

PERFORMANSA DAYALI YÖNTEMLERİN YEREL ZEMİN KOŞULLARI İLE BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLMESİ: ADAPAZARI VAKALARI İLE BİR ÇALIŞMA

AN ASSESSMENT OF PERFORMANCE BASED DESIGN AND EVALUATION METHODS BY CONSIDERING LOCAL SITE CONDITIONS: A STUDY ON THE CASES IN ADAPAZARI

Mustafa Tolga YILMAZ¹, Mustafa KUTANİS², ve Kemal BEYEN³

ÖZET

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin deprem sonrası gözlenen yapı performansları ile karşılaştırılması amacıyla, Adapazarı'nda 1999 Kocaeli depremi ile hasar görmüş birçok betonarme yapı incelenmeye alınmıştır. Adapazarı'nda seçilen binalar 1999 depreminde hasarın yoğunlaştığı alüvyon zeminler üzerindedir. Adapazarı'nda incelenen yapılar üzerindeki sismik talebin gerçekçi şekilde belirlenebilmesi için, merkezi bir bölgede seçilen sahada 118 m derinliğinde bir araştırma kuyusu açılmıştır. Kuyudan numuneler alınarak, laboratuvar deneyleriyle zeminlerin endeks özellikleri belirlenmiştir. Bir boyutlu saha tepki analizleri için model geliştirilmesi amacı ile kuyuda süspansiyon PS hızı logu yöntemi ile 73 m derinliğine kadar S-dalgası hızı tecrübe edilmiştir. Deneysel yöntemler ve literatür araştırması ile elde edilen veriler derlenerek bir boyutlu saha tepki modeli geliştirilmiştir. Eşdeğer-doğrusal dinamik tepki analizleri ile alüvyon sahanın spektral büyütme oranları hesaplanmıştır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin denemesinde başlangıç olarak seçilen iki hasarsız yapı için değerlendirmeler yapılmıştır. Hesaplamalarda, Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi denenmiştir. Ön sonuçların sunulduğu bu çalışma farklı binaların ve hesap yöntemlerinin göz önüne alınmasıyla sürmektedir

Anahtar Kelimeler: Adapazarı, Dinamik saha tepkisi, PS hızı logu, performansa dayalı değerlendirme

ABSTRACT

A sample of buildings in Adapazarı that are affected by the 1999 Kocaeli Earthquake is considered for an assessment of performance based design and evaluation methods. The sample from Adapazarı is located on alluvium basin where the most severe damage was observed during the 1999 event. A 118 m deep borehole was opened on a central location in town for recovering soil samples and for S-wave velocity measurements. Hence, the S-wave velocity profile down to 73 m of depth was determined by applying the PS-suspension logging method. The data was used for development of a 1-dimensional site response model. Soil nonlinearity was approximately taken into account through employing equivalent linearization. The synthetic accelerograms that can be representative for ground motions on the alluvium sites were used for an assessment of two undamaged structures. Two of the methods allowed by Turkish Seismic Code were used for the performance assessment of those frame structures. The preliminary findings of an ongoing research are discussed.

Keywords: Adapazarı, Dynamic site response, PS-suspension logging, Performance based design

¹ Y.Doç.Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, mtyilmaz@metu.edu.tr

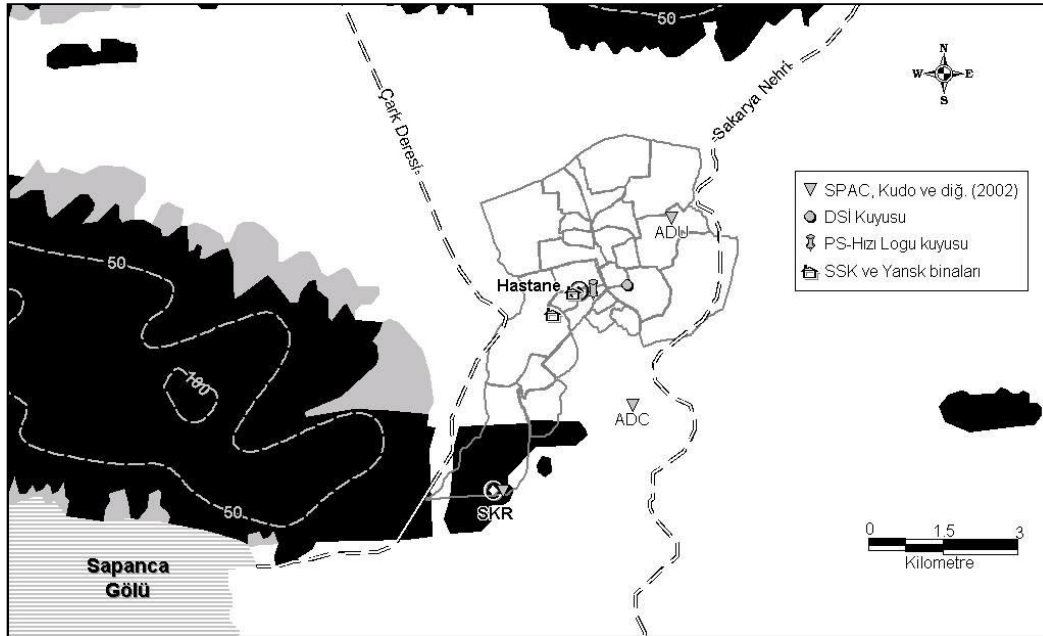
² Y.Doç.Dr., Sakarya Üniversitesi, Sakarya, kutanis@sakarya.edu.tr

³ Doç.Dr., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, beyen@boun.edu.tr

GİRİŞ

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yeni gelişen bir kavramdır. 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin 7. Bölümünde mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi amacıyla bu kavram kullanılmaya başlamıştır. Yönetmeliğe katkı yapılması amacıyla, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrasında çeşitli düzeylerde hasar gören yapıların performansa dayalı yöntemlerle incelenmesi için bir çalışma başlatılmıştır. Yapı donelerinin önemli bir kısmı Adapazarı'nda hasarın yoğunlaştığı derin alüvyon çökeller üzerinde yer almaktadır. 1999 depreminde kuvvetli yer hareketinin Adapazarında sert zeminler üzerinde kaydedilmesi sebebiyle, derin alüvyon zeminlerde imal edilen bu yapılar üzerindeki deprem talebinin gerçekçi tahmini gereklidir. Bu çalışma aynı zamanda yerel zemin şartlarının ve deprem kaynak mekanizmasının yapı performans düzeylerinin hesaplanmasında kullanılan talep spektrumunun elde edilmesinde ne derecede önemli olduğu konusunda tecrübe sağlayacaktır. Bu çalışma yapısal hasar ile sınırlandırılmış olup, aşırı temel oturmalarının gözlemlendiği binalar değerlendirmeye alınmamıştır. Böylece, çok gevşek sığ zeminlerin dinamik zemin-yapı etkileşimi ile yapı üzerine etkileyen deprem yüklerini önemli oranda değiştirmede koşullar dikkate alınmıştır.

Adapazarı'nda 1999 depremi sonrasında yapısal hasarın şehir merkezinde yoğunlaşması, burada yer alan alüvyon havzanın düşük frekanstaki S-dalgası genliklerini büyütmesi ile açıklanmaktadır. Ayrıca, yüzey dalgaları da düşük frekanslı salınım genliklerine önemli katkıda bulunmaktadır. 1999 Kocaeli depreminde ağır hasar gören Adapazarı şehir merkezi doğuda Sakarya nehri ve batıda Çark deresi arasında yer almaktadır (Şekil 1). Şehir merkezi genellikle düzdür. Adapazarı havzası üzerinde hasarın yoğunlaştığı sahaların salınım özelliklerinin belirlenmesinde sert formasyonların derinliği önemli bir rol oynamaktadır. Önceden bir göl yatağı olan alüvyon havzada anakaya kabul edilebilecek Üst Kretase filiş 300 m'yi aşan derinliklerde yer alabilmektedir. Ancak sert formasyonların derinliği havzanın güneyinden kuzeyine değişkenlik göstermektedir [Bakır vd., 2002, 2005; Beyen ve Erdik, 2004; Özel ve Sasatani, 2004]. Şehir merkezinde derin seviyelerdeki zeminlerin özelliklerin belirlenmesi derin kuyuların açılması ve sismik etüdlerin gerçekleştirilmesi ile mümkün olabilmektedir.



Şekil 1. Adapazarı ve çevresinin basitleştirilmiş jeolojisi: siyah alanlar kaya, beyaz alanlar alüvyon ve griler yamaç molozunu göstermektedir.

Bakır vd. (2002), Sakarya Üniversitesi tarafından 1998 yılında yazılan "Adapazarı Kent Merkezi Jeolojisi ve Morfolojisi" raporuna dayanarak, kaya derinliğinin şehir merkezinde 150 ila 200 m derinlikte olduğunu ifade etmiştir. Bu rakam Beyen ve Erdik (2004) tarafından kurulan 2 boyutlu Adapazarı havzası modelinde Hastane istasyonu altında gösterilen basen derinliği ile tutarlıdır. Diğer taraftan Beyen ve Erdik, uygulanmış sismik yayılım test sonuçlarını kullanarak

yaptıkları sismik kırılma model çalışmalarının gösterdiği değerlere dayanarak, sert formasyonların derinliğinin havza merkezine doğru yaklaşık 300 m seviyesine ulaştığını ifade etmektedir. Adapazarı şehir merkezinde derin zeminlerin özelliklerini sağlayan önemli bir çalışma DSİ (T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2001) tarafından Tığcılar Mahallesi'nde açılan 200 m derinliğindeki kuyudur. Bu kuyuda 75-87 m derinliklerinde kalın kumlu ve çakıllı tabakalar tecrübe edilmiştir. Daha derin seviyelerde killi zeminler neredeyse tekdüze olarak tecrübe edilmiştir. 75 m'den sığ seviyelerde ise kumlu, siltli ve killi katmanlar farklı derinliklerde göreceli karmaşık bir sıralanma ile yer almaktadır. 200 m'de yer alan kuyu sonunda kaya formasyonlara rastlanılmamıştır. Mikrotremor verileri ile uzaysal otokorelasyon yöntemini uygulayan Kudo vd. (2002), şehrin derin alüvyon havza üzerinde yer alan iki noktasında (Şekil 1'de ADC ve ADU) S-dalgası hızı (V_s) profilini belirlemiştir. Bu profiller göreceli sert formasyonların ($V_s > 730$ m/s), depremde ağır hasar oluşan sahada 135 m ve bu alanın birkaç kilometre kuzeydoğusunda ise 413 m derinliklerinde yer aldığını bildirmektedir. Anakaya sayılabilecek formasyonlar ($V_s > 1500$ m/s) ise sırasıyla 377 ve 576 m derinliğinde başladığı belirtilmektedir. Şehir merkezindeki zemin profili ve kaya derinliği sahanın birinci salınım periyodunun belirlenmesi için önemlidir. Bakır vd. (2002), alüvyon (Şekil 1'de Hastane) ve sert zemin (SKR) üzerinde kaydedilen yer hareketinin spektrumlarını karşılaştırarak, merkezde sahanın salınım periyodunu 1.5 s olarak önermektedir. Komazawa vd. (2002) tarafından mikrotremor kayıtlarının H/V oranına dayanarak alüvyon havzada 3 ila 4 s olarak rapor edilmiştir. Fâh vd. (2004) ise benzer şekilde, ADC sahasının bulunduğu yerlerde pik H/V oranının yaklaşık 0.5 s, daha kuzeydeki ADU sahasında ise 3 saniyeden büyük değerlerde görüldüğünü bildirmiştir. Fâh vd. tarafından ADC sahası için verilen değerler Kudo vd. (2002) tarafından sunulan V_s profili ile çelişkilidir. Diğer taraftan, şehrin daha kuzeyinde yer alan ADU sahası için Fâh vd. ile Komazawa vd. tarafından verilen değerler tutarlı gözükmemektedir.

Bu verilerin işaret ettiği belirsizlikler göz önüne alınarak ve bir boyutlu saha modelinin geliştirilebilmesi için çalışmaya söz konusu olan binalara yakın bir noktada kuyu açılarak, burada karşılaşılan zeminlerin özelliklerinin yeterli detayda belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında şehir merkezindeki Pabuçcular mahallesi'nde bir kuyu açılmış, kuyudan elde edilen numunelerle zeminler sınıflandırılmış ve PS hızı logu yöntemi ile zeminlerin S-dalgası hızı belirlenmiştir. Elde edilen veriler literatürden derlenen verilerle birleştirilerek basitleştirilmiş bir boyutlu saha tepki modeli geliştirilmiştir. Sert zeminler üzerinde kaydedilen ivme-zaman hikayeleri kullanılarak bir boyutlu dinamik saha tepkisi hesaplanmıştır. Böylece, yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile analizinde kullanılacak alüvyon saha üzerindeki kuvvetli yer hareketi sentetik olarak üretilmiştir. Sentetik yer hareketinin spektral genlikleri aynı zamanda arttırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi için de kullanılabilir. Adapazarı şehir merkezinde seçilen iki hasarsız yapı için ön analiz sonuçları burada karşılaştırılmıştır.

ARAŞTIRMA KUYUSU

Esas olarak kuyuda jeofizik ölçümler ile zeminlerin S-dalgası hızının ölçülmesi amacı ile, yapı temellerinin belirgin oturmalar yapmadığının gözlemlendiği Pabuçcular mahallesi'ndeki sahada bir araştırma kuyusu açılmıştır (Şekil 1). Çalışma sahasında yüklenici firmaya ait D-500 tipi sondaj makinası kullanılmıştır. Kuyuda karşılaşılan zeminlerin tipinin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi için kuyudan numuneler alınmıştır. S-dalgası hızı ise süspansiyon PS hızı logu yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntem, sinyal yaratıcısının ve alıcısının tek kuyuya indirilebilmesi sebebi ile S-dalgası hızlarının istenen derinliklerde ölçülmesini sağlamaktadır (Ishihara, 1996).

Numuneler ile zeminlerin tanımlanması

Açılan kuyuda, 1.50 m derinlik seviyesinden 25 m seviyesine kadar her 1 metrede 1 adet 75 mm çapında örselenmemiş numune (UD) ve 1 adet de örselenmiş numune (SPT) alımı denetlenmiştir. 25 m derinlik seviyesinden sonra numune aralıkları arttırılarak, her iki numune tipi için bu oran her 2 metrede 1 adet olmak üzere azaltılmıştır. 33.50 m seviyesinden itibaren ise sert katmanlara girilmiş

olup örselenmemiş numune alınamamıştır. Bunun yerine karot ve SPT ile örselenmiş numunelerin alınmasına devam edilerek, zemin tanımlaması için malzeme elde edilmesine çalışılmıştır. Ancak, 78 m derinlikte sert çakıllı katmana girilmiş olup, bu derinlik seviyesinden itibaren numune alınamamıştır. Çakıl katmanın sürekliliğini gözlemek amacıyla devam edilen sondaj, delginin çok zorlaşması ve karot numune alıcının sürekli sıkışması sebebiyle, 118 m derinlikte sona erdirilmiştir. Kuyu sonunda halen çakıllı zeminler tecrübe edilmektedir. Sondaj kuyusu ile toplam 18 örselenmemiş numune (UD); 7 karot ve 17 SPT ile örselenmiş numune temin edilmiştir. Elde edilen numuneler 55 m derinliğine kadar zemin tabakalarının sürekli olarak laboratuvar deneyleri ile tanımlanmasını sağlamıştır. Daha derin seviyelerde ise delgi sırasında yüzeye çekilen malzemenin dane büyüklükleri göz önüne alınarak buradaki zeminler tanımlanmıştır. Ancak, 72 ila 78 m arasında elde edilen örselenmiş numuneler ile bu seviyelerin de laboratuvar deneyleri ile tanımlanabilmiştir.

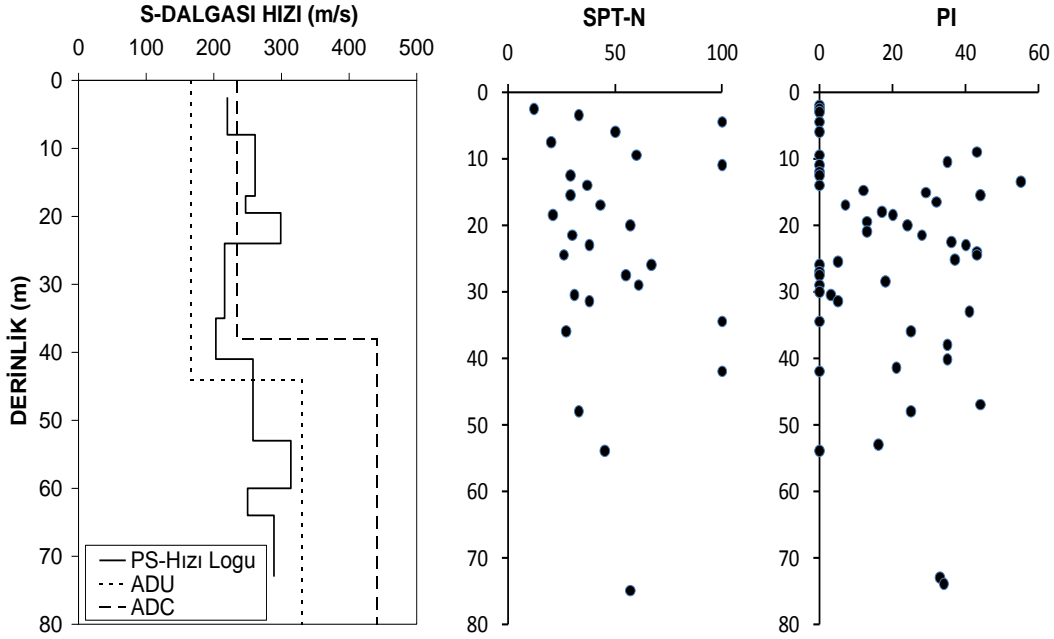
Zemin profili incelendiğinde, çoğunlukla siltli ve killi zeminlerin tecrübe edildiği, ancak yer yer kum bantların geçildiği gözlemlenmektedir. 78 m ila 118 m seviyeleri arasında sürekli olarak sıkı çakıllı katmanlar geçilmiştir. 40 m boyunca sıkı katmanların tecrübe edilmesi sonucunda kuyu sonlandırılmıştır. Bu kuyuda karşılaşılan zemin tipleri, Tığcılar Mahallesi'nde açılan DSİ kuyusunda karşılaşılan zemin tipleri ile genel olarak tutarlıdır. Ancak, DSİ kuyusunda 75.6-87 m arasında yer alan ve çakıllı kum olarak tanımlanan katmandan sonra kil katmana girildiği belirtilmiştir. Pabuçcular kuyusunda ise bu seviyelerde çok daha kalın sert çakıllı formasyon tesbit edilmiştir. Bu durum Bakır vd. (2002) tarafından sunulan çalışmada Adapazarı'nda farklı DSİ kuyularının zemin profillerindeki çakıl katmanının derinlik seviyelerinde gözlemlenen değişkenlik ile açıklanabilir. Diğer bir farklılık ise SPT vuruş sayılarının DSİ kuyu raporunda verilen değerlerden yüksek olduğudur. Bu farklılık kuyu açımı ve SPT uygulamasındaki tutarsızlıktan kaynaklanabileceği gibi, özellikle 1999 depreminde zemin oturmalarının gözlemlenmediği için seçilen kuyu sahasında zeminlerin daha sert olması ile de açıklanabilir. Tecrübe edilen SPT vuruş sayıları ve numunelerin plastisite indeksleri (PI) Şekil 2'de sunulmaktadır.

Süspansiyon PS Hızı Logu

Araştırma kuyusunun 118 m derinlikte sonlanmasından sonra, kuyu süspansiyon PS hızı logu için hazırlanmıştır. 80 m derinliğe PVC muhafaza sürülebilmiş, bundan sonraki seviyelere çakıllı malzemenin kuyu çapını daraltması sebebiyle PVC muhafaza sürülebilmiştir. Kuyu mühürlendikten sonra PVC ile kuyu çeperi arasındaki enjeksiyon malzemesi için gerekli 2 haftalık süre beklenmiştir. 76 m seviyeye kadar indirilebilen deney probu ile 73 m'den itibaren 3 m derinlik seviyesine kadar zeminlerde P ve S dalgası hızları belirlenmiştir. Ölçümler 3-50 m derinliklerinde 0.5 m aralıkla, 50-73 m derinlik seviyelerinde ise 1 m aralıkla gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 S-dalgası hızları arasındaki belirgin farklılıklar göz önüne alınarak genelleştirilmiş hız profilini vermektedir. Ölçülen S-dalgası hızları genel olarak 203-314 m/s aralığında değişkenlik göstermiştir. Değerler genel olarak Kudo vd.(2002) tarafından sunulan ADC ve ADU sahaslarının (oldukça düşük çözünürlükte sunulabilmiş) S-dalgası hızı profiline uygunluk göstermektedir. Bu sahada ölçülen P-dalgası hızları ise 1596-2282 m/s aralığındadır. P-dalgası hızları ile S-dalgası hızları arasındaki oran ise 0.49-0.50 aralığında Poisson oranları vermektedir. 0.50'e yakın değerler, doymuş zeminlere işaret etmektedir.

Zemin sınıfının belirlenmesi

SPT ve S-dalgası hızları arasında belirgin bir ilişki gözlemlenememiştir. Ancak, gerek SPT değerleri, gerek S dalgası değerleri sahanın NEHRP'e göre D sınıfına ait olduğunu göstermektedir ($N_{30m}=32$, $V_{s30m}=240$ m/s). 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği dikkate alındığında ise SPT-N ve V_s değerleri bu zeminleri sırasıyla Z2 ve Z4 olarak sınıflandırmaktadır. Buradaki çelişki sebebiyle ve sahada yumuşak sığ zeminlerin tecrübe edilmemesi sonucunda zemin tipi Z3 olarak göz önüne alınmıştır.



Şekil 2. Adapazarı Pabuccular mahallesinde açılan araştırma kuyusunda Vs (Kudo vd., 2002, tarafında sunulan değerler ile karşılaştırılmıştır), SPT-N ve PI değerlerinin değişimi

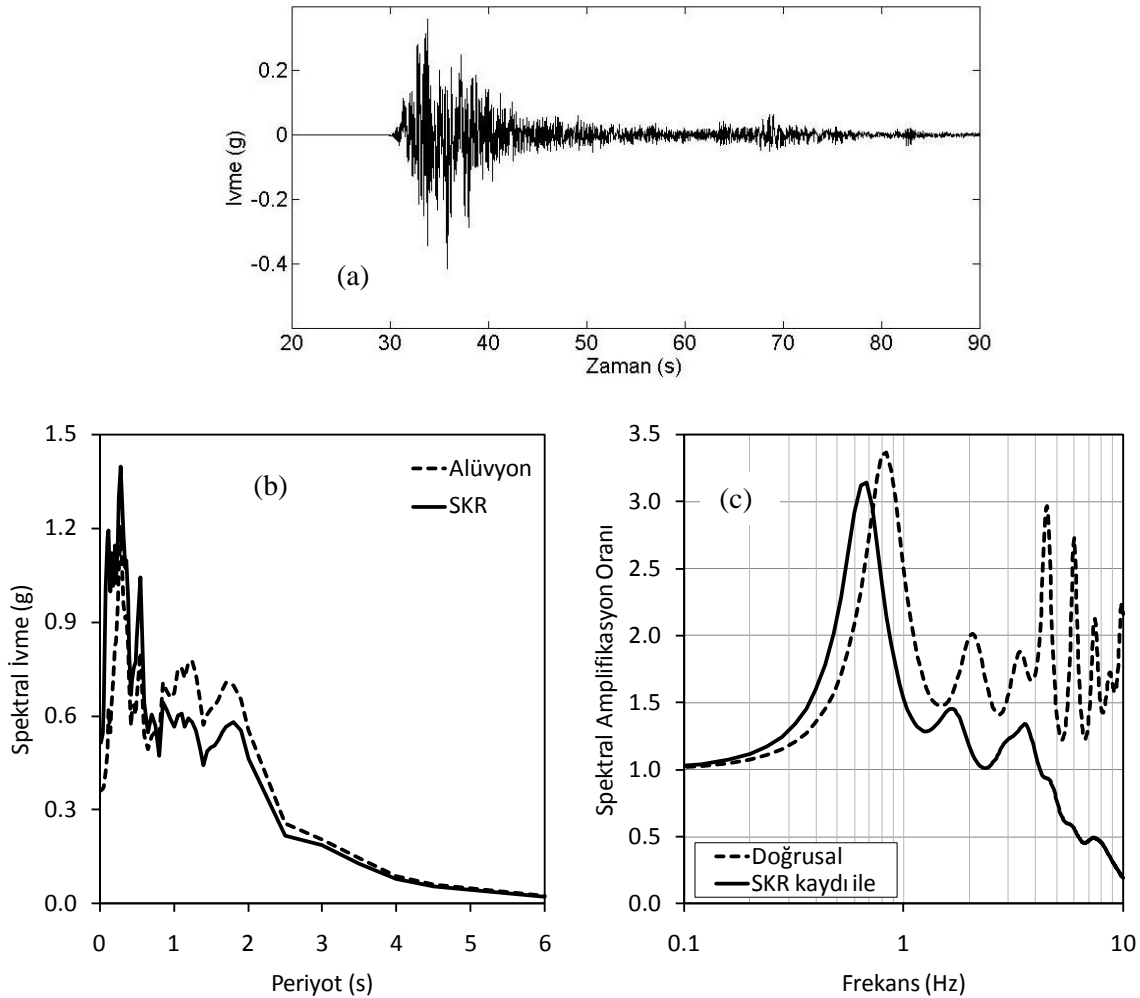
SAHA TEPKİ ANALİZLERİ

Saha tepki modeli

Süspansiyon PS hızı yöntemi ile elde edilen S-dalgası hızı profili, laboratuvarında belirlenen zemin sınıfları ve literatürden derlenen bilgiler ışığında çalışma sahasının bir boyutlu tepki modeli geliştirilmiştir. Zeminlerin doğrusal elastik olmayan davranışı eşdeğer-doğrusal yöntem ile yaklaşık olarak modellenmiştir (Schnabel et al., 1972). Bu doğrultuda, Ishibashi ve Zang (1993) tarafından verilen ve zeminlerin plastisite indeksi (PI), efektif gerilme, makaslama birim uzama, sekant makaslama rijitliğindeki azalma ve sönümlenme oranı arasındaki ampirik ilişki kullanılmıştır. Zemin katmanlarında PI değerlerinde gözlemlenen değişkenlik sebebiyle, her zemin katmanı için ortalama PI değeri en yakın olduğu 0, 15, 20, 25, 30, ve 40 değerlerine yuvarlanmıştır. PS hızı logunun tamamlandığı 73 m derinliğin ötesindeki S-dalgası hızı Kudo vd. (2002) tarafından önerilen ADC sahası S-dalgası hızı esas alınarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda 73.5 m ile 111 m derinlik arasında yer alan çakıllı zeminlerde S-dalgası hızının 441 m/s olduğu, daha derin seviyelerde ise bu hızın 728 m/s olduğu doğrusal yarı-sonsuz yer aldığı düşünülmüştür.

Şekil 3.a, 1999 Kocaeli depreminde SKR istasyonunda (Şekil 1) kaydedilen DB yönündeki yer hareketini bileşeninin 20 ila 90 saniye arasındaki ivme-zaman hikayesini göstermektedir. Pik ivme değeri 0.41 g olan bu düzeltilmiş kayıt kullanılarak hesaplanan %5 sönümlenme için elastik tepki spektrumu ile bu çalışmada geliştirilen saha modeli kullanılarak hesaplanan yer hareketine ait elastik tepki spektrum Şekil 3.b'de karşılaştırılmaktadır. Hesapta SKR kaydı serbest kaya üzerindeki yer hareketi olarak tanımlanmıştır. Hesaplar 1 ila 2 s periyot aralığında spektral değerlerin alüvyon saha tarafından belirgin oranda artırıldığına işaret etmektedir. Şekil 3.c SKR kaydı ile hesaplanan sahanın transfer fonksiyonunu vermektedir. Transfer fonksiyonu frekans tanım uzayında hesaplanan yer hareketi ile sert zeminde kabul edilen yer hareketinin kompleks sayı yapısı içinde oranını vermektedir (Schnabel et al., 1972). SKR yer ivme genliklerinin yüksek olması sebebiyle bu transfer fonksiyonları zeminin doğrusal olmayan davranışını da yansıtmaktadır. Zemin modelinin doğrusal davranışını gözlemlenmek için SKR kaydının genlikleri 1/100 oranında küçültülerek doğrusal transfer fonksiyonları yaklaşık olarak hesaplanmış ve Şekil 3.c'de gösterilmiştir. Doğrusal olmayan davranış, yüksek doğal frekanslarda alüvyon sahanın büyütme etkisini ciddi olarak törpülemekte, hatta genliklerde azalmaya sebep olmaktadır. Eşdeğer-

doğrusal yöntem ile yaklaşık olarak modellenen doğrusal olmayan davranış modelin birinci doğal frekansında önemli değişikliğe sebep olmamaktadır. Sert zeminlerin derinliği bu frekans için daha önemlidir. Doğrusal transfer fonksiyonu ile hesaplanan birinci doğal frekansın, Bakır vd. (2002) tarafından sert zeminlerde (SKR) ve alüvyon sahada (Hastane) kaydedilen artçı deprem kayıtları kullanılarak hesaplanan değerler ile tutarlı olduğu gözlenmiştir. Ancak bu model ile hesaplanan spektral büyütme oranlarının Bakır vd. tarafından verilen oranlardan çok daha düşüktür. Bu fark elastik yarı-sonsuz ortamda S-dalgası hızının 728 m/s'daha yüksek olması veya sert sahada yer hareketinin dikey yayılan S-dalgalarından kaynaklandığı kabulünün yetersizliği ile açıklanabilir. Birinci durum elastik yarı-sonsuz ortamda S-dalgası hızının 1500 m/s seviyesine çıkarılması ile denenmiş, ancak Bakır vd. tarafından sunulan spektral büyütme oranlarına yaklaşılamamıştır. Bu sonuç sert zemindeki yer hareketlerinin dikey yayılan S-dalgası ile gösterilemeyebileceğine işaret etmektedir.



Şekil 3. (a) 1999 Kocaeli Depreminde SKR istasyonu ivme-hikayesi düzeltilmiş kaydı (<http://daphne.deprem.gov.tr> tarafından sağlanan 5401 nolu istasyon üzerindeki kayıttır). (b) SKR kaydı ve bir boyutlu saha tepki modeli ile üretilen alüvyon sahadaki ivme-hikayesinin %5 sönümlenme için tepki spektrumlarının karşılaştırması. (c) SKR kaydı kullanılarak hesaplanan alüvyon/kaya spektral büyütme oranları.

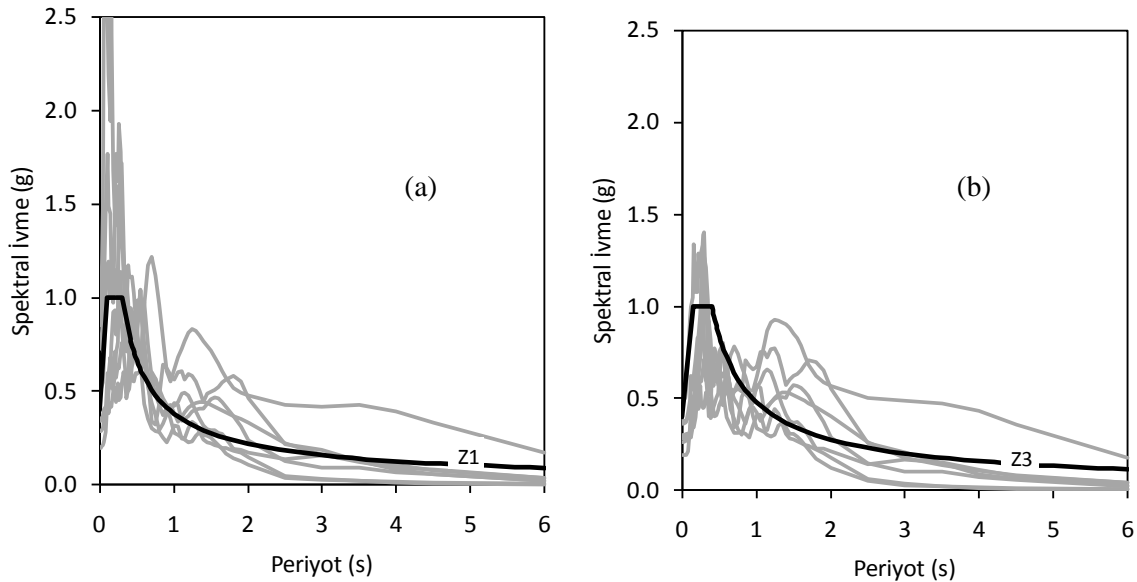
Mikrotremor verilerinden ve Beyen ve Erdik (2004) tarafından sunulan verilerden yararlanılarak modelin son kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi yönünde çalışmalar devam etmektedir. Diğer taraftan, burada sunulan haliyle bir boyutlu saha tepki modelinin 1999 Kocaeli depreminde alüvyon sahada yoğun hasar gözlenmiş alanlardaki sismik talebi nisbeten yeterli olarak yansıtabildiği sonucuna varılmıştır.

Kuvvetli yer hareketi seçimi ve elastik tepki spektrumlarının karşılaştırması

1999 Kocaeli depreminde sert saha (NEHRP C veya Z1 saha sınıfında -Sandıkkaya, 2008) üzerinde yer alan SKR istasyonunda fay doğrultusuna dik KG yönündeki kayıt alınmamıştır. Ayrıca, şehir merkezine olan uzaklığı ile Kuzey Anadolu Fay hattına olan uzaklık karşılaştırıldığında, analizlerde göz önüne alınacak sert zemin hareketinde önemli belirsizlik olduğunu görülmektedir. Bu sebeple, PEER (<http://peer.berkeley.edu/smcat/>) kuvvetli yer hareketleri veri tabanından Kocaeli depremi ile benzer aletsel büyüklüğe ($M=7.2-7.6$) ve fay tipine (doğrultu atım) sahip, istasyonun faya uzaklığının Adapazarı şehir merkezinin Kuzey Anadolu Fay hattına uzaklığı ile benzerlik gösteren (0-20 km), ve NEHRP C-sınıfı zeminlerde elde edilmiş deprem kayıtları seçilmiştir (Tablo 1). Bu deprem kayıtları doğrusal yarı-sonsuzun serbest sahası üzerindeki yer hareketi olduğu düşünülerek PROSHAKE yazılımı ile gerçekleştirilen hesaplar sonucunda, alüvyon saha için elde edilen tepki spektrumları Şekil 4’de deprem yönetmeliğinde 1. deprem bölgesi ve Z3 saha sınıfı için verilen tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Sentetik kayıtlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise, sert zeminde kabul edilen yer hareketinin özelliklerine bağlı olarak her periyot için hesaplanan spektral ivme değerinde önemli değişkenlik gözlenmektedir.

Tablo 1. Saha tepkisi analizlerinde kullanılan deprem kayıtları (PEER veritabanı kullanılmıştır).

No.	Kayıt	Deprem	Tarih	Saat	İstasyon İsmi
1	SKR-EW	1999 Kocaeli	17/08/1999	00:01:39.07	5401
2	GBZ-EW	1999 Kocaeli	17/08/1999	00:01:39.07	4106
3	GBZ-NS	1999 Kocaeli	17/08/1999	00:01:39.07	4106
4	IZT-EW	1999 Kocaeli	17/08/1999	00:01:39.07	4101
5	IZT-NS	1999 Kocaeli	17/08/1999	00:01:39.07	4101
6	LCN000	1992 Landers	6/28/92	11:58	Lucerne, 275
7	LCN275	1992 Landers	6/28/92	11:58	Lucerne, 000

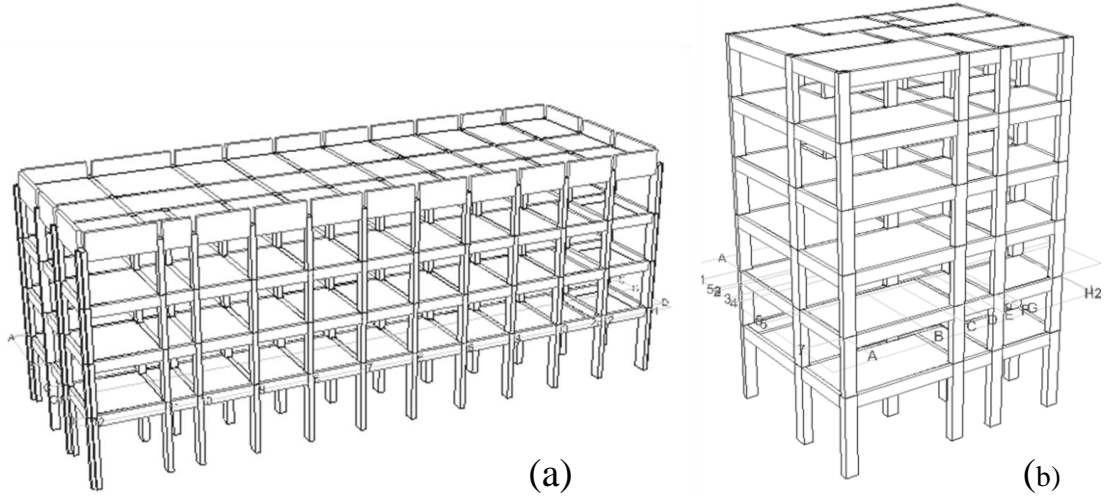


Şekil 4. (a) Tablo 1’de verilen farklı deprem kayıtları ile hesaplanmış (%5 sönümlenme oranı için) elastik tepki spektrumları ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği’nde Adapazarı’nda Z1 tipi saha için verilen tasarım spektrumu (siyah çizgi), ve (b) bir boyutlu saha tepki analizi ile hesaplanmış sentetik yer hareketi hikayelerinin spektrumlarının Z3 için verilen spektrum ile karşılaştırması (siyah çizgi)

ÖRNEK BİNALARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Açılan derin sondaj kuyusuna 300 m mesafede bulunan ve “Yansk” olarak isimlendirilen bina ve 800 m mesafede bulunan “SSK” isimli bina 1999 Kocaeli depremi sırasında gösterdikleri

performansları göz önüne alınarak incelenmiştir. Binaların yerleri Şekil 1’de gösterilmektedir. Her iki bina da depremde belirgin bir hasar göstermemiştir. Bu binalar 2007 deprem yönetmeliğinin kısım 7.6 ile tanımlanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi denenmiştir. Şekil 5’te yapısal çerçeveleri gösterilen binaların farklı sentetik kayıtlarla itme analizinin sonuçları Şekil 6’da vermektedir. Farklı sentetik ivme hikayeleri ile elde edilen deplasman talepleri, Z3 spektrumu ile elde edilen değerlere genel olarak yakındır. Diğer taraftan, NEHRP-C tipi zeminler üzerinde elde edilen kayıtlar ile karşılaştırıldığında, alüvyon basen üzerindeki SSK binası için deplasman talebindeki artışın %278 mertebesine, ve Yansk binası için ise artışın %79 mertebesinde olabileceği görülmüştür. Her iki yapı için hesaplanan deplasman talepleri Deprem Yönetmeliği tarafından verilen can güvenliği performans düzeyini sağlamamaktadır. Sert zemin üzerinde kabul edilen yer hareketi kullanıldığında da aynı performans düzeyleri gözlemlenmiştir. Diğer taraftan zaman tanım alanında gerçekleştirilen hesaplar binaların gözlemlenen hasarsızlığı ile tutarlı sonuçlar vermektedir. Bu iki farklı sonuç, performans değerlendirmesinde farklı hesap yöntemlerinin getirdiği değişken sonuçların deprem kayıtlarının seçilmesinden veya sentetik olarak üretilmesinden daha önemli olabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, yapılar için daha büyük örneklem büyüklüğü kullanılarak ve artan deneysel verilerle geliştirilen daha detaylı modeller göz önüne alınarak, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin denenmesi üzerinde ilerlemektedir.

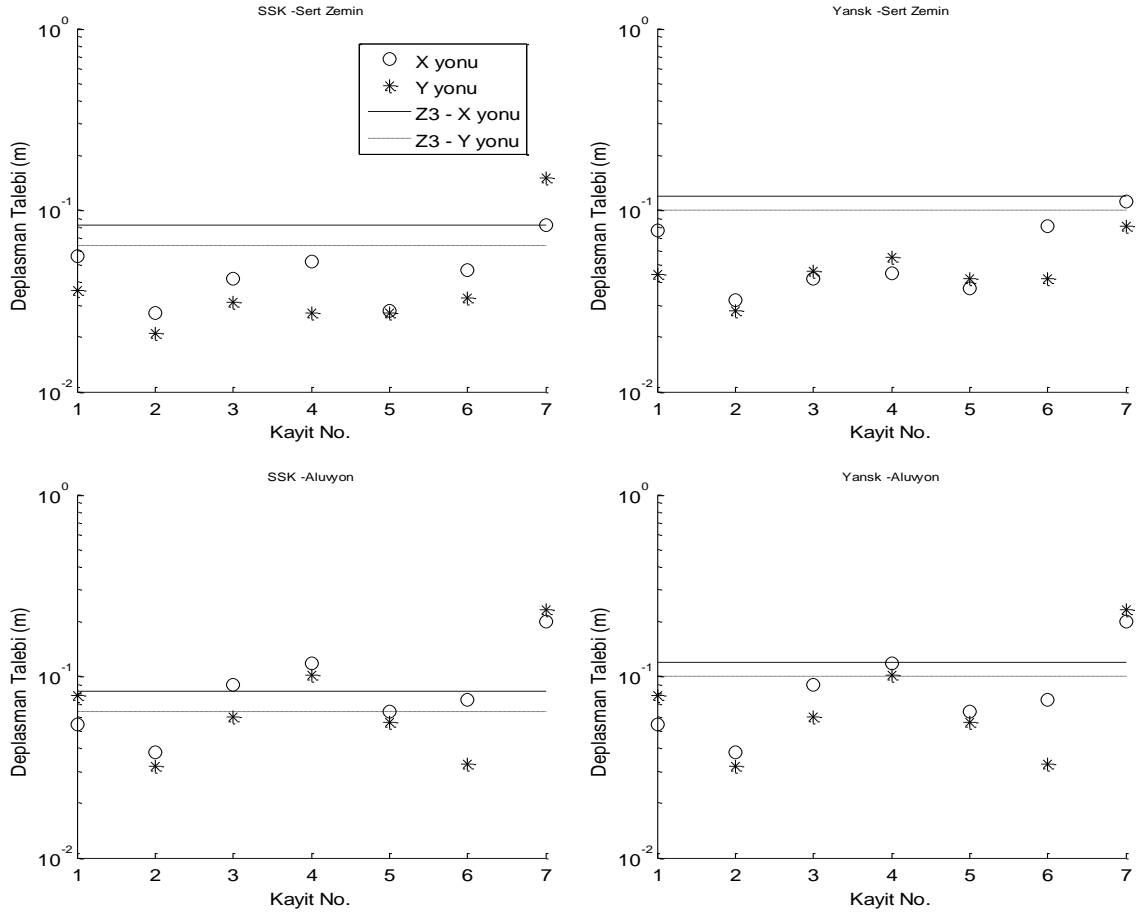


Şekil 5. Adapazarı şehir merkezinde 1999 Kocaeli depreminde gözlemlenen ve hesaplanan performansları karşılaştırılan (a) SSK ve (b) Yansk binalarının yapısal çerçeveleri.

SONUÇ

Adapazarı şehir merkezinde aşırı temel deplasmanlarının görülmediği bir sahada açılan bir tecrübe kuyusunda 118 m derinliğe kadar zemin tanımları yapılmış, ve 73 m derinliğe kadar PS hızı logu yöntemi ile S-dalgası hızı profili belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler ile literatürden sağlanan veriler birleştirilmiş, böylelikle alüvyon zeminler üzerinde yer alan ve ağır yapısal hasarın gözlemlendiği şehir merkezi için bir boyutlu saha tepki modelinin geliştirilmesi mümkün olmuştur. Saha tepki analizleri sonucunda üretilen yapay ivme geçmişinin gösterdiği deprem talebi, 1. deprem bölgesi ve Z3 yerel zemin sınıfı için deprem yönetmeliğinde verilen spektrum ile tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum saha tepki modelinin alüvyon saha üzerinde yapay kayıtlar elde edilerek performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri için kullanılabilmesine işaret etmektedir. Ancak, sert zeminlerde kabul edilen yer hareketinin frekans-genlik muhtevasına bağlı olarak, hesaplanan deplasman taleplerinde farklılıklar gözlenmektedir. Diğer taraftan, bir boyutlu saha tepki analizleri ile hesaplanan saha büyütme değerlerinin, sahanın birinci doğal salınım frekansında tutarlılık sağlanmasına rağmen, literatürde artçı depremler kullanılarak hesaplanan

büyütme değerlerinden düşük olduğu gözlenmiştir. Seçilen iki hasarsız bina için arttırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi kullanılarak 1999 Kocaeli Depreminin bu yapılar üzerinde yarattığı deprem talebi hesaplanmıştır. Bu analizler oldukça farklı yapı performansı tahminlerine yol açmıştır. Saha tepki analizlerindeki kısıtlamardan ve belirsizlikten öte, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin farklı sonuçlar vermesi, yer hareketinden daha önemli belirsizliklere işaret etmektedir. Bu sebeple, hesap yöntemleri ile yapısal ve zemin modelleri üzerindeki çalışmalar yeni deneysel verilerle desteklenerek devam etmektedir.



Şekil 6. Arttırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan SSK ve Yansk binaları üzerindeki deprem talebi. Üstteki şekillerde Tablo 1 ile verilen ivme hikayeleri ve alttaki şekillerde sentetik alüvyon ivme hikayeleri kullanılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 108M303 No'lu *Performansa dayalı Tasarım ve Değerlendirme Yöntemlerinin Deprem Sonrası Türkiye'de Gözlenen Yapı Performansları ile Karşılaştırılarak Geliştirilmesi* projesi kapsamında desteklenmiştir. Zemin indeks değerleri Karayolları Genel Müdürlüğü Zemin Mekaniği Laboratuvarında belirlenmiştir. Yazarlar bu kurumlara destekleri için teşekkürlerini sunarlar. Çalışmada jeofizik ve geoteknik verilerin toplanmasında bursiyer Hassan Kaveh Zehtab'ın önemli katkıları olmuştur. Zemin koşullarına ilgili bu bilgilerin detayı aynı zamanda Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde Haziran 2010 tarihli yüksek lisans tezinde de yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- Bakır BS, Sucuoğlu H, Yılmaz T (2002). "An overview of local site effects and the associated building damage in Adapazarı during the 17 August 1999 İzmit earthquake," *Bulletin of Seismological Society of America*, 92: 509-526.
- Bakır BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gülkan P (2005). "Re-examination of damage distribution in Adapazarı," *Engineering Structures*, 27: 1002-1013.
- Beyen K, Erdik M (2004). "Two-dimensional nonlinear site response analysis of Adapazarı plain and predictions inferred from aftershocks of the Kocaeli earthquake of 17 August 1999," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24: 261-279.
- Fäh D, Christen A, Greifenhagen C (2004). "Tek istasyon yöntemi ile Adapazarı ve Gölcük şehirlerinde yapılan çevresel titreşim (mikrotremor) ölçümleri ve değerlendirmesi," *Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme – Örnek Uygulamalar*, World Institute for Disaster Risk Management.
- Ishibashi I, Zhang X. (1993). "Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay," *Soils and Foundations*, Vol. 33, No. 1, pp. 182-191.
- Ishihara K, (1996). *Soil Behavior in Earthquake Geotechnics*, Claredon Press, Oxford
- Komazawa M, Morikava H, Nakamura K, Akamatsı J, Nishimura, Sawada S, Erken E, Onalp 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.
- Kudo K, Kanno T, Okada H, Özel O, Erdik M, Sasatani T, Sadanori H, Takahashi M, Yoshida K (2002). "Site-specific issues for strong ground motion during the Kocaeli, Turkey, earthquake of 17 August 1999, as inferred from array observations of microtremors and aftershocks," *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92: 448-465.
- Özel O, Sasatani T (2004). "A site effect study of the Adapazarı basin, Turkey, from strong- and weak-motion data," *Journal of Seismology*, 8: 559-572.
- Sandıkkaya MA (2008) Türk Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Zemin Sınıflandırması, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (İngilizce).
- Schnabel PB, Lysmer J, Seed HB (1972). SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- T.C. Devlet Su İşleri Müdürlüğü (2001). Adapazarı Teverler Binası Sondaj Logu, hazırlayan: Bol E.