

ADAPAZARI BÖLGESİ ZEMİN BÜYÜTME FAKTÖRÜNÜN İNCELENMESİ

Seyhan FIRAT¹, Mesut DEMİR²

sfirat@gazi.edu.tr, mesutdemir_7@hotmail.com

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya

Özet

Bu çalışmanın amacı, Adapazarı bölgesinin yerel zemin koşullarının kuvvetli deprem hareketlerini büyütme etkisinin hangi mertebede olduğunu belirlemektir. Bu amaçla Adapazarı'nda geçmiş yıllarda yapılmış derin sondajlardan belirlenen zemin formasyonları kullanılarak SHAKE2000 bilgisayar programında 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ait verilerle tek boyutlu zemin tepki analizi yapılmıştır. Analizde göz önüne alınan zemin profillerinin yüzeylerindeki davranış spektrumları, Türk Deprem Yönetmeliği 2007 ve Eurocode8'de öngörülen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, zemin profillerinin alt tabakası ile yüzeyleri arasındaki transfer fonksiyonları ve derinliğe bağlı pik yer ivmesi değerleri gösterilmiştir. Çalışma kapsamında analizlerden elde edilen sonuçlar, incelenen zemin davranış spektrumlarının yönetmeliklerde öngörülen tasarım spektrumlarının dışında yer aldığını, zemin yüzeylerindeki pik yer ivmesi değerlerinin zemin alt tabakasındaki değerlerden büyük olduğunu ve zeminlerin lineer olmayan özelliklerinden dolayı küçük frekanslarda büyük zemin büyütmesi, büyük frekanslarda ise daha küçük büyütme olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, depreme dayanıklı yapı tasarımında yerel zemin koşullarının göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zemin Büyütmesi, Adapazarı Zemini Özellikleri, Shake2000, Yerel Zemin Koşulları

INVESTIGATION OF SOIL AMPLIFICATION IN ADAPAZARI REGION

Abstract

In this study, it has been purposed to determine the value of soil amplification on the strong ground motion in Adapazarı region. One dimensional ground response analyses has been performed by using the SHAKE2000 computer program on the estimated soil properties from the deep boring logs by using 17 August 1999 Marmara earthquake record. The response spectrum of soil profiles that has been considered in the analyses at ground surface has been compared with recommending design spectra in the earthquake codes such as Turkish Earthquake Codes of 2007 and Eurocode8. Furthermore, it has been showed the transfer functions between sublayer and surface and the peak ground acceleration values dependent depth. Obtained results from the analyses show that the response spectrum of investigated soils is located outside of recommending design spectra in the codes, the peak ground acceleration values at the soil surface is greater than values of soil sublayers and since soils have nonlinear properties it is occurred greater amplification at small frequency or smaller amplification at greater frequency. According to this research, it is stated that the local site conditions must be considered in terms of earthquake-resistant structural design.

Key Words: Soil Amplification, Soil Characteristics of Adapazarı, Shake2000, Local Site Conditions

1. GİRİŞ

Dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer alan ülkemizde, özellikle sanayileşmenin ve şehirleşmenin yoğunlaştığı ülkenin kuzeybatısında yer alan Marmara bölgesi yıkıcı depremlere maruz

kalmaktadır. Bu yıkıcı depremlerden 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri yakın geçmişteki örneklerdir. Özellikle, 17 Ağustos 1999 Marmara depremi Marmara bölgesinin büyük bir kısmını etkilemiştir. Adapazarı, depremin merkezinden uzakta yer almasına rağmen bölgenin zemin özelliklerinden dolayı büyük hasara uğramıştır.

Depremler sırasında meydana gelen hasarların yerel zemin koşullarından etkilendiği, çeşitli araştırmacılar tarafından birçok kez ortaya konmuştur. Bu çalışmalar, yapıların deprem etkisi altında davranışlarının belirlenmesi için yerel zemin koşullarının bilinmesi gerektiğini göstermiştir.

Kılıç ve diğ. (2006) tarafından İstanbul Deprem Master Planı çerçevesinde Zeytinburnu'nda, deprem kuvvetleri üzerinde yerel zemin koşullarının etkilerini belirlemek için mikro bölgeleme çalışması yapılmıştır. Bu sahada, detaylı jeolojik ve geoteknik çalışmalar yapılmış, sahanın yerel jeolojik özelliklerini gösteren bir jeolojik harita hazırlanmış ve sahada zemin sondajlarından oluşturulan verilere dayalı dinamik davranışa bağlı sınıflandırma yapılmıştır. Yerel zemin koşullarının dinamik davranış üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, saha ve laboratuvar incelemelerinden elde edilen bulgular kullanılarak EERA bilgisayar programı ile zemin tepki analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik tepki analizi sonucunda, zemin sarsıntısına bağlı oluşturulan mikro bölgeleme haritası, jeolojik birimlerin değişimi ile bölgede uyumsuzlukların olduğunu göstermektedir.

Kutanis ve Bal (2006) yerel zemin koşullarının yapı hasar dağılımı üzerindeki etkilerini belirlemek için, SHAKE2000 yazılımını kullanarak Adapazarı şehir merkezinde bulunan zeminler için yer tepki analizi yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, özel zemin koşullarına sahip yerleşim bölgelerindeki yapıların maruz kalacakları deprem etkilerinin farklı olabileceğini gözlemlemişlerdir.

Alüvyonlu taşınmış zeminlerin depremi büyütme etkisi, son yılların önemli çalışma konularındandır. Adapazarı bölgesi, bu özellikte zemin formasyonuna sahiptir. Kuvvetli deprem hareketleri etkisi altında, Adapazarı bölgesinin zemin büyütme faktörünün hangi mertebede olduğunu belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, bölgede DSİ (2001) ve ESER Teknik Sondaj ve Tic. Aş. (1998) tarafından yapılan derin sondajlardan zemin profilleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada sondaj loglarından belirlenen zemin profillerine, bir boyutlu yer tepki analizi yapan Shake2000 bilgisayar programında, kuvvetli deprem hareketi kaydı etki ettirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen profillere ait davranış spektrumları, Türk Deprem Yönetmeliği 2007 ve Eurocode8'de öngörülen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır.

2. ADAPAZARI BÖLGESİ JEOLJİSİ

2.1 Bölgenin Jeolojik Yapısı

Adapazarı ovası, aşağı Sakarya vadisinde, Sapanca Gölü ile Adapazarı merkez ve doğusunda yer alır. Doğuda Keremali Dağlarının eteklerine uzanan Akova, Marmara bölgesinin en büyük ovalarından biridir. Yüzölçümü 620 km² olan ovanın batı-doğu yönünde uzunluğu 27 km, kuzey-güney yönünde de genişliği 23 km'yi bulmaktadır. Yükseltisi yaklaşık 30 m olan ovaya, çevredeki dağlardan sırtlar sokulmakta ve bazı alanlarda tepecikler oluşmaktadır. Bunlardan başlıcaları, Adapazarı kent merkezinin güneyindeki Erenler tepesi (75 m), Alibey tepesi (112 m) ve güneydoğusundaki Tersiyer tepesi (85 m)'dir (Bol, 2003).

Adapazarı ovasının büyük bir kısmını Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin getirdiği çakıllı ve siltli kumlar içeren kuvaterner alüvyon birikintileri oluşturur. Genellikle çakıl-kum-silt serileri devamlı bir şekilde görülür. Bu birikintiler mercexsi veya bant şekilde düşük plastisiteli kil ve silt serileri içerirler. Kil, kum, çakıl ve silt bazen tek başlarına belli seviyelerde bazen de bunların değişik kombinasyonları şeklinde ardalı olarak görülmektedir. Kuvaterner oluşumlar değişik tabaka kalınlıklarından oluşan gradasyonu düzgün çakıl, kum ve siltler içeren ve kayma dalga hızları 200 – 250 m/s civarında olan holosen alüvyon çökellerden oluşmaktadır (Kutanis ve Bal, 2006).

Adapazarı ovasını oluşturan alüvyonun yüzeyi günümüzde yataya yakın bir eğimdedir. Alüvyonun kalınlığı değişik araştırmacılar tarafından tartışılmıştır. DSİ tarafından 2001'de yapılan 200 m'lik derin sondajda kaya tabakasına ulaşamamıştır. Bu konuda, Komazawa ve diğ. (2002) yerçekimi anomali esasına göre yaptıkları çalışmada ana kaya ve zemin tabakası arasındaki 500 kg/m³'lük yoğunluk farkı ile bir model oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda, alüvyonun kalınlığını yaklaşık 1000 – 1500 m olarak açıklamışlardır.

3. ZEMİNLERİN DEPREM ETKİSİNDE DAVRANIŞLARI

3.1 Yerel Zemin Koşullarının Yer Hareketi Üzerindeki Etkileri

Yerel zemin koşulları kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süreden oluşan önemli özelliklerinin tamamını kuvvetle etkilemektedir. Bunların etki derecesi, yer altındaki birimlerin geometrisi ile malzeme özellikleri, sahanın topografyası ve girdi hareketin özelliklerine bağlıdır (Kramer, 2003).

Belirli bir sahadaki depremin karakteristikleri fay mekanizması, depremin merkez üssünün uzaklığı, jeolojik yapı ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonudur. Zemin koşullarının en etkili parametreleri ana kaya üzerinde yer alan zemin tabakasının yüksekliği, zemin profilinin ve karakteristiklerinin derinlikle değişmesi, yanal jeolojik heterojenlik, yüzey ve gömülü topografyadır (Biringen, 2000).

Deprem esnasında, sismik dalgalar ana kayadan temele bunların arasında yer alan zeminlerin vasıtasıyla zeminin büyütme etkisiyle iletilir. Zemin tabakalarının yapısı, yapıların deprem davranışında büyük bir etkiye sahiptir. Bu küçültme ya da büyütme etkisine neden olabilir. Bu, yapının olmadığı aynı noktada meydana gelecek boş alan hareketi ve yapı temelinde meydana gelecek hareket arasındaki farkın sonucu olan yapı-zemin etkileşimi etkisiyle yapının varlığıyla etkili olabilecek zemin büyütmesini gösterir (Özgirgin, 1997; Biringen, 2000; Tezcan ve diğ., 2002).

3.2 Zemin Büyütmesi

Teorik olarak, zemin büyütmesi ifadesi, yeryüzüne yakın yumuşak zemin tabakalarının içinden geçen sismik dalgaların genliklerindeki artışı anlatmaktadır. Bu artış, yüzeye yakın zemin tabakalarının düşük empedansından kaynaklanır. Empedans (Z), zemin kütle yoğunluğu (ρ) ve dalga yayılma hızına (V_s) bağlı bir değer olup

$$Z = \rho \cdot V_s \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Pratikte zemin büyütme ifadesi, farklılıkların empedans değişimlerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığına bakmaksızın iki yakın zemin arasındaki yer hareketindeki farklılıkları tanımlamak için kullanılır. Dalga odağı, kırılma doğrultusu, havza geometrisi ve topografya iki yakın zeminin yer hareketinde farklılıklar oluşturabilecek diğer faktörlerdir. Ana kaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının, zemin yüzeyine yaklaştıkça birim ağırlık ve kayma dalga hızı değerlerinde azalma olmaktadır. Bu, ana kayadan yüzeye yaklaştıkça zeminin empedans değerinde bir düşüş görülmesi demektir. Basit koşullar için büyütme, sönümden kaynaklanan enerji kayıpları ihmal edilip enerjinin korunumu ilkesi kullanılarak açıklanabilir. Sismik enerji akışı

$$E = (\rho \cdot V_s) \cdot X^2 \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $\rho \cdot V_s$ zemin ortamın empedansını, X ise sismik sarsıntı hızını temsil etmektedir. Sismik dalgaların yayılması esnasında, enerji sabit kalacağından empedanstaki azalmalar sarsıntı hızının artması ile telafi edilecektir (Şafak, 2001).

Bir bölgeyi etkileyen kuvvetli yer hareketlerinin değişim göstermesinde, bölgenin zemin özellikleri ve deprem hareketinin karakteristiğinin etkili olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, (Özgirgin, 1997; Biringen, 2000; Tezcan ve diğ., 2002; Tohumcu ve diğ., 2003; Haşal ve İyisan, 2004; Yalçınkaya, 2004; Bakır ve diğ., 2005; Hasancebi ve Ulusay, 2006; Kılıç ve diğ., 2006; Kutanis ve Bal, 2006) bir boyutlu modeller kullanılarak zeminin tabaka kalınlığı, zeminin sönümü, zemin tabakası kayma dalga hızı, sismik dalgaların geliş açısı, iki yada daha çok tabaka durumu ve ana kayaya erişebilme problemi gibi farklı parametrelerin zemin büyütme fonksiyonları üzerindeki etkileri, pratik uygulamalardaki yeri ve büyütme fonksiyonlarının gerçek deprem kayıtları üzerindeki etkileri örneklerle incelenmiştir.

Zemin tabakasının kayma dalga hızının değişmesi, ana kaya ve zemin arasındaki empedans oranının değişmesi anlamına gelir ve bu doğrudan büyütme değerini etkiler. Ayrıca hızdaki bir değişim, zemin hakim frekansının da değişmesi anlamına gelir. Zemin ve ana kaya arasındaki empedans farkının büyümesi,

zemin büyütmesinin artmasına karşılık gelir. İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değeri o kadar yüksek olur. Ayrıca zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim frekansı daha yüksek büyütmelemlerle daha küçük frekanslara doğru kayar.

4. ADAPAZARI BÖLGESİ ZEMİN BÜYÜTME FAKTÖRÜ

4.1 Program Analizi

SHAKE2000 programı, düşey olarak ilerleyen kayma dalgalarından etkilenen, yatayda sonsuz olarak uzanan visko-elastik homojen bir sistemdeki tepkiyi hesap eder. Bu program, Fourier dönüşüm algoritması vasıtasıyla kısa süreli hareketlerle kullanmak için uyarlanan dalga denklemlerinin tekrarlayan çözümüne dayanmaktadır. Kayma modülü ve sönümün doğrusal olmaması, her tabakadaki efektif şekil değiştirme ile uyumlu kayma modülü ve sönüm değerlerini elde etmek için tekrarlı bir yöntem kullanılarak eşdeğer lineer zemin özellikleri kullanımıyla açıklanır.

Sondaj loglarından belirlenen zemin profillerine, bir boyutlu yer tepki analizi yapan Shake2000 bilgisayar programında, kuvvetli deprem hareketi kayıtları etki ettirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen profillere ait davranış spektrumları, Türk Deprem Yönetmeliği 2007 ve Eurocode8'de öngörülen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır.

Sayısal analizde, göz önünde bulundurulmuş zemin tabakalarını tanımlamak için kullanılan tabaka kalınlığı, birim ağırlık, düşey efektif gerilme, plastisite indisi, süknüneteki yanal zemin basınç katsayısı, çevrimsel gerilme ve kayma dalga hızı değerlerinin bir örneği Çizelge 1'de verilmektedir:

Çizelge 1

DSİ (2001) Tarafından Yapılan Teverler Sondaj Logunun Genelleştirilmiş Profili

D (m)	Zemin Sınıfı	Zemin Türü	H (m)	ρ (kN/m ³)	σ_v' (kN/m ²)	I_p	K_0'	σ_m' (kN/m ²)	V_s (m/s)
1.00	CL	Siltli Kil	1.00	13.00	3.190	20	0.524	2.1777	150
9.90	ML	Kumlu Silt	8.90	14.00	40.481	12	0.448	25.5840	200
10.50	SP	Kum	0.60	18.00	45.395	0	0.440	28.4475	200
24.30	CL	Siltli Kil	13.80	15.25	120.467	20	0.524	82.2388	250
26.30	SP	Kum	2.00	18.00	136.847	0	0.440	85.7574	250
33.90	CH	Kil	7.60	17.00	191.491	45	0.629	144.1288	300
42.00	SW	Kum	8.10	18.00	257.830	0	0.440	161.5735	300
74.30	CH	Kil	32.30	18.00	522.367	25	0.545	363.9157	300
87.00	SW	Kum	12.70	19.00	639.080	0	0.440	400.4901	500
146.50	CH	Kil	59.50	19.00	1185.885	25	0.545	822.2136	500
149.50	SW	Kum	3.00	19.00	1213.455	0	0.440	760.4318	600
200.00	CH	Kil	50.50	19.50	1702.800	25	0.545	1186.2840	700

Çizelge 2'de yer alan kuvvetli yer hareketi verisi, bu çalışma için ana kaya deprem hareketi olarak kullanılmamış, sondaj loglarının son bulunduğu derinliklerden zemin tabakalarına uygulanmıştır. Profillerin, kullanılan yer hareketi etkisi altındaki davranış spektrumları Türk Deprem Yönetmeliği 2007 ve Eurocode8'de % 5 sönüm değeri için öngörülen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2

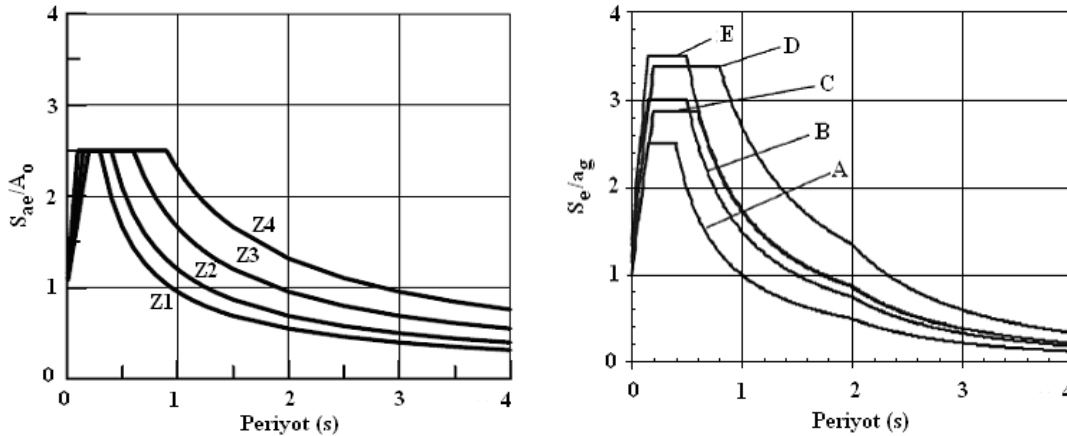
Analizde Kullanılan Kuvvetli Yer Hareketi Verileri

Deprem	İstasyon	Bileşen	Pik Yer İvmesi (g)	Büyüklik
17.08.1999 Marmara	SKR	090	0.376	7.4

Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılan spektral ivme katsayısı, $A(T)$, %5 sönüm oranı için etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 , bina önem katsayısı, I ve spektrum katsayısı, $S(T)$ ’e bağlı olarak

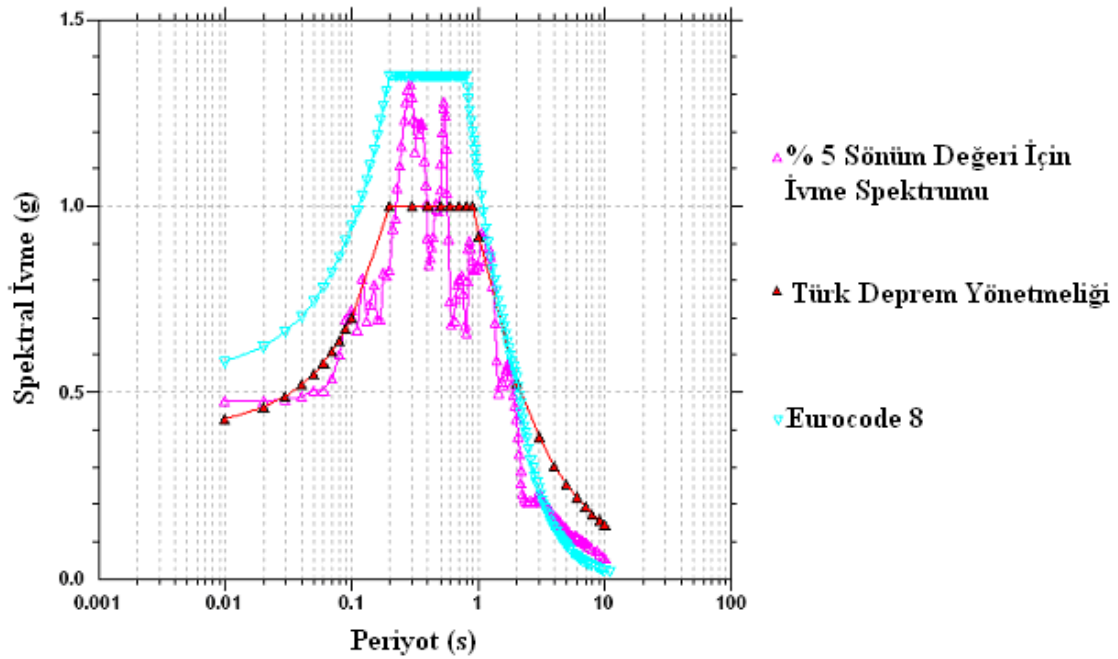
$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (3)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada yerel zemin koşullarının etkisi, spektrum katsayısı, $S(T)$ hesaplanırken kullanılan spektrum karakteristik periyotları ile ifade edilebilmektedir. Eurocode8’de Türk Deprem Yönetmeliğine ilave olarak sönüm düzeltme katsayısı, η , (%5 sönüm $\eta = 1$) ve zemin faktörüne, S , yer verilmiştir. Zemin faktörünün değeri, zemin koşullarına bağlı olarak 1.0 ile 1.4 arasında değişmektedir. Bunun sonucu olarak spektrum karakteristik periyotlarında, spektral ivme katsayısı sabit kalmamakta, zemin türüne bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Türk Deprem Yönetmeliği 2007 ve Eurocode8 Tasarım Spektrumları

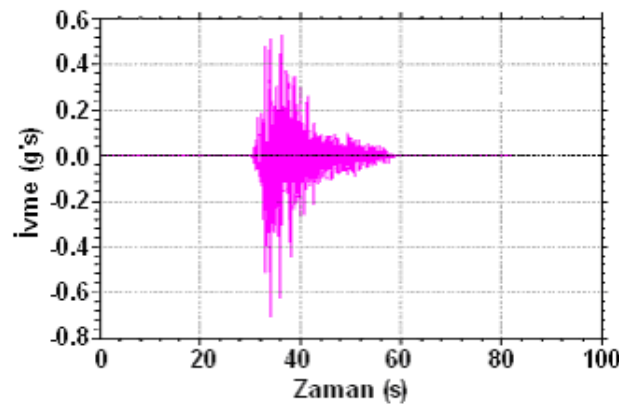
Gerçek deprem kaydı etkisi altında yapılan bir boyutlu analizlerden elde edilen, % 5 sönüm değeri için Teverler profilinin davranışını temsil eden zemin yüzeyine ait ivme spektrumu, Türk Deprem Yönetmeliği 2007 I.Derece deprem bölgesi Z4 grubu zemini ve Eurocode8 1.Tip D zemin sınıfına ait tasarım spektrumları ile birlikte, 17 Ağustos 1999 Marmara depremi etkisinde Şekil 2’de karşılaştırılmaktadır.



Şekil 2. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi kuvvetli yer hareketi etkisinde Teverler profiline ait zemin yüzeyindeki davranış spektrumunun tasarım spektrumları ile karşılaştırılması

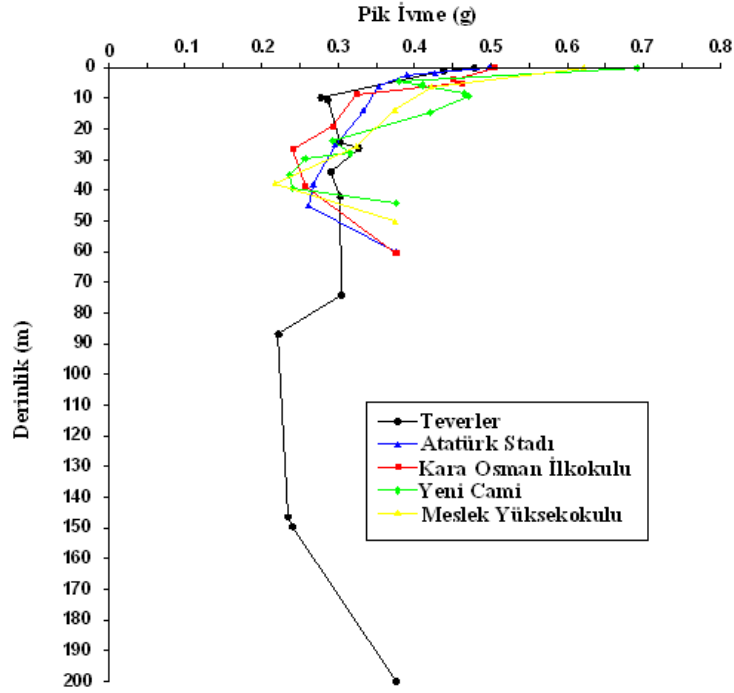
Teverler profiline ait 17 Ağustos 1999 Marmara depremi etkisindeki davranış spektrumu Türk Deprem Yönetmeliğinin 2s – 6s aralığında dışına çıkarken Eurocode8'in sınırları içinde kalmaktadır. Analizde göz önüne alınan, Atatürk Stadi, Karaosman İlkokulu, Yeni Cami ve Meslek Yüksekokulu profillerine ait aynı yer hareketinin etkisindeki davranış spektrumları Türk Deprem Yönetmeliği ve Eurocode8'de öngörülen tasarım spektrumlarının sınırlarını geçmektedir.

Zemin profillerinin en alt tabakasına etki ettirilen kuvvetli yer hareketlerinin zemin yüzeyinde değişime uğradığı görülen parametrelerinden biri zamana bağlı ivme değerleridir. Zamana bağlı ivme grafiklerinde ulaşılan en büyük değer, kuvvetli yer hareketinin pik ivme değerini temsil etmektedir. Pik yer ivmesi değerleri 0.376g olan 17 ağustos 1999 Marmara depremine ait kuvvetli yer hareketi kaydı etkisindeki zemin profillerinin, yüzeylerindeki pik yer ivmesi değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu değerler, Yeni Cami zemin profilinde 0.691g ile en büyük pik yer ivmesi değerlerine ulaşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi etkisinde Yeni Cami zemin profilinin yüzeyinde elde edilen ivme-zaman grafiği

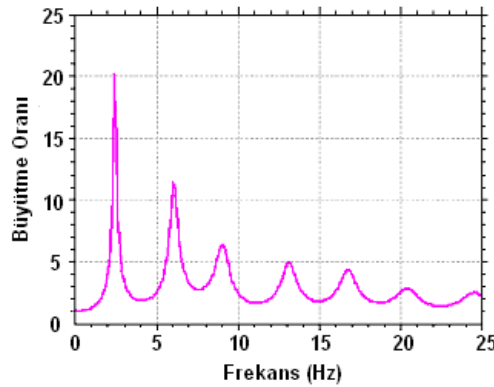
Sismik dalgaların ilerlediği zemin tabakaları boyunca kuvvetli yer hareketlerinin parametrelerinde değişimler görülmektedir. Yer hareketlerinin pik ivme değerleri de zeminlerin derinlikleri boyunca farklılık göstermektedir. Analizde göz önüne alınan zemin profilleri için, kuvvetli yer hareketlerinin pik ivmelerinde, uygulandıkları noktadan yüzeye doğru 200 m'lik Teverler profilinde 150 m'ye kadar, diğer profillerde 40 m 'ye kadar zeminin sönümünden kaynaklanan bir azalma olmaktadır. Pik ivme değerlerinin azalmasının sona erdiği bu derinliklerden sonra en büyük pik ivme değerine ulaşılan yüzeye kadar artış görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi kuvvetli yer hareketi etkisindeki zemin profillerinin derinliğe bağlı pik ivme değişimleri

Şekil 4'te görüldüğü gibi pik yer ivmesi değerlerinin, profillerin alt tabakasından başlayıp sönümden kaynaklanarak azalma şeklinde değişmesi ve bu azalmanın sona erdiği derinlikte değerlerin artarak devam etmesi, yüzeye yakın kısımlarda etkili olan Rayleigh dalgaları olarak bilinen yüzey dalgalarının varlığından etkilendiğini göstermektedir. Alt tabakadan zemin yüzeyine doğru ilerledikçe belirli bir derinliğe kadar sönümlenen dalgalarından dolayı pik ivme değerleri düşmektedir. Yüzey dalgaları yüzeye yakın kısımlarda etkili olduğu ve cisim dalgalarından daha yavaş sönümlendikleri için belirli bir derinlikten sonra zemin yüzeyine kadar pik ivme değerleri artarak değişim göstermektedir.

Yer hareketinin uygulandığı tabaka ile zemin yüzeyi arasında frekansa bağlı değişimini gösteren transfer fonksiyonları, büyütme oranlarını vermektedir. Şekil 5'te bir örneği verilen transfer fonksiyonu, zemin formasyonunun alüvyon özelliği taşımasından meydana gelen, küçük frekanslarda yani büyük periyotlarda daha büyük zemin büyütmesi olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ana kaya derinliğinin belli olmamasından kaynaklanan büyütme oranlarının yüksek değerlerde olması elde edilen transfer fonksiyonlarında gözlenen bir durumdur.



Şekil 5. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi kuvvetli yer hareketi etkisinde Yeni Cami zemin profiline ait transfer fonksiyonu

17 Ağustos 1999 Marmara depremine ait kuvvetli yer hareketi kaydı ve beş farklı sondaj logu kullanılarak yapılan bir boyutlu zemin tepki analizi sonucunda elde edilen değerlerin bir kısmı örnek olarak grafik halinde yukarıda verilmiştir. Bu analiz sonucunda ulaşılan sayısal değerler Çizelge 3'te yer almaktadır.

Çizelge 3

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Kuvvetli Yer Hareketi Etkisindeki Sayısal Sonuçlar

ZEMİN PROFİLLERİ	Büyütme Oranı	Pik Yer İvmesi (g)
Teverler	10.29	0.478
Atatürk Stadi	12.63	0.491
Kara Osman İlkokulu	14.46	0.503
Yeni Cami	20.16	0.691
Meslek Yüksekokulu	11.00	0.621

5. SONUÇLAR

Alüvyonlu taşınmış zemin formasyonuna sahip Adapazarı bölgesinde, zemin büyütmesinin hangi mertebede olduğunu belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, inceleme sahasında geçmiş yıllarda yapılan derin sondaj verileri kullanılarak oluşturulan zemin profilleri için SHAKE2000 bilgisayar programı ile bir boyutlu zemin tepki analizi yapılmıştır. Analizlerde, zemin profillerine uygulanacak kuvvetli yer hareketleri için 17 Ağustos 1999 Marmara deprem verileri kullanılmıştır. Analizde göz önüne alınan zemin profillerinin alt tabakalarına uygulanan yer hareketlerinin zemin yüzeyindeki değişimleri, davranış spektrumlarının Türk Deprem Yönetmeliği 2007 Z4 tipi ve Eurocode8 1.tip zemin sınıfı D olan tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır.

17 Ağustos 1999 Marmara depremi kuvvetli yer hareketi verilerinin etkisinde, analizde göz önüne alınan zemin profillerine ait davranış spektrumları, yönetmeliklerde öngörülen tasarım spektrumları sınırlarının çok ötesine geçmektedir.

Analizlerde elde edilen transfer fonksiyonlarında, zemin profillerine ait en büyük büyütme oranları 0.63–2.5 Hz arasında görülmektedir. Zeminlerin lineer olmayan özelliklerinden dolayı, bir zemin profiline ait transfer fonksiyonunda, büyük ivmelerde küçük zemin büyütmesi, küçük ivmelerde ise daha büyük zemin büyütmesi olmaktadır. Büyütme oranlarının çok yüksek değerler göstermesi, ana kaya derinliğinin belirlenememesinin ortaya çıkardığı bir olumsuzluktur.

Zemin profillerinin alt tabakalarına uygulanan kuvvetli yer hareketlerinin ivmeleri, zemin yüzeyine doğru ilerledikçe değişiklik göstermektedir. Yeni Cami profilinde elde edilen en büyük büyütme oranı değerleri ve pik yer ivmesi değerlerindeki kayda değer artış, 17 Ağustos 1999'da gerçekleşen Marmara depremi

esnasında, depremden en fazla etkilenen Adapazarı bölgesinde Yeni Cami ve civarında binaların çoğunun yıkılması ile hasarın çok büyük boyutlarda olmasında zemin özelliklerinin etkisini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Bakır, B.S., Yılmaz, M.T., Yakut, A., Gülkan, P. (2005), “Re-examination of Damage Distribution in Adapazarı: Geotechnical Considerations”, *Engineering Structures*, 27, 1002-1013.
- Biringen, E. (2000), “Soil Amplification and Case Studies for Clayey Soils”, Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- Bol, E. (2003), “Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- Demir, M. (2007), “Adapazarı Bölgesi Zemin Büyütme Faktörünün İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, (2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- “Eurocode 8”, (2003), European Committee for Standardisation.
- Hasancebi, N., Ulusay, R. (2006), “Evaluation of Site Amplification and Site Period Using Different Methods for an Earthquake-Prone Settlement in Western Turkey”, *Engineering Geology*, 87, 85-104.
- Haşal, M.E., İyisan, R. (2004), “Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etkisi: Bir ve İki Boyutlu Davranış”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul, 343-352.
- Kılıç, H., Özener, P.T., Ansal, A., Yıldırım, M., Özaydın, K., Adatepe, Ş. (2006), “Microzonation of Zeytinburnu Region with Respect to Soil Amplification: A Case Study”, *Engineering Geology*, 86, 238-255.
- Komazawa, M., Morikawa, H., Nakamura, K., Akamatsu, J., Nishimura, K., Sawada, S., Erken, A., Önalp, A. (2002), “Bedrock Structure in Adapazarı, Turkey – A Possible Cause of Severe Damage by the 1999 Kocaeli Earthquake”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 829 – 836.
- Kramer, S.L. (2003), “Geoteknik Deprem Mühendisliği”, Gazi Kitabevi.
- Kutanis, M., Bal, İ.E. (2006), “Yerel Zemin Şartlarının Yapı Hasar Dağılımı Üzerinde Etkileri”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*, Trabzon, 99-113.
- Özgirgin, F. (1997), “Case Studies on Soil Amplification”, Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- Şafak, E. (2001), “Local Site Effects and Dynamic Soil Behavior”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 453-458.
- Tezcan, S.S. (2002), Kaya, E., Bal, İ.E., Özdemir, Z., “Seismic Amplification at Avcılar, İstanbul”, *Engineering Structures*, 24, 661-667.
- Tohumcu, P., Kılıç, H., Özaydın, K., “Yerel Zemin Koşullarının Depremler Sırasında Yapısal Davranış Etkileri Yönünden Sınıflandırılması”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 85-101.
- Yalçınkaya, E. (2004), “Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi”, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi*, c.17, s.1, 47-56.