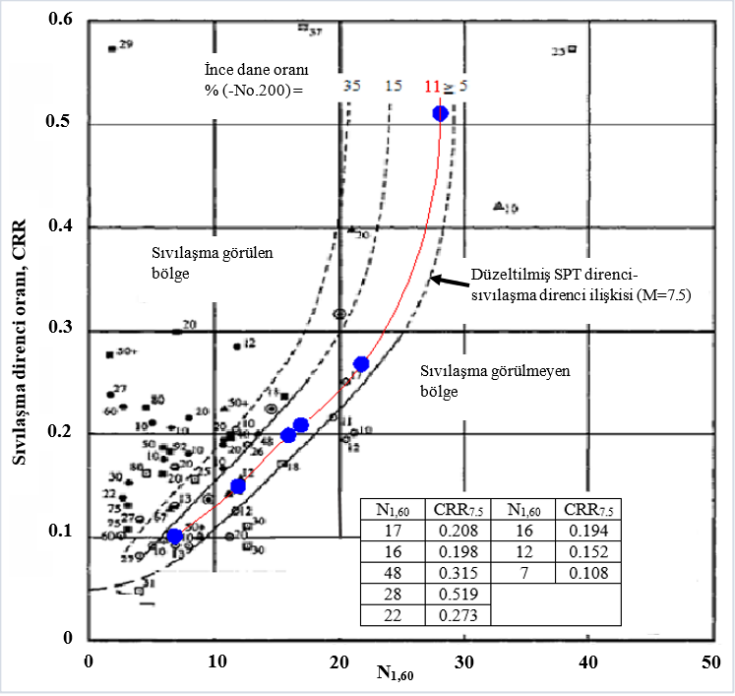
Türkiye sınırları içinde inşa edilmiş veya mevcut kıyı yapılarının deprem analizi Devlet Limanlar ve Hava Meydanları Deprem Teknik Yönetmeliği'ne göre yapılır. Bloklu rıhtımların performans sınırları ilgi yönetmelikte tanımlanmıştır (Tablo 2). No.6 Bloklu Rıhtım Duvarı'nın maksimum kalıcı yatay yer değiştirme oranı %2.5 ($\cong \delta_{h_maks}/h_{duvar}$) olup duvarın deprem sonrasında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen kontrollü hasar performans düzeyi sınırları içinde kaldığı kabul edilebilir.

Bloklu rıhtım duvarına ait geometri ve idealize zemin profili kullanılarak oluşturulan dinamik sonlu elemanlar modeli Şekil 7'de (toplam sonlu eleman sayısı: 6072) verilmiştir. İvme-zaman kaydı modele tabanda uygulanmış, her iki düşey sınırda standart viskoz sınır koşulları tanımlanmıştır.

Tablo 2. Ağırlık tipi rıhtım duvarları için performans limitleri [11]

Yer değiştirme/şekil değiştirme sınırları	Performans Düzeyi	
	MH*	KH**
Kalıcı yatay yer değiştirmenin yüksekliğe oranı (%)	< 1.5	1.5 - 5
Duvardan 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	-

* Minimum Hasar Performans Düzeyi
** Kontrollü Hasar Performans Düzeyi



$N_{1,60}$	$CRR_{7.5}$	$N_{1,60}$	$CRR_{7.5}$
17	0.208	16	0.194
16	0.198	12	0.152
48	0.315	7	0.108
28	0.519		
22	0.273		

Şekil 6. Sıvılaşma direnci ve düzeltilmiş SPT arasındaki ilişki [8]

Şekil 7 üzerinde ayrıca analiz sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan düğüm noktalarının konumları da işlenmiştir. Tabaka #1 ve #4 için pekleşen ve küçük şekil değiştirme zemin modeli (HS-S), Tabaka #2 ve #3 içinse UBC3D PLM modeli kullanılmıştır. Model parametreleri sırasıyla Tablo 3 ve 4'de verilmiştir. Masif beton bloklardan oluşan rıhtım duvarı için geçirimsiz doğrusal elastik malzeme modeli kullanılmıştır ve birim hacim ağırlık γ_{beton}=24 kN/m^3, elastisite modülü E=32x10^6 kPa ve Poisson oranı ν=0.2 alınmıştır.

Sismik yükler altında kumun ve siltli kumun sıvılaşma davranışını modelleme imkanı veren UBC3D-PLM modeli University of British Columbia'da ilk olarak geliştirilmiştir [12]. UBCSand modeli bilahare modifiye edilmiştir [13, 14, 15]. Bu çalışmadaki sonlu elemanlar modeline atanan parametreler Tablo 4'de sunulmuştur. Bu tablodaki parametrelerin hesabında kullanılan denklemler ise Denklem 1~4 arasında verilmiştir.

İkisi Kuzey Anadolu Fayı'nda gerçekleşen üç depreme ait yatay bileşen ivme-zaman serileri ve kayıtların genel özellikleri Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Analizlerde depremlerin etkin süre içindeki kısmı kullanılmıştır.

Tablo 3. Pekleşen zemin ve küçük zemin değiştirme model (HS-S) için atanan parametreler

Sembol	Birim	Tabaka #1	Tabaka #4
ϕ	°	30	38
c	kPa	0	0
γ_{unsat}	kN/m^3	16	16
γ_{sat}	kN/m^3	18	19
ν	-	0.2	0.2
ψ	°	0	8
E_{50ref}	kN/m^2	22000	50000
E_{oedref}	kN/m^2	22000	50000
E_{urref}	kN/m^2	66000	150000

$$\phi_p = \phi_{cv} + (N_{1,60}/10) + \text{maks}(0, (N_{1,60}-15)/5) \quad (1)$$

$$k_B^e = 0.7 * k_G^e \quad (2)$$

$$k_G^e = 21.7 * 20 * (N_{1,60})^{0.3333} \quad (3)$$

$$k_G^p = = k_G^e * (N_{1,60})^2 * 0.003 + 100 \quad (4)$$

Analizlerde kullanılan her üç depremin hâkim periyodu düşük olup Kocaeli, Düzce ve Kobe kayıtları için sırasıyla To=0.16, 0.39 ve 0.47 sn'dir. İkinci ve üçüncü periyotlar ise yine sırasıyla (0.44; 0.82), (0.77; 1.36) ve (0.88; 1.44) saniye olarak okunmaktadır. Kocaeli İstasyonu deprem kaydının üçüncü periyoduna karşı gelen spektral ivme değeri diğer depremlerinkinden yüksektir. Bu çalışmada Düzce ve Kobe Depremi

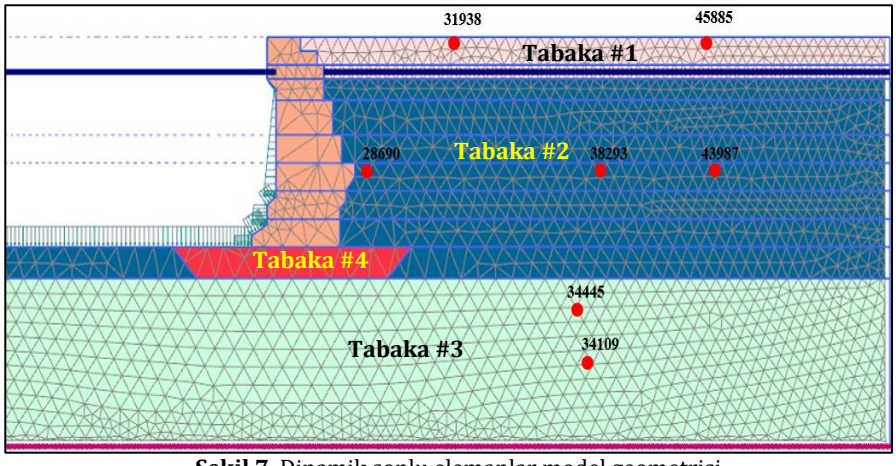
analiz sonuçları özlüce ele alınmakla birlikte esas olarak Derince Limanı'na kuş uçuşu 7.0 km mesafede bulunan Kocaeli İstasyon kaydından elde edilen sonuçlar daha ayrıntılı yorumlanmıştır.

3.2. Analiz sonuçlarının tartışılması

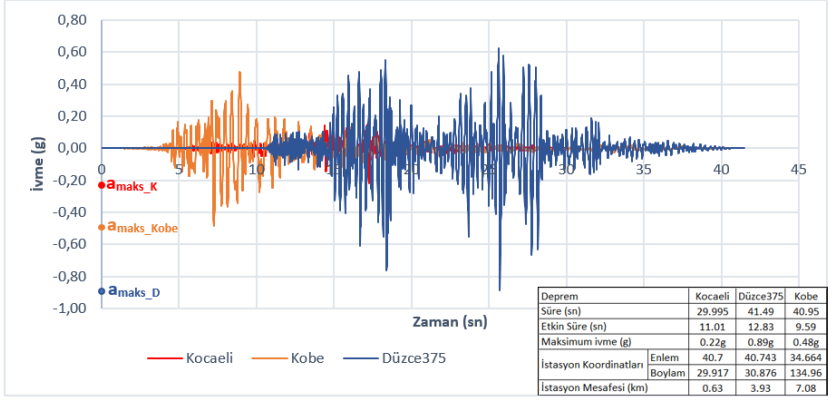
Analizlerde kullanılan ivme-zaman serilerinden Düzce kaydı en yüksek ivme değerine sahiptir. Bunu Kobe ve Kocaeli kayıtları takip etmektedir. Yapılan analizlerde her üç deprem için Tabaka #2'de aşırı boşluk suyu basıncı gelişimi ve buna bağlı dayanım kaybı gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 10a~10c).

Aşırı boşluk suyu basıncı oranının zamanla değişimi incelendiğinde Düzce Depremi'nin taşıdığı enerji çok daha yüksek olmasına rağmen aşırı boşluk suyu basıncı gelişiminin Kobe Depremi analizine nazaran daha düşük olduğu, Tabaka #2'nin ortasında rıhtım duvarından uzakta bir konumda (Nokta #: 43987) yaklaşık t=3.0 sn anında r_u=1.0 olmasına rağmen boşluk suyu basıncının sönümlendiği ve zeminin dayanım kazandığı görülmektedir (Şekil 10a). Kobe Depremi için yapılan analizde Düzce Depremi'nin aksine veri okunan her üç noktada (Nokta #: 28690, 38293 ve 43987) aşırı boşluk suyunun çevrimlerle birlikte tedricen yükseldiği ve r_u≥0.8 olduğu izlenmektedir (Şekil 10b).

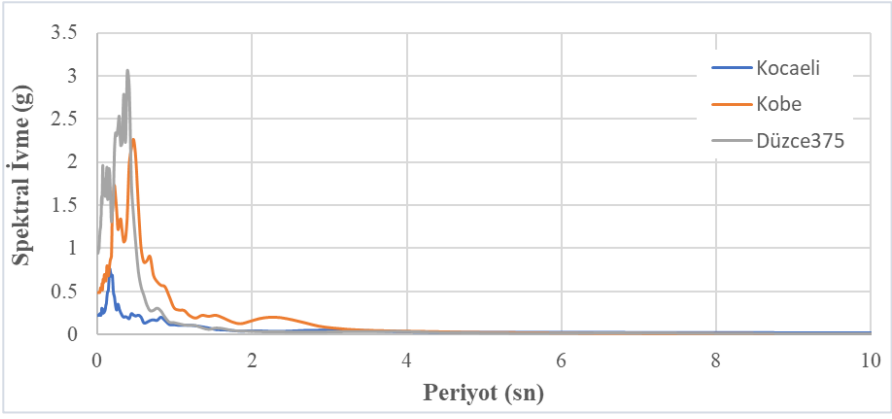
Her üç deprem için yapılan analizde aşırı boşluk suyu basıncı artışı üzerinde rıhtım duvarı ve zemin arasındaki etkileşimin yanı sıra bununla birlikte yorumlanması anlam kazanan depremin frekans içeriğinin etkili olduğu görülmüştür. Benzer bulgular literatürde yer almakta olup sıvılaşan zeminlerde inşa edilmiş ağırlık tipi rıhtım duvarlarının davranışı üzerinde depremin frekans içeriği ile birlikte duvar-zemin etkileşiminin de rolünün olabileceği ortaya konulmuştur [16].



Şekil 7. Dinamik sonlu elemanlar model geometrisi



Şekil 8. Analizlerde kullanılan ivme-zaman serileri ve bunların genel özellikleri



Şekil 9. %5 sönüm oranı için taban kayası seviyesinde elastik ivme spektrumu

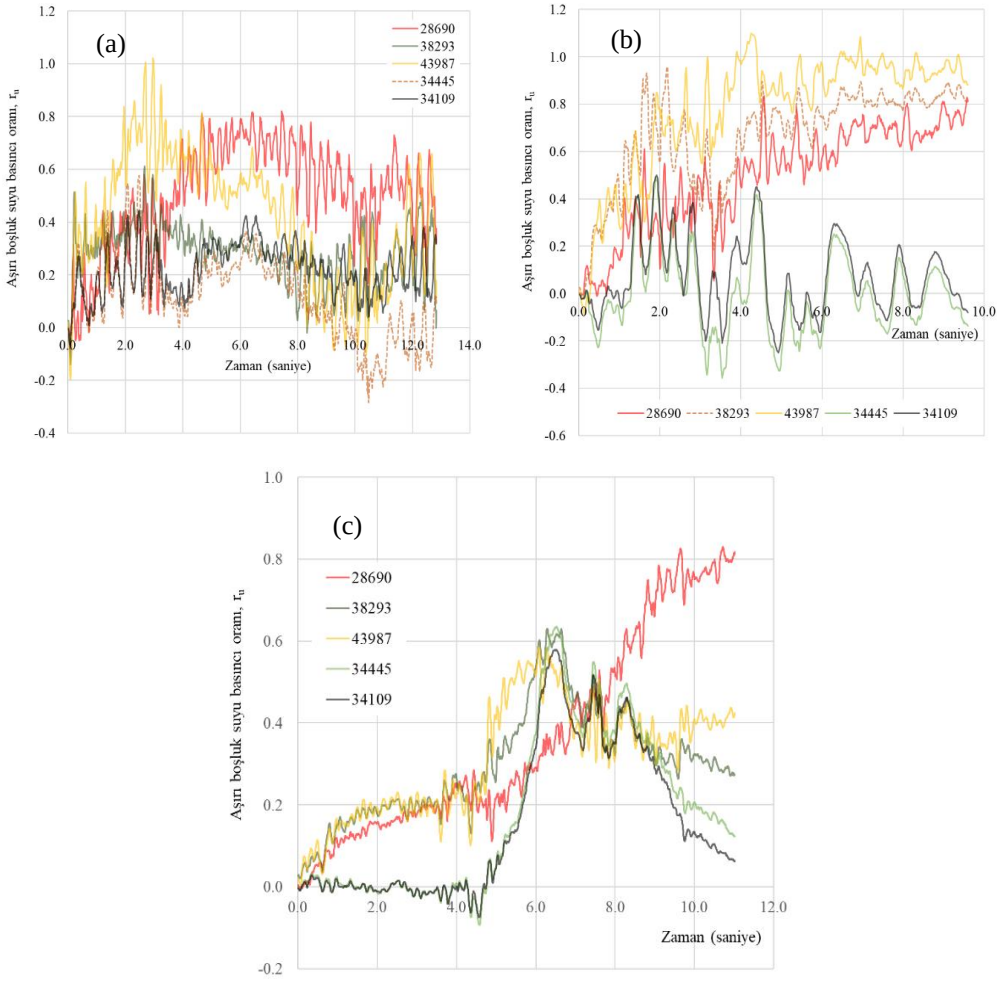
Tablo 4. UBC3D-PLM model için atanan parametreler

Sembol	Birim	Tanım	Tabaka #2	Tabaka #3
$N_{1,60}$	-	düzeltilmiş SPT değeri	17	37
ϕ_{cv}	°	sabit hacimde içsel sürtünme açısı	29.9	26.9
ϕ_p	°	pik içsel sürtünme açısı	32	35
c	kPa	kohezyon	0	0
k^e_B	-	elastik bulk modülü faktörü	781.2	1012.2
k^e_G	-	elastik kayma modülü faktörü	1116	1446
k^p_G	-	plastik kayma modülü faktörü	1068	6039
m_e	-	elastik bulk modülü indisi	0.5	0.5
n_e	-	elastik kayma modülü indisi	0.5	0.5
n_p	-	plastik kayma modülü indisi	0.4	0.4
R_f	-	göçme oranı	0.7	0.6
P_A	kPa	atmosferik basınç	100	100
σ_t	kPa	çekme dayanımı	0	0
fac_{hard}	-	sıkılaşma faktörü	0	0
fac_{post}	-	sıvılaşma sonrası faktör	0	0

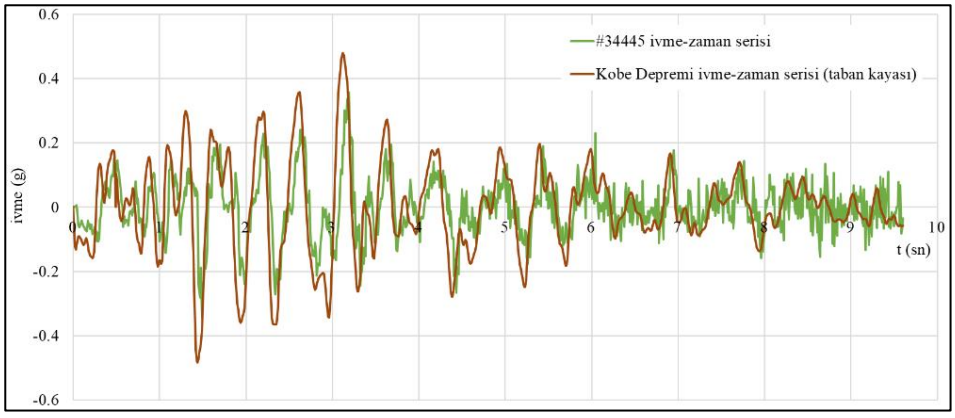
Analiz sonuçları aşırı boşluk suyu basıncının zamanla değişimi baz alınarak incelenmiştir. Yüksek aşırı boşluk suyu basıncının deprem kaydındaki ivme büyüklüğü ile ilintili olması beklenir. Bununla birlikte, Düzce Depremi çevrimlerindeki pik ivmeler çok daha yüksek olmasına rağmen aşırı boşluk suyu basıncı gelişiminin Kobe Depremi'ne nazaran çok daha düşük olması Kobe Depremi kaydının yüksek periyot bölgesinde daha yüksek enerjili harmonikler barındırması (Şekil 9) ile açıklanabilir. Deprem sırasında aşırı boşluk suyu basıncı gelişimi ile birlikte zemin tabakasının uzayan doğal periyodu ivme-zaman serisindeki yüksek periyotlu harmonikler tarafından yakalanmakta ve aşırı boşluk suyu basıncı sönümlenemeden tekrar birikim olmaktadır. Kobe Depremi'nin içerdiği yüksek periyotlu harmonikler aşırı boşluk suyu basıncı birikiminin gerçekleşmediği çok sıkı kum-çakıl tabakasından alınan düğüm noktaları (Nokta #: 34445 ve 34109) üzerinde izlenebilmektedir (#34445 için bkz. Şekil 11). Bu tabakada Kobe Depremi analizinde aşırı boşluk suyu basıncı birikimi gerçekleşmemiş, düğüm noktalarından alınan ivme-zaman verisi yaklaşık 2.0 sn periyotlu bir harmonik hareket arz etmiştir.

Düzce ve Kocaeli analizlerinde bu düğüm noktalarında kısmi boşluk suyu basıncı gelişimi meydana gelmiştir. Kocaeli Depremi analizinde yalnızca rıhtım duvarının hemen arkasındaki düğüm noktasında (Nokta #: 28690) aşırı boşluk suyu basıncı tedricen yükselmiş ve r_u=0.8 değerine ulaşmıştır. Bu noktadaki boşluk suyu

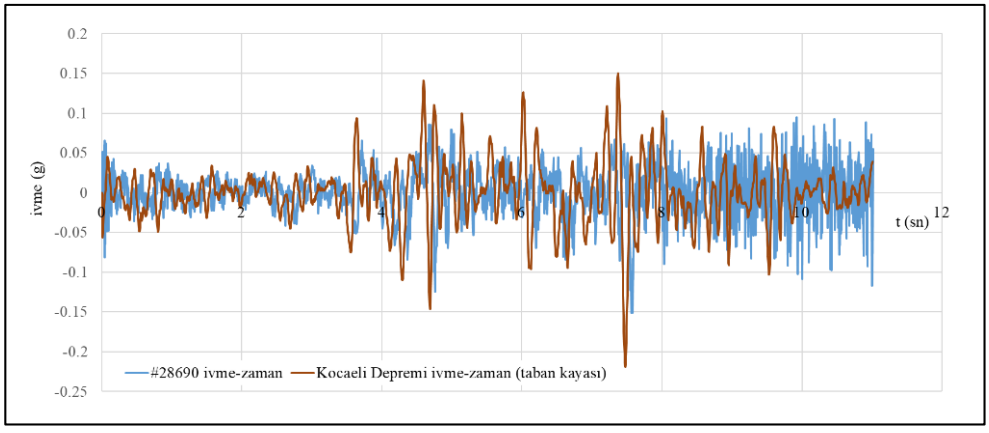
basıncı birikiminin diğerlerinden fazla oluşunun rıhtım duvarının atalet etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 12'de Nokta#: 28690 için verilen ivme-zaman grafiği maksimum ivmenin depremin etkin süresinin sonuna doğru taban kayasındaki değerin üzerine çıktığını ortaya koymaktadır. Kocaeli Depremi analizinde aşırı boşluk suyu basıncının $r_u>0$ olduğu kısımların alansal dağılımı Şekil 13'de verilmiştir. Şekildeki $r_u<0.8$ olarak sıvılaşmayan bölgelerin fazlalığı ve model içinde yayılımının depremin pik ivmesinin düşük olması rıhtım duvarı ile zemin arasındaki etkileşime bağlı olabileceği gibi modeldeki sınır etkilerinden de kaynaklanabilir. Bu husus analiz sonucunda hesaplanan kümülatif yatay deplasmanların dağılımı üzerinde izlenmektedir (Şekil 14).



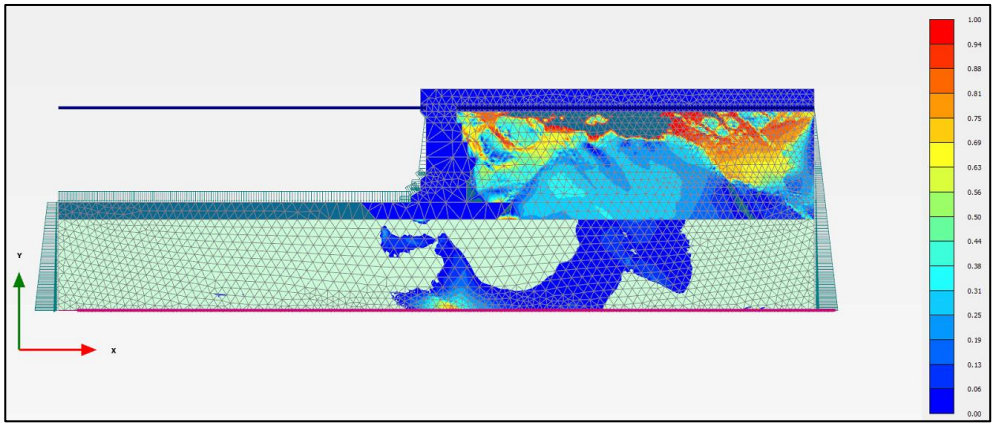
Şekil 10. Aşırı boşluk suyu basıncı oranının zamanla değişimi (a) Düzce Depremi; (b) Kobe Depremi; (c) Kocaeli Depremi



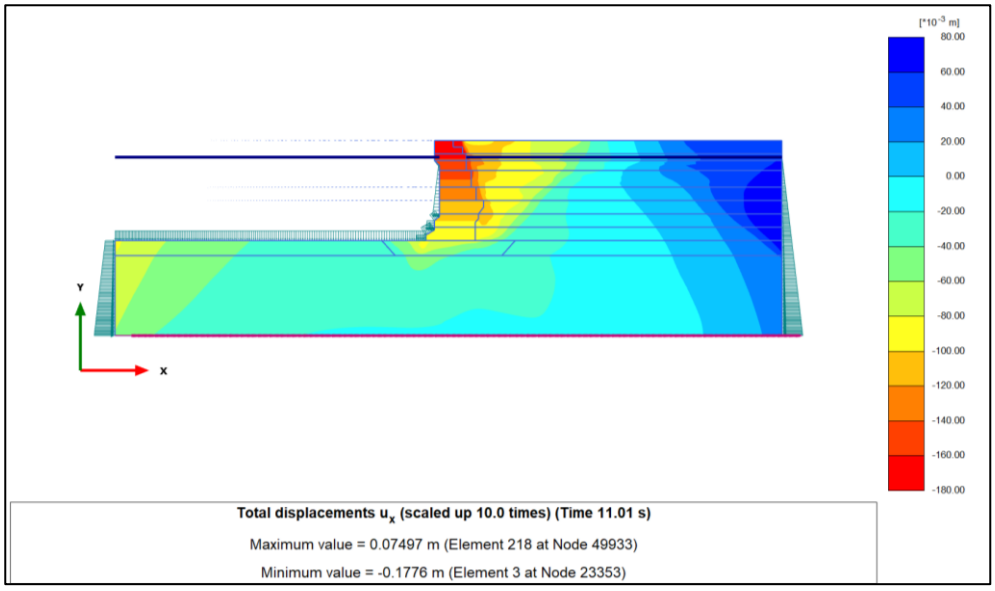
Şekil 11. Nokta #: 34445 için ivmenin zamanla değişimi ve taban kayasında tanımlanan Kobe Deprem kaydı ile karşılaştırılması



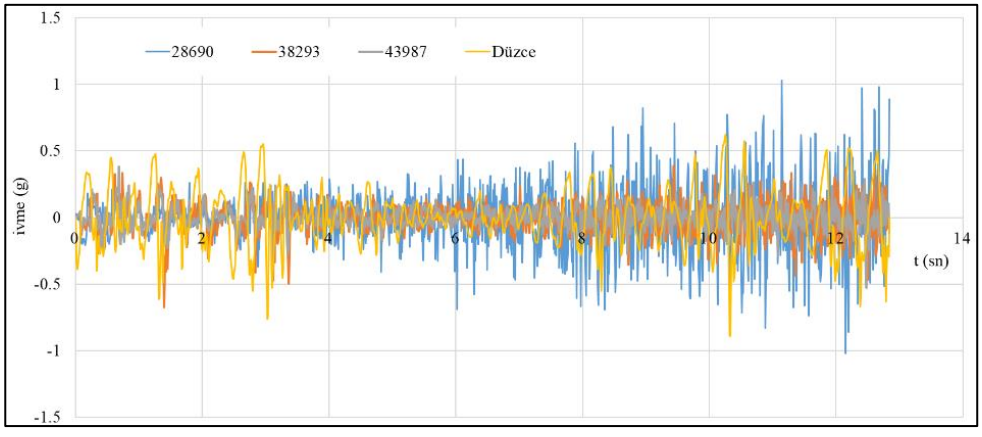
Şekil 12. Kocaeli Depremi analizinde rıhtım duvarının hemen arkasında hesaplanan ivme-zaman serisi ve bunun taban kayasında tanımlanan kayıtla karşılaştırılması



Şekil 13. Kocaeli Depremi analizinde aşırı boşluk suyu basıncı oranının dinamik sonlu elemanlar modeli içinde dağılımı



Şekil 14. Kocaeli Depremi analizinde yatay deplasman dağılımı



Şekil 15. Düzce Depremi analizinde rıhtım duvarı arkasında ivme-zaman serisinin gelişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde sıvılaşmaya bağlı hasar oluşan Derince Limanın'daki No.6 Bloklu Rıhtım Duvarı'nın geriye dönük analizleri dinamik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sıvılaştığı bilinen zeminin davranışı UBC3D-PLM malzeme modeli kullanılarak ele alınmıştır. Analizlerde üç ayrı deprem kaydı kullanılmış ve depremin taşıdığı enerji büyüklüğünün yanı sıra frekans içeriğinin analiz sonuçları üzerindeki etkisi ele alınabilmiştir.

Analiz sonuçları bloklu rıhtımın arkasındaki sıvılaşabilen zeminin davranışı üzerinde yalnızca zeminin kendi özelliklerinin belirleyici olmadığını, depremin frekans içeriği ile bloklu rıhtım duvarı-zemin etkileşiminin de tesirli olabileceğini ortaya koymuştur. Bu durum bilhassa Düzce Depremi analizlerinde gözlenmiştir. Pik ivmesi a_{maks}=0.89g olan Düzce Depremi'nde sadece çevrimsel hareketlilik ortaya çıkmış, aşırı boşluk suyu basıncı birikimi duvarın hemen arkasındaki Nokta#: 28690 konumunda r_u=0.7 mertebesinde gerçekleşmiş, Tabaka #2 içindeki diğer konumlarda ise

r_u=0.2~0.3 aralığında kalmıştır. Bloklu duvar-zemin arasındaki etkileşimin ivme değerleri üzerindeki etkisi ise Şekil 15 üzerinde izlenebilmektedir. Duvardan uzaklaşıldıkça hesaplanan ivme azalmıştır. Kobe Depremi analizinde duvar-zemin etkileşimin ivme değerlerini büyütmeyişi bu depremdeki yüksek periyotlu harmoniklerin baskın olması ve masif bir kütle olarak hâkim periyodu düşük olan duvarın ivmelenmeyişi ile açıklanabilir.

Ulaşılan sonuçlar bloklu rıhtım duvarları arkasındaki zemin davranışı üzerinde depremin frekans içeriğinin daha detaylı çalışılması gerektiğini, model sınır koşullarının analiz sonuçlarına etkisinin model sınırlarını değiştirerek veya viskoz sınır parametrelerini optimize ederek incelenmesinin zorunlu olduğunu ortaya koymuştur.

1999 Marmara Depremi'ni takiben Bloklu Rıhtım No.6'da ölçülen maksimum yatay ötelenme 30 cm olup rıhtımın ortasında 15 cm olarak enterpole edilebilmektedir. Kocaeli Deprem kaydı kullanılarak yapılan analiz sonucunda hesaplanan dinamik yatay deplasmanın mertebesi sahada ölçülen yatay ötelenme ile uyumludur. Bloklu rıhtım kontrollü hasar performans düzeyi arz etmiştir. Bulgularımız halen işletmede olan bloklu rıhtım duvarları arkasındaki sıvılaşabilen geri dolgu davranışının zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çalışılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan resimlerin kullanım izni için Prof.Dr. Yalçın YÜKSEL'e teşekkür ederim.

Kaynakça

[1] Yüksel, Y. ve Güler, I. 2005. Deniz Yapılarında Deprem Etkileri ve 1999 Gölcük Depremi Örneği. TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı : 438.

[2] Yüksel, Y., Alpar, B., Yalçıner, A.C., Çevik, E., Özgüven, O., Çelikoğlu, Y. 2002. Effects of the Eastern Marmara Earthquake on Marine Structures and Coastal Areas, Proceedings of The Instıtution of Civil Engineers. Water & Maritime Engineers 156, Issue WM2, 147-163.

[3] Sümer, B.M., Ansal, A., Çetin, K.O., Damgaard, J., Günbak, A.R., Hansen, N.O., Sawicki, A., Synolakis, C.E., Yalçıner, A.C., Yüksel, Y. and Zen, K. 2007. Earthquake-Induced Liquefaction around Marine Structures. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 133(1), 55-82.

[4] Yüksel, Y., Özmen, H., Çevik, E., Özgüven, O., Çelikoğlu, Y., Bostan, T., Gürer, S., Gökoğlu, F. 2000. Doğu Marmara Depreminin Körfez Bölgesi Deniz Yapıları Üzerindeki Etkileri. III. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 67-91.

[5] Groot, M.B, Bolton M.D., Foray, P., Meijers, P., Palmer, A.C., Sandven R., Sawicki, A. and Teh, T.C. 2016. Physics of Liquefaction Phenomena around Marine Structures. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 132(4), 227-243.

[6] Iai, S. Seismic Performance-Based Design of Port Structures and Simulation Techniques. PIANC, 465

[7] PIANC, 2001. Seismic design guidelines for port structure, International Navigation Association, A.A. Balkema Publishers, Tokyo.

[8] T. L. Youd, T.L. and Idriss, I. M. 2001. Liquefaction Resistance Of Soils: Summary Report From The 1996 Nceer And 1998 Nceer/Nsf Workshops On Evaluation Of Liquefaction Resistance Of Soıls. Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, 297-313.

[9] Ergin, A., Yüksel, Y. 2006. Deprem ve Tsunami Yükleri Altında Kıyı Yapıları Tasarımına Yeni Bir Yaklaşım: Davranışa Dayalı Tasarım. Sigma, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2006/2.

[10] Iai, S. 2011. Overview of Backwards Analysis in Geotechnical Engineering. International Symposium on Backwards Problem in Geotechnical Engineering and Monitoring of Geo-Construction, 29-34.

[11] Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, 2007, Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) Genel Müdürlüğü.

[12] Plaxis 2D Material Model Manual, 2018.

[13] Tsegaye, A. B. 2010. Liquefaction Model (UBC3D). Plaxis Report, Delft, The Netherlands.

[14] Petalas, A. & Galavi, V. 2013. Plaxis Liquefaction Model UBC3D-PLM. Plaxis Report, The Netherlands.

[15] Makra, A. 2013. Evaluation of the UBC3D-PLM Constitutive Model for Prediction of Earthquake Induced Liquefaction on Embankment Dams. Delft University of Technology, Msc Thesis, 112s, Delft.

[16] Taiyab, A., Alam, J. and Abedin, Z. 2014. Dynamic Soil-Structure Interaction of a Gravity Quay Wall and the Effect of Densification in Liquefiable Sites. International Journal of Geomechanics, 14(1), 20-33.