# SİSMİK VE GEOTEKNİK VERİLERİN BİRLİKTE KULLANIMI İLE GELİŞTİRİLEN ADAPAZARI MERKEZİ İÇİN 1 BOYUTLU SAHA TEPKİ MODELİ

**M.T. Yılmaz[1], K. Deghanian[2] ve K.H. Zehtab[2]**

[1] *Y.Doç., Mühendislik Bilimleri Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Doktora Adayı, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
*e-mail: mtyilmaz@metu.edu.tr*

**ÖZET:**

Adapazarı şehir merkezinde gerçekçi 1 boyutlu tepki analizlerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla saha çalışmaları ve literatürden elde edilen veriler derlenmiştir. 1999 Kocaeli depreminde yoğun yapısal hasarın gözlemlendiği ancak aşırı temel oturmalarının tecrübe edilmediği merkezi bir sahada 118 m derinliğinde bir araştırma kuyusu açılmıştır. Kuyudan numuneler alınarak zeminlerin endeks özellikleri laboratuvarda belirlenmiştir. Kuyuda süspansiyon PS hızı logu yöntemi ile 73 m derinliğine kadar S-dalgası hızı tecrübe edilmiştir. Tecrübe edilen merkezi sahanın NEHRP sınıflandırma sistemine göre D sınıfı olduğu gözlenmiştir. 2007 Türkiye Deprem Yönemeliği dikkate alındığında ise, standard penetrasyon deneyi ve S dalgası hızlarının sırasıyla Z2 ve Z4 tipi zemine işaret ettiği görülmüştür. Bu veriler ile literatürdeki bulgular derlenerek faklı sınır koşullarına sahip iki saha tepki modeli geliştirilmiştir. 1 boyutlu saha tepki analizlerinde 1999 Kocaeli depreminin özellikleri ile uygun ivme kayıtları kullanılarak, depremde alüvyon saha üzerindeki yer hareketinin özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Hesaplanan tepki spektrumları deprem yönetmeliğinin Z4 zemin sınıfı için verdiği tasarım spektrumu ile karşılaştırılmıştır. Böylece 1 boyutlu saha tepki analizlerinin derin alüvyonlar üzerinde yer alan yapıların tasarım ve performans değerlendirmesi için sağlayabileceği veriler irdelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER :** Saha tepki analizi, saha etüdü, Süspansiyon PS hızı logu

## 1. 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. Adapazarı'nda 1999 depremi sonrasında yapısal hasarın şehir merkezinde yoğunlaşması, burada yer alan alüvyon havzanın düşük frekanstaki S-dalgası genliklerini büyütmesi ile açıklanmaktadır [Bakır vd., 2002, 2005; Beyen ve Erdik, 2004]. 1999 depreminde kuvvetli yer hareketinin Adapazarında sert zeminler üzerinde kaydedilmesi sebebiyle, derin alüvyon zeminlerde imal edilen bu yapılar üzerindeki deprem talebinin tahmini gereklidir. Bu doğrultudaki bir 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 çalışmanın kapsamı yapısal hasar ile sınırlandırılmış olup, aşırı temel oturmalarının gözlemlendiği binalar değerlendirmeye alınmamıştır. Bu özellikteki sahalar için saha tepki modelinin geliştirilebilmesi amacıyla, şehir merkezindeki Pabuççular mahallesinde 118 m derinliğinde bir kuyu açılmış (Şekil 1), kuyudan elde edilen numunelerle zeminler sınıflandırılmış ve süspansiyon PS hızı logu yöntemi ile zeminlerin S-dalgası hızı belirlenmiştir. Kuyudan elde edilen geoteknik ve jeofizik veriler ile literatürden derlenen bilgiler göz önüne

alınarak 1 boyutlu saha tepki modelleri geliştirilmiştir. Saha tepki analizlerinde 1999 Kocaeli depreminin özellikleri ile tutarlı kayıtlar kullanılarak, depremde alüvyon sahada gerçekleşen kuvvetli yer hareketinin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Adapazarı'nda şehir merkezi genellikle düzdür (Şekil 1). Sert formasyonların derinliği havzanın güneyinden kuzeyine değişkenlik göstermektedir [Bakır vd., 2002, 2005; Beyen ve Erdik, 2004; Özel ve Sasatani, 2004]. 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, 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 Mahallesinde açılan 200 m derinliğindeki kuyudur (Şekil 1). 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 (Vs) profilini belirlemiştir. Bu profiller göreli sert formasyonların (Vs > 730 m/s), depremde ağır hasar oluşan ADC sahasında 135 m ve bu alanın birkaç kilometre kuzeyindeki ADU sahasında ise 413 m derinliklerinde yer aldığını bildirmektedir. Anakaya sayılabilecek formasyonlar (Vs > 1500 m/s) ise sırasıyla yaklaşık 377 ve 576 m derinliğinde başladığı belirtilmektedir. Sert formasyonların derinliği ile de ilişkilendirilebilecek bir parametre de sahanın salınım periyotudur. 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. Fäh 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.

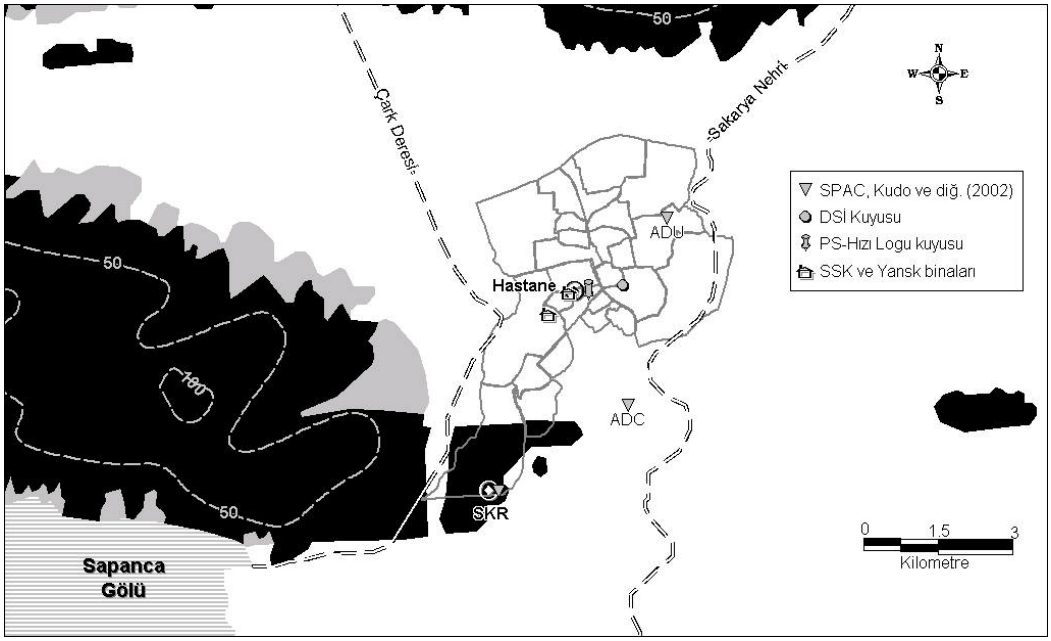
## 2. ARAŞTIRMA KUYUSU

Esas olarak kuyuda jeofizik ölçümler ile zeminlerin S-dalgası hızının ölçülmesi amacı ile, yapı temellerinin belirgin oturmalar yapmadığının gözlemlendiği Pabuccular mahallesindeki sahada yüklenici firmaya ait D-500 tipi sondaj makinası kullanılarak bir kuyu açılmıştır. Kuyuda karşılaşılan zeminlerin sınıflarının laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi için kuyudan numuneler alınmıştır. Zeminlerde S-dalgası hızı ise, sinyal kaynağının ve alıcısının tek kuyuya indirilerek S dalgası hızlarının istenen derinliklerde ölçülmesini sağlaması sebebiyle (Ishihara, 1996), süspansiyon PS hız logu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel veriler Şekil 2'de özetlenmektedir.

### *2.1 Numuneler ile zeminlerin tanımlanması*

Kuyuda çok sığ seviyelerden başlayarak, farklı devinlik seviyelerinde örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Ancak, 78 m derinlikte sert çakıllı katmana girilmiş olması sebebiyle, bu derinlik seviyesinden itibaren numune alınamamıştır. Çakıl katmanın sürekliliğini gözlemlemek 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. 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. Tecrübe edilen SPT vuruş sayıları ve numunelerin plastisite indeksleri (PI) Şekil 2'de sunulmaktadır. Bu kuyuda karşılaşılan zemin tipleri, Tığcılar Mahallesinde 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

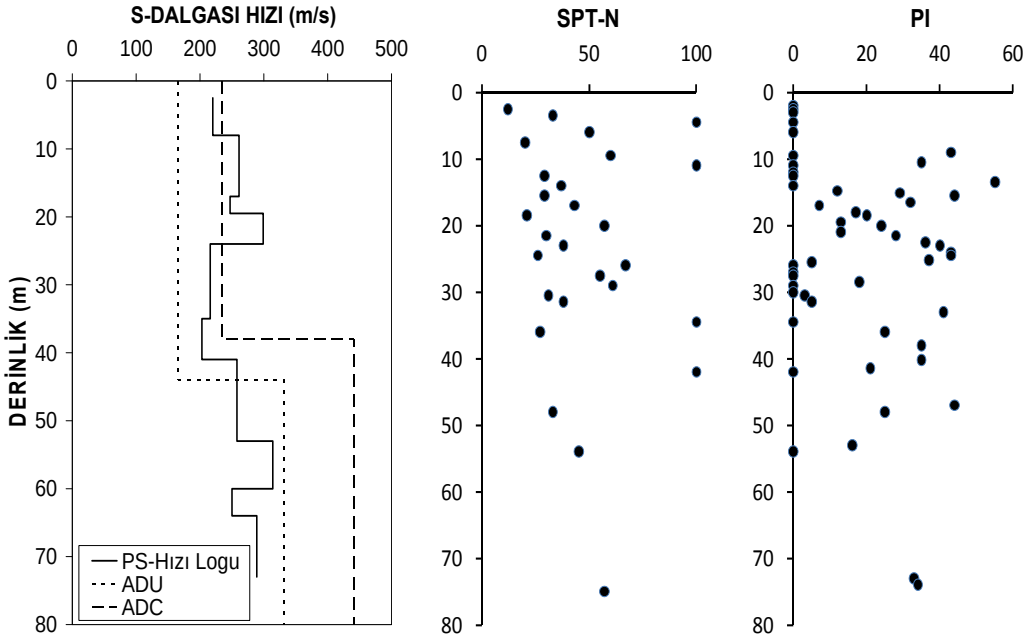
çalışmada Adapazarı'nda farklı DSİ kuyularının zemin profillerindeki çakıl katmanın derinlik seviyelerinde gözlemlenen değişkenlik ile açıklanabilir. Diğer bir farklılık ise SPT vuruş sayılarının DSİ kuyu raporunda verilen değerlerden yüksek olduğudur. Bu farklılık kuyu açımı ve SPT uygulamasındaki tutarsızlıktan kaynaklanabileceği gibi, özellikle 1999 depreminde zemin oturmalarının gözlemlenmediği için seçilen kuyu sahasında zeminlerin daha sert olması ile de açıklanabilir.




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

### *2.2 Süspansiyon PS hızı logu ile dalga hızlarının belirlenmesi*

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 sürülememiştir. 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 gerçekleşmiştir. 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 sahalarının (oldukça düşük çözünürlükte) S dalgası hızı profillerine uygunluk göstermektedir. Bu sahada ölçülen P-dalgası hızları ile S-dalgası hızları arasındaki oran ise 0.49-0.50 aralığında Poisson oranları vermektedir. 0.50'e yakın değerler, doygun zeminlere işaret etmektedir.




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

### *2.3 Zemin sınıfının belirlenmesi*

SPT ve S-dalgası hızları (Vs) arasında belirgin bir ilişki gözlemlenememiştir. Ancak, gerek SPT değerleri, gerek S dalgası değerleri sahanın NEHRP (BSSC, 2009) sistemine göre D sınıfına ait olduğunu göstermektedir ($N_{30m}$=32, $V_{s30m}$=240 m/s). 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği dikkate alındığında ise SPT vuruşları ve Vs değerleri bu zeminleri sırasıyla Z2 ve Z4 olarak sınıflandırmaktadır. Saha tepki analizlerinin sonuçlarının irdelenmesi için, muhafazakar bir seçim yapılarak ve Vs değerleri esas alınarak zemin tipi Z4 olarak belirlenmiştir.

## 3. SAHA TEPKİ ANALİZLERİ

### 3.1 Saha tepki modeli

Süspansiyon PS hızı yöntemi ile elde edilen S dalgası hızı profili, laboratuvarda 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 Zhang (1993) tarafından verilen ve zeminlerin plastisite indeksi (PI), efektif zemin gerilmesi, makaslamada birim uzama, sekant makaslama rijitliğindeki azalma ve sönümleme 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. Süspansiyon PS hızı logunun tamamlandığı 73 m derinliğin ötesinde ise Kudo vd. (2002) tarafından önerilen S dalgası hızı profilleri kullanılarak belirlenmiştir. Ancak, modelin alt sınırındaki koşulların belirsizliği sebebiyle iki farklı durum göz önüne alınmıştır. Nitekim Kudo vd.'nin çalışmasında ADC ve ADU sahalarında kabaca 135 m derinliğin altında sırasıyla 242 m ve 281 m kalınlığında ve ortalama S dalgası hızları sırasıyla 728 m/s ve 500 m/s olan katmanlar bildirilmiştir. Birinci modelde, geoteknik etüdün 118 m derinlikte sert çakıllı zeminlerde sonlanması sebebiyle çakıl zeminler yer hareketinin tanımlandığı elastik yarı uzay kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, ilk olarak 78 m derinlikte tecrübe edilen sıkı çakıllı zemin, ortalama S dalgası hızı 500 m/s olan

elastik yarı uzay kabul edilmiş, NEHRP-C (360 m/s < Vs30 < 760 m/s) sınıfı sahalarda elde edilmiş deprem kayıtları yarı uzayın serbest sahadaki yer hareketi olarak tanımlanmıştır. Tığcılar mahallesinde gerçekleştirilmiş olan DSİ sondajında (Şekil 1) 200 m derinlikte kaya formasyonların tecrübe edilememiş olması, ve daha kuzeydeki ADC sahasında S-dalgası hızının 1500 m/s olduğu formasyonların yaklaşık 377 m derinlikde başladığının bildirilmiş olması bu basitleştirmeyi makul göstermektedir. Diğer taraftan, DSI sondajının kaya formasyonlarının hemen üzerinde tamamlandığı ve bu durumun Pabuccular mahallesindeki sondaj kuyusu için de geçerli olduğu varsayılarak, sert çakıllı zeminin 200 m derinlikte kaya formasyonlar ile sonlandığı kabulü ile ikinci bir model göz önüne alınmıştır. Bu derinlik Bakır vd (2002) ile Beyen ve Erdik (2004) tarafından önerilen derinlikler ile tutarlıdır. Bu modelde, S-dalgası hızının 1500 m/s olduğu varsayılan kaya formasyonlar elastik yarı uzay kabul edilmiştir. Yarı uzayın serbest saha koşullarındaki yer hareketi NEHRP-B (760 m/s Vs30 < 1500 m/s) sınıfı sahalarda elde edilen ivme kayıtları ile tanımlanmıştır. Birinci ve ikinci saha modeli sırasıyla "sığ" ve "derin" model olarak adlandırılmıştır.

### 3.2 Analizde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtları

1999 Kocaeli depreminde sert saha (NEHRP C veya deprem yönetmeliğine göre Z1 saha sınıfında -Sandıkkaya, 2008) üzerinde yer alan SKR istasyonunda fay doğrultusuna dik KG yönündeki kayıt alınamamıştır. Ayrıca, istasyonun şehir merkezine olan uzaklığı ile Kuzey Anadolu Fayına olan uzaklığı göz önüne alındığında, dinamik analizlerde sınır koşul olarak tanımlanacak yer hareketinde önemli belirsizlikler olduğu görülmektedir. Bu sebeple, Kocaeli depreminin özellikleri ve Adapazarı şehir merkezinin Kuzey Anadolu Fayına uzaklığı dikkate alınarak, bir doğrultu atım fayın kırılması sonucunda elde edilmiş kuvvetli yer hareketi kayıtları analizlerde kullanılmıştır. Bu kayıtlar Yenier vd. (2010) çalışmasında farklı kaynaklardan derlenerek düzeltilmiş ivme kayıtları arasından seçilmiştir. Her yer hareketi bileşeni için ayrı ayrı gerçekleştirilen saha tepki analizleri sonucunda hesaplanan yer hareketleri %5 sönümleme oranı için tepki spektrumlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Hesaplanan tepki spektrumlarının orta periyot aralığında (0.5 ila 2.0 s) en yüksek ortalama spektral ivme değerini veren 5 tanesi Deprem Yönetmeliğinde verilen tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır. 5 kayıttan biri, aşağıda açıklandığı şekilde, SKR kaydı ile ilişkilidir. Seçilen bu yer hareketleri ile ilgili özet bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1'de No.3 ile Kocaeli depreminde SKR istasyonunda elde edilen kaydın DB bileşenini gösterilmektedir. Daphne veritabanı (*www.daphne.gov.tr*) bu yer hareketinin kaydedildiği sahanın ortalama S dalgası hızını (Vs30) 412 m/s olarak vermektedir. Dolayısı ile, bu kayıt NEHRP-C sınıfı zemin üzerinde elde edilmiş bir kayıt olarak sığ model ile gerçekleştirilen analizlere dahil edilmiştir. Daphne veritabanı 5401 No'lu istasyonun sığ S dalgası hızı profili ve zemin tanımları ile endeks değerlerini de sunmaktadır. Yaklaşık 760 m/s S dalgası hızına sahip formasyonlar yaklaşık 27 m seviyesinde görünmektedir. Bu bilgiler ışığında ayrıca geliştirilen 1 boyutlu saha tepki modeli ile frekans uzayında bu sert formasyonlar üzerindeki yer hareketini hesaplamak mümkün olmuştur. Şekil 3, böylece hesaplanmış serbest kayadaki yer hareketinin tepki spektrumunu aynı depremde 4101 numaralı (Tablo.1'de No.1) istasyonda elde edilmiş yer hareketinin iki yatay bileşeninin spektrumları ile karşılaştırmaktadır. Tepki spektrumlarında gözlemlenen tutarlılık, özellikle 4101 numaralı Kocaeli istasyonunda elde edilen kayıtların, derin modelde kullanılmak üzere, 1999 Kocaeli depreminde sert formasyonlar üzerindeki yer hareketini temsil edebileceğini göstermektedir.

### 3.2 Kocaeli depreminde Adapazarı merkezinde tahmin edilen yer hareketi

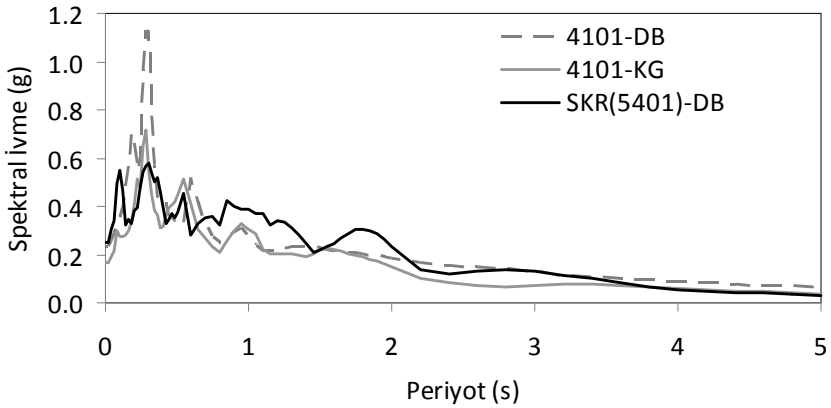
Şekil 4, analizlerde yarı uzay sınırın serbest sahası için kabul edilen yer hareketinin tepki spektrumlarını (%5 sönümleme) deprem yönetmeliğinde verilen Z1 zemin sınıfı tasarım spektrumları ile karşılaştırmaktadır. Spektral ordinatlar çoğunlukla tasarım spektrumu ile orta periyot bandında tutarlıdır. Ancak, yakın sahada alınan bu kayıtların 1 ila 2 saniye aralığında yüksek spektral ordinatlar verebileceği gözükmektedir. Şekil 5 ise saha tepki analizi sonucunda hesaplanan alüvyon sahadaki yer hareketinin tepki spektrumlarını Z4 zemin sınıfı için

verilen tasarım spektrumu ile karşılaştırmaktadır. Sonuçlar, 1 saniyeden kısa periyotların spektral ivme değerlerinde belirgin azalmalara sebep olduğunu, diğer taraftan 1-2 s aralığında spektral ordinatların tasarım spektrumunun önemli oranda üzerine çıkabileceğine işaret etmektedir.

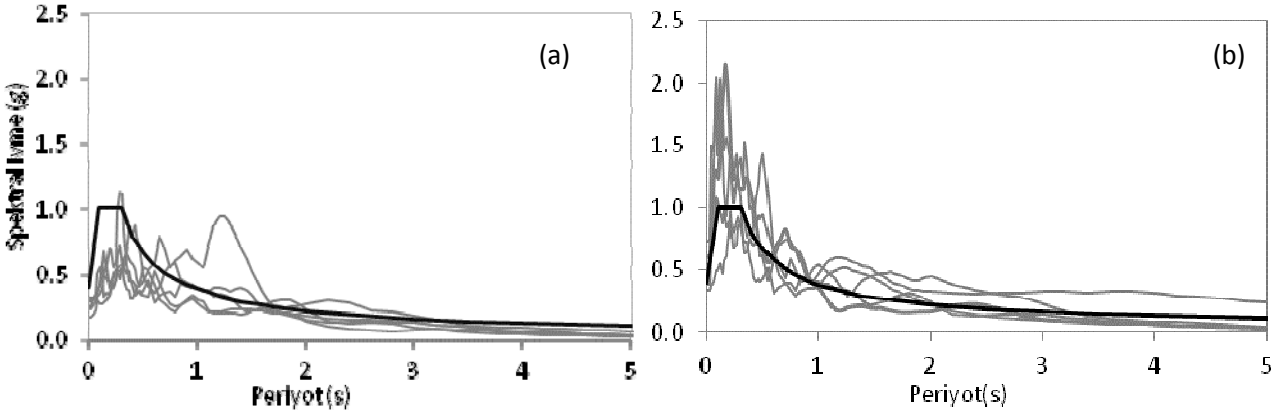
Tablo 1. Saha tepki analizlerinde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının özellikleri

| No | Deprem | İstasyon | Mw | $R_{JB}$(km) | Vs30(m/s) | ZS | Kaynak |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Kocaeli | #4101, Kocaeli | 7.6 | 0.6 | 826 | B | *Daphne* |
| 2 | Kobe | #897 | 6.9 | 1.4 | 1043 | B | *NGA* |
| 3 | Kocaeli | #5401, Sakarya | 7.6 | 6.8 | 412 | C | *Daphne* |
| 4 | Manjil | #251, Abbar | 7.4 | 6.3 | 723 | C | *NGA* |
| 5 | Landers | #25, Lucerne | 7.3 | 8.4 | 685 | C | *NGA* |
| 6 | Hector Mine | #1592, Hector | 7.1 | 7.8 | 685 | C | *NGA* |

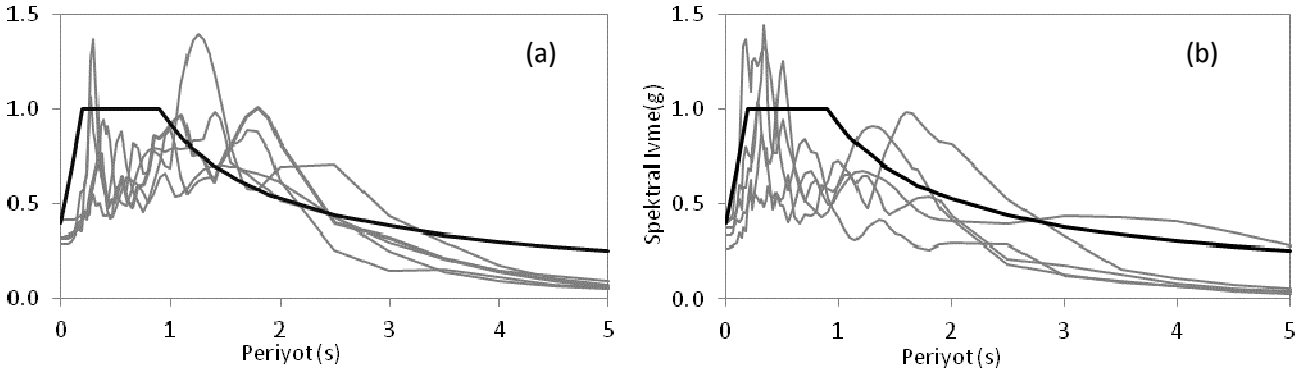
Mw: Moment magnitüdü, $R_{JB}$: Joyner and Boore (1988) mesafesi, ve ZS: NEHRP Zemin Sınıfı




Şekil 3. 1999 Kocaeli depreminde 5401 no'lu (Sakarya) istasyon kaydı kullanılarak frekans uzayında sert formasyonlar için hesaplanmış yer hareketinin %5 sönümleme spektrumunun 4101 no'lu (Kocaeli) istasyonu yer hareketi spektrumları ile karşılaştırması.




Şekil 4. Analizlerde kullanılan NEHRP (a) B ve (b) C tipi zeminlerde alınan ivme kayıtlarının %5 sönümleme oranı için hesaplanan tepki spektrumlarının Z1 zemin sınıfı için tasarım spektrumu (kalın siyah çizgi) ile karşılaştırması.




Şekil 5. (a) Derin model ve (b) sığ model ile hesaplanan tepki spektrumlarının Z4 tasarım spektrumu (kalın siyah çizgi) ile karşılaştırması.

Sonuçlar, 1 saniyeden kısa periyotların spektral ivme değerlerinde belirgin azalmalara sebep olduğunu, diğer taraftan 1-3 s aralığında spektral ordinatların Z4 sınıfı sahalar için verilen tasarım spektrumunun önemli oranda üzerine çıkabileceğine işaret etmektedir. Bu sonuçlar Adapazarı'nda gözlemlenen hasarı açıklamakta kullanılabileceği gibi, analizlerdeki kabullerden dolayı sonuçların muhafazakar olduğu sonucuna da götürebilir. Nitekim 1 boyutlu saha tepki modeli ile hesaplanan alüvyon sahadaki yer hareketi genlikleri elastik yarı uzay sınırında kabul edilen yer hareketi ile de ilişkilidir. Özetle, Adapazarı şehir merkezinde yer alan zeminlerin spektral amplifikasyonunu doğrulayacak kuvvetli yer hareketi kayıtları 1999 Kocaeli Depremi'nde alınamamış olsa da, bu çalışmadaki saha tepki analizleri 1 ila 3 s periyot bandında önemli amplifikasyonların olabileceğine işaret etmektedir. 1985 Meksika depreminde derin göl çökellerinin Mexico City üzerinde sebep olduğu ağır hasar bu durum ile ilgili bir vaka olarak düşünülebilir. Bu vakada ağır hasarlı bölgeye yakın SCT istasyonunda elde edilen kayıtlarda hakim yer hareketi periyodu 2.1 s olarak hesaplanmış, ve bu sonuç saha tepki analizleri ile irdelenmiştir (Seed vd, 1988). Dolayısıyla, deprem kaynağının sismolojik özellikleri ile deprem kaynağının konumu dikkate alınarak ve 1 boyutlu modelin sınırları göz önünde bulundurarak, yapıların tasarım ve performans değerlendirmesi için bu çalışmadaki yaklaşım ile alüvyon sahanın sismik ve geoteknik özelliklerini yansıtan sentetik ivme kayıtları üretilebilmektedir.

## 4. SONUÇ

Geliştirilen 1 boyutlu sığ ve derin saha tepki modelleri ile Adapazarı şehir merkezine özgü sentetik yer hareketleri üretilebilmektedir. Modeller, kabaca 1 ila 3 saniye periyot aralığında yüksek spektral amplifikasyon oranlarına işaret etmektedir. Keza, yapıların tasarım ve performans değerlendirmesi aşamasında, kuvvetli yer hareketi veri tabanlarında benzer özellikler taşıyan alüvyon basenler üzerinde ve benzer sismolojik koşullarda alınan ivme kayıtlarına rastlanamaması durumunda, yapısal analizler için sahaya uygun ivme kayıtları varolmayabilir. Kullanımda olan saha sınıflandırma sistemleri ise genellikle çok sığ tabakaların geoteknik ve jeofizik özelliklerine dayandığından, bu derinlikteki basenlerin dinamik özellikleri için ayırt edici olmayabilir. Nitekim istatistiksel çalışmalara dayanan tasarım spektrumları, sığ seviyelerdeki zemin özelliklerine göre sınıflandırılmış sahalar için beklenen (ortalama) değerleri verebilmektedir. Bu durumda, Adapazarı gibi derin alüvyon çökeller üzerinde yer alan yapıların tasarımından veya performans değerlendirmesinde, saha tepki modelleri geliştirililerek sahaya özgü sentetik yer hareketi kayıtlarının elde edilmesi önemli olmaktadır.

## 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 endeks değerleri Karayolları Genel Müdürlüğü Zemin Mekaniği Laboratuvarında belirlenmiştir. Yazarlar bu kurumlara destekleri için teşekkürlerini sunarlar. Çalışmada kullanılan ivme kayıtlarını sağlayan Sn. Abdullah Sandıkkaya'ya teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Bakır, B.S., Sucuoğlu, H., ve Yilmaz, 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, B.S., Yılmaz, M.T., Yakut, A., ve Gülkan P. (2005). Re-examination of damage distribution in Adapazarı. *Engineering Structures*, **27**: 1002-1013.

Beyen, K., ve 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.

Building Seismic Safety Council, BSSC (2009). NEHRP – National Earthquake Hazards Reduction Program-Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-750), 2009 Edition, National Institure of Building Sciences, Washington, D.C.

Joyner, W.B., ve Boore D.M. (1988). Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion. Proceedings of Earthquake Engineering and Structural Dynamics II, GT Dvi/ASCE, Park City, Utah.

Ishihara, K. (1996). Soil Behavior in Earthquake Geotechnics. Claredon Press, Oxford.

Ishibashi, I., ve Zhang, X. (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils and Foundations*, **33**(**1**): 182-191.

Kudo, K., Kanno, T., Okada, H., Özel, O., Erdik, M., Sasatani, T., Sadanori, H., Takahashi, M., ve 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*, **9,**: 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, M.A. (2008). Türk Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Zemin Sınıflandırması, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (İngilizce).

Schnabel, P.B., Lysmer, J., ve Seed H.B. (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.

Seed, H.B., Romo, M.P., Sun, J.I., Jaime, A., ve Lysmer, J. (1988). The Mexico Earthquake of September 19, 1985-relationship between soil conditions and earthquake ground motions. *Earthuake Spectra*, **4(4)**: 687-729.

T.C. Devlet Su İşleri Müdürlüğü (2001). Adapazarı Teverler Binası Sondaj Logu, hazırlayan: Bol E.

Yenier, E., Sandikkaya, M.A., ve Akkar S. (2010). Report on the fundamental features of the extended strong motion databank prepared for the SHARE project. SHARE Report, 44 p.