



**BYTNET (BURSA-YALOVA-TÜRKİYE İVME ÖLÇER AĞI) İSTASYONLARINDA
YEREL ZEMİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**(INVESTIGATION OF THE LOCAL SOIL EFFECTS AT THE STATIONS OF BYTNET
(BURSA-YALOVA-TÜRKİYE STRONG MOTION NETWORK))**

Eşref YALÇINKAYA*

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada BYTNet projesi kapsamında kurulan 6 adet istasyonda 5 farklı deprem kaydı kullanılarak, istasyonların konumlandırıldığı yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yerel zemin etkilerinin hesaplanmasında Klasik İzgel (Spektral) Oran (KSO) ve Yatay/Düşey İzgel Oran (YDSO) yöntemleri kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda yerel zemin etkilerinin farklı yönlerden istasyona gelen deprem dalgaları için çok fazla değişiklik göstermediği ortaya çıkmıştır. Kullanılan her iki yöntem sonuçları genelde iyi bir uyum göstermektedirler. Bu sonuç, yerel zemin etkilerinin belirlenmesinde veri açısından önemli avantaj sunan YDSO yöntemi için oldukça önemlidir. Yumuşak zemin tabakaları üzerinde yer alan Bursa BYT02, Gemlik BYT07 ve Cargill BYT08 istasyonları, mühendislik yapılarının sahip olabileceği hakim titreşim periyotlarına yakın periyotlarda önemli büyütme göstermektedirler. Bu nedenle, bu alanların daha sık istasyonlarla ve daha çok veriyle ayrıntılı incelenmesine ihtiyaç vardır.

In this study, the effects of local soil conditions on the earthquake waves have been investigated at 6 stations deployed in the BYTNet project. We have used the Classical Spectral Ratio and the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio methods to determine soil amplifications and fundamental soil periods. The earthquakes used were located in different directions relative to the BYTNet seismic network. The results have shown that the local soil effects do not considerably change the earthquake waves arrived to the stations from different directions. The agreement between the results of the two methods is good in general. Therefore, the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio method has important advantages in determining the local soil effects. The Bursa BYT02, the Gemlik BYT07, and the Cargill BYT08 stations, which are located on soft soils, have high amplifications at periods which are near to the natural periods of engineering structures in the region. Therefore, there is a need for more detailed investigations at these sites.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

BYTNet, Zemin büyütmesi, Klasik izgel oran, Yatay/düşey izgel oran
BYTNet, Soil amplification, Classical spectral ratio, Horizontal-to-vertical spectral ratio

* İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak., Jeofizik Müh., 34320, Avcılar, İSTANBUL.

1. GİRİŞ

Kaynaktan yayılan deprem dalgaları yer yüzüne yaklaştıkça yerel zemin koşullarındaki farklılaşmalar nedeni ile önemli değişikliklere uğrarlar. Bunun en önemli kanıtı, yeryüzünde yakın bölgeler arasında hasar derecelerindeki önemli farklılıklardır. Aynı bölge içinde farklı zemin koşulları üzerine kurulu yerleşim alanlarında hasar derecelerinin önemli miktarda değişiklikler göstermesi, araştırmacıları yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkisini araştırmaya itmiştir (Borcherdt, 1970; Singh vd., 1988). Genel olarak gözlenen genç sediment alanların yaşlı kaya birimlere göre deprem dalgalarını önemli oranda büyüttüğüdür (Singh ve Ordaz, 1993). Ana kayadan daha düşük hız ve yoğunluğa sahip olan zemin tabakaları içine geçen deprem dalgasının genliği empedans farkına bağlı olarak önemli oranda büyür (Şafak, 1995; Yalçinkaya, 2004).

Yerel zemin etkilerinin belirlenmesinde en çok kullanılmak istenen veri türü deprem kayıtlarıdır. Bu şekilde zemin koşullarının etkisi deprem kayıtları üzerinde doğrudan doğruya görülebilir. Başlıca iki yaklaşım mevcuttur. Bunlardan birincisi Klasik İzgel Oran (KSO) yöntemidir (Borcherdt, 1970). Bu yöntemde yerel zemin etkisi belirlenecek istasyondaki kayıtlar, yakın bir yerdeki yerel zemin etkisi taşımadığı düşünülen yani, ana kaya üzerine kurulmuş bir referans istasyonu kayıtları ile karşılaştırılır. Aralarındaki farkın yerel zemin etkilerinden kaynaklanabilmesi için, kayıtlar üzerindeki kaynak ve ortam etkilerinin aynı olması gerekir. Aynı deprem kaydının kullanılması, kaynak etkisinin her iki istasyonda da aynı olmasını sağlar. Ortam etkilerinin aynı olabilmesi için lokal jeolojiye kadar dalgaların benzer yolu izlemeleri gerekir. Bunun için, karşılaştırılan iki istasyon arasındaki uzaklığın deprem kaynağına olan uzaklıktan küçük olması yeterli görülmektedir (Steidl vd., 1996). Bu yöntemin başlıca problemi, böyle yakın ve ana kaya üzerinde yer alan bir referans istasyonunun her zaman bulunamamasıdır. Bazen de ana kaya üzerinde yer alan istasyonlar, kaya yüzeyinde meydana gelen ayrışmalar ve/veya çatlaklı yapıları nedeniyle uygun referans istasyonu olamazlar (Steidl vd., 1996; Lachet vd., 1996). İkinci yöntem Yatay/Düşey İzgel Oran (YDSO) yöntemidir (Nakamura, 1989; Lermo ve Chavez-Garcia, 1993). Referans istasyonu gerektirmemesi nedeni ile oldukça kullanışlıdır. Ana kaya içinde hareketin yatay ve düşey bileşenin eşit olduğu ve yatay bileşenin aksine düşey bileşenin yerel zemin koşullarından etkilenmediği varsayımına dayanır. Böylece hareketin yatay bileşeninin düşey bileşenine oranı yerel zemin koşullarının etkisini verir. Teorik temelindeki varsayımlara rağmen deneysel çalışmalar yöntemin, zemin hakim periyodunun belirlenmesinde oldukça başarılı olduğunu göstermektedir (Lachet ve Bard, 1994; Lachet vd., 1996; Bonilla vd., 1997). Bunun yanında, zemin büyütme metodunun Klasik İzgel Oran yöntemine göre genellikle daha küçük çıktığı ortaya konulmuştur (Field ve Jacob, 1995; Triantafyllidis vd., 1999; Coutel ve Mora, 1998; Dimitriu vd., 1998; Riepl vd., 1998; Yalçinkaya ve Alptekin, 2000a; Yalçinkaya ve Alptekin, 2003a).

Yerel zemin koşulları etkilerinin belirlenmesinde genellikle birden çok veri kullanılarak ortalama bir zemin etkisi fonksiyonu belirlenir. Bu durumda yöne bağlı etkiler bir nevi ortalananmış olur. Havza tipi yapılarda ana kaya topografyası ve havza kenarlarındaki ana kaya geçişleri yani, 3 boyutlu havza yapısı deprem dalgaları üzerinde önemli etkiye sahiptir (Field, 1996; Yalçinkaya ve Alptekin, 2003b). Havza tabanından oluşan saçılmalar ve odaklanmalar yer yüzünde farklı bölgelerde farklı genliklerin oluşmasına neden olur. Deprem dalgalarının geliş yönüne bağlı olarak bu alanlar değişebilir (Gao vd., 1996; Field, 1996). Bu çalışmada farklı azimutlarda yer alan deprem kayıtlarından elde edilen büyütme fonksiyonları karşılaştırılacaktır. Bu şekilde yerel zemin etkileri üzerinde dalga geliş yönüne bağlı farklılıklar araştırılacaktır. Ayrıca, KSO ve YDSO yöntemleri karşılaştırılarak artı ve eksileri tartışılacaktır.

2. VERİ

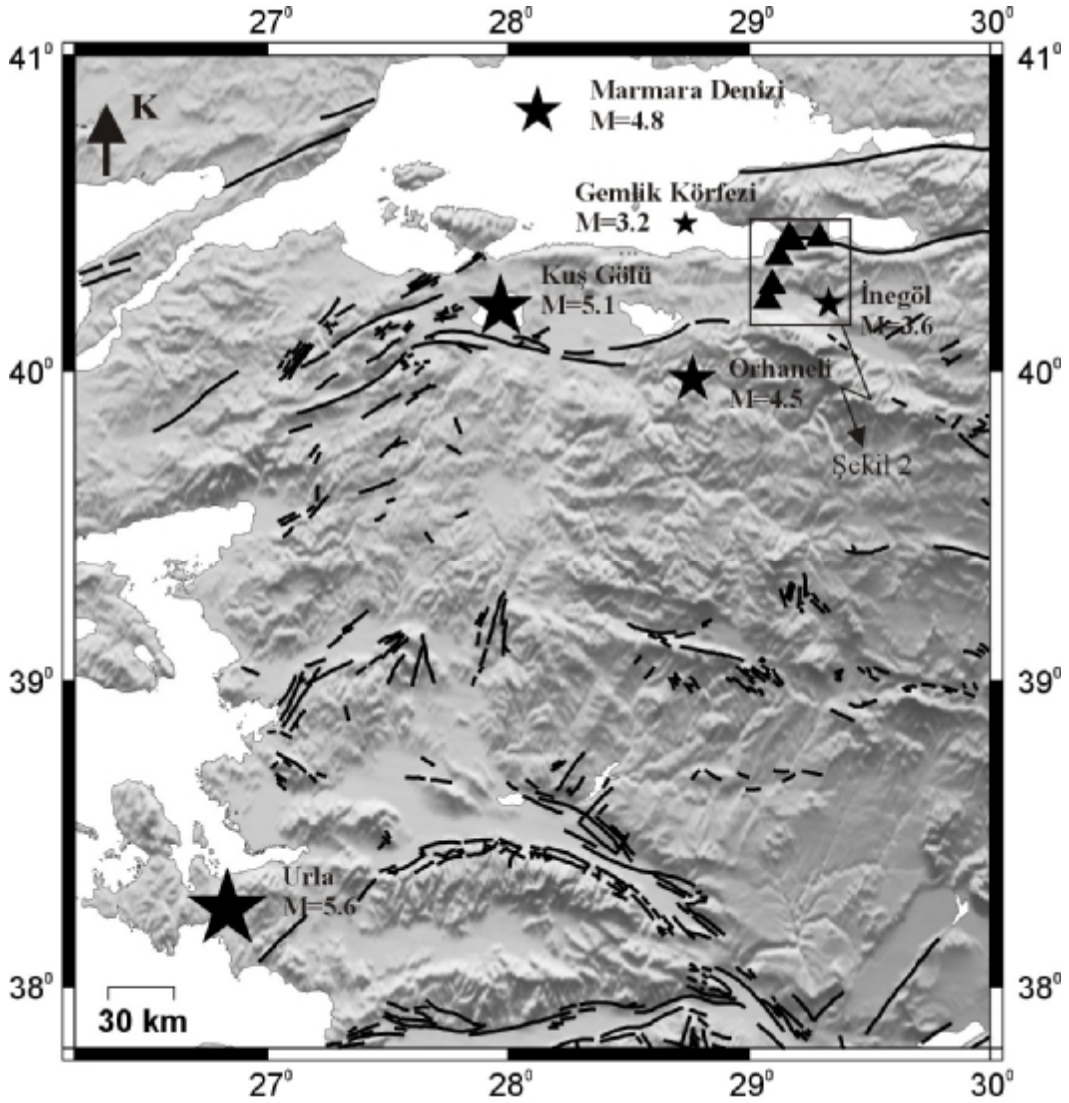
Ülkemizde zemin etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalarda deprem kayıtlarının kullanılması oldukça yenidir (Akyol vd., 2002; Yalçinkaya ve Alptekin, 2003a). Bunun ana nedeni büyük oranda uygun veri setinin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu tür çalışmalar sık ve yoğun istasyon ağlarının varlığını gerektirir. 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölcük depreminde kötü zemin koşulları sonucu meydana gelen ağır hasar ve can kaybı, bu tür çalışmalar için uygun veri ağlarının kurulmasına yol açmıştır. Bu ağlardan bir tanesi Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen ve diğer ulusal ve ulusal olmayan 5 kuruluş tarafından desteklenen BYTNet (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) istasyon ağıdır (<http://angora.deprem.gov.tr/BYTNetTR.htm>). BYTNet sismik istasyon ağı, Bursa-Yalova arasında uzanan bir hat üzerinde yerleştirilmiş 14 adet kuvvetli hareket kayıtçısından oluşmaktadır. İstasyonların tümünde 3 bileşen Kinematics Etna tipi ivme ölçerler bulunmaktadır.

Kuruluşundan bu yana BYTNet tarafından kaydedilen ve bizim bu çalışma için seçtiğimiz veri seti Çizelge 1'de gösterilmektedir. Kullandığımız veri, büyüklükleri 3.2 ile 5.6 arasında değişen 5 depremden oluşmaktadır. Ne yazık ki, henüz tüm ağ tarafından kaydedilen bir deprem yoktur. Bu nedenle, en az iki deprem kaydeden istasyonlar çalışmaya dahil edilmiştir. Kullanılan istasyonlar ve depremler Şekil 1'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi genelde, istasyonlar arası mesafeler deprem uzaklıklarına göre oldukça küçüktür. Ayrıca, dalgaların ağa geliş yönleri farklılıklar göstermektedir. İstasyonlarda kaydedilen maksimum ivmelerin tümü genelde 10 miligal'in altındadır. Bu nedenle, kullanılan veri sadece zayıf hareket kayıtlarından oluşmaktadır ve bu çalışma için doğrusal olmayan zemin davranışı etkileri dikkate alınmayacaktır (Yalçinkaya ve Alptekin, 2000b; Beresnev ve Wen, 1996).

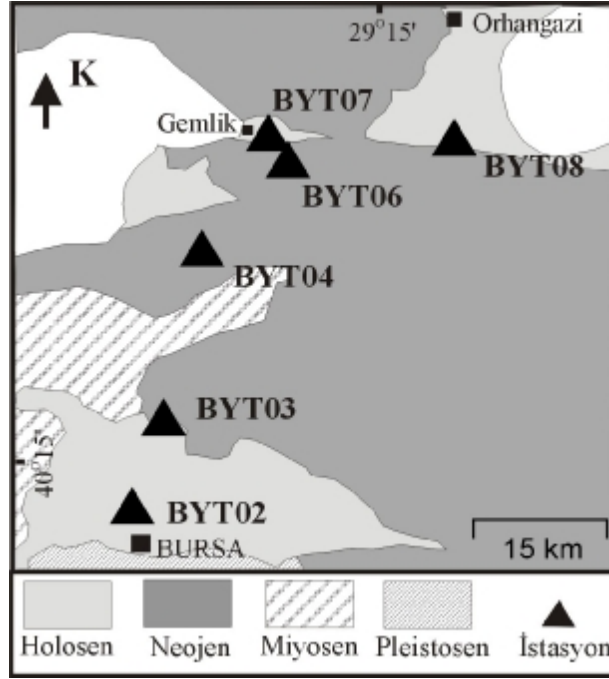
Şekil 2'de istasyonların konumlandırıldıkları yerler daha geniş ölçekte yalınlaştırılmış yüzey jeolojisi ile birlikte gösterilmektedir. İstasyonların konumlandırıldıkları zeminler hakkında jeolojik ve jeofizik verilere dayalı daha detaylı araştırmalar tamamlanmak üzeredir (<http://angora.deprem.gov.tr/BYTNet/istasyonbilgileri.htm>). İznik gölünün yaklaşık güneybatı sahillerine yakın bir kesimde Cargill Tarım Sanayi Fabrikası içinde kurulan BYT08 istasyonu tamamıyla Pliyosen yaşlı karasal çökeller üzerinde yer almaktadır. Bu bölgede daha çok düşük kotlarda ve geniş düzlüklerde çökelen bu karasal çökeller oldukça geniş yayılım göstermektedir. Umurbey'de kurulan BYT06 istasyonunun bulunduğu sırt üzerindeki düzlükte oldukça genç çökeller yer almaktadır. Pliyo-kuvaterner yaşlı olan bu birimler bölgede alüvyal çökellerle birlikte en genç litoloji konumundadır. Gemlik'ten Umurbey'e doğru jeomorfolojiye bağlı olarak Paleozoyik temel üzerinde Eosen fişi gözlenmektedir. BYT07 istasyonunun içinde yer aldığı Gemlik Endüstri Meslek Lisesi alüvyal çökellerle örtülüdür. Gemlik ilçesinin de içinde bulunduğu bu alan metamorfik, volkanik kayalar, mermer ve kristalize kireçtaşlarıyla çevrilidir. Kurtul Köyü çevresinde yükseltileri oluşturan birim ise kırmızı-bordo-mor renkleriyle karakteristik olan Triyas yaşlı silttaşı, kumtaşı-çakıltası ağırlıklı birimdir. Bursa yolu üzerindeki yol yarmalarında da net olarak gözlenen bu birim üzerinde yine kendi malzemesinden oluşan genç çökeller yüzeylemektedir. Kurtul Köyü içerisinde vadi tabanlarına doğru aynı renkteki kil-kum ağırlıklı litolojilerini gözlemek mümkündür. BYT04 istasyonu Kurtul Köyü içinde bu genç çökeller üzerinde yer almaktadır. Daha güneyde, BYT02 istasyonunun kurulduğu Bursa bölgesinde düzlükler tamamen genç, kil ağırlıklı litolojinin hakim olduğu bir jeoloji sergiler. Ancak ovadan daha yüksek alanlara doğru temel kayaları ve/veya üzerinde örtü olan yamaç molozu, taraça, kolüvyon niteliklerindeki malzemeler ile karşılaşmaktadır. BYT03 istasyonunun yer aldığı Demirtaş, Kuvarsit temel üzerindeki yamaç molozu taraça malzeme ile örtülüdür.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan depremlere ait parametreler ve kaydedildikleri istasyonlar

Depremler	Tarih ve Saat	Enlem Boylam	M	İstasyonlar					
				BYT02	BYT03	BYT04	BYT06	BYT07	BYT08
Kuş Gölü	09.06.2003 17:44:03	40.2027 27.9685	5.1	x	x	x		x	x
Orhaneli	20.03.2003 12:25:35	39.9740 28.7650	4.5		x	x	x		x
Gemlik Körfezi	14.05.2002 19:32:17	40.4690 28.7350	3.2					x	
İnegöl	31.03.2002 17:54:32	40.2147 29.3307	3.6		x			x	
Urla	10.04.2003 00:40:16	38.2568 26.8345	5.6	x			x	x	x
Marmara Denizi	28.02.2002 08:38:02	40.8245 28.1203	4.8					x	



Şekil 1. Çalışmada kullanılan depremler (yıldız) ve istasyonlar (üçgen)



Şekil 2. Kullanılan istasyonlar ve basitleştirilmiş yüzey jeolojisi (Yaltrak ve Alpar, 2002)

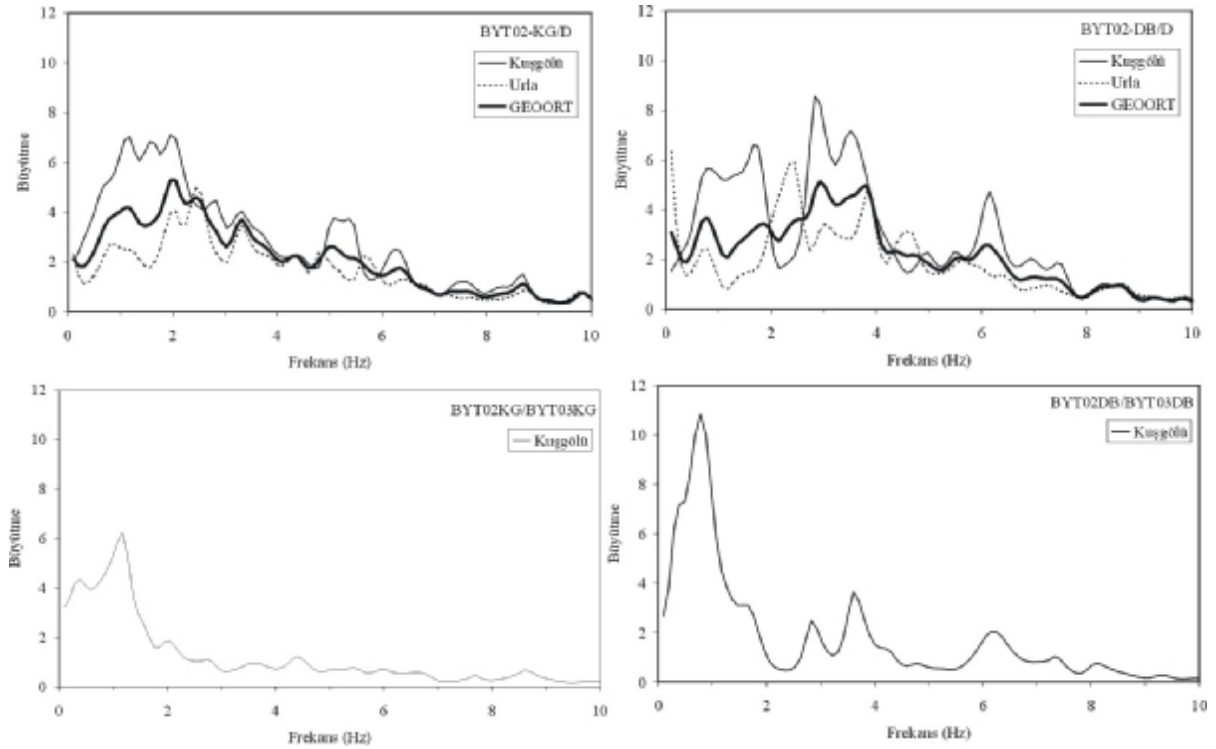
Kullanılan kayıtların tümü 0.01 sn aralıkla sayısallaştırılmıştır. Yerel zemin etkilerini hesaplamak için kullanılan sinyal sadece S dalgası fazıdır. Bu amaçla tüm veriden 10.24 sn uzunlukta pencereler ile S dalgaları seçilmiştir. Daha sonra %10 kosinüs pencere ile uçları kesilen verilerin, bir Fast Fourier Transform programı kullanılarak genlik spektrumları hesaplanmıştır. İzgel oranlama sırasındaki ani sıçramalardan kaçmak amacıyla tüm spektrum genlikleri 0.48 Hz band genişliğine sahip bir kayan Parzen pencere ile yuvarlatılmışlardır. YDSO yönteminde her iki yatay bileşen spektrum ayrı ayrı düşey bileşen spektruma oranlanarak büyütme fonksiyonları hesaplanmıştır. KSO yöntemi için ise, öncelikle bir referans istasyonuna ihtiyaç vardır. Bu amaçla, kullanılan istasyonlar içinde en sağlam zemin üzerinde kurulu olduğu düşünülen BYT03 Demirtaş istasyonu referans istasyonu olarak seçilmiştir. Sondaj bilgilerine göre bu istasyon çok sıkı özellikteki kuvarsit kökenli kayalar üzerinde kuruludur. KSO yöntemi için, büyütme fonksiyonu hesaplanmak istenen istasyon kayıtlarının spektrumları BYT03 istasyonu kayıtlarına oranlanmıştır. BYT03 istasyonu tüm depremleri kaydetmediği için KSO yöntemi sadece 3 deprem için kullanılabilmiştir (Çizelge 1).

3. BULGULAR

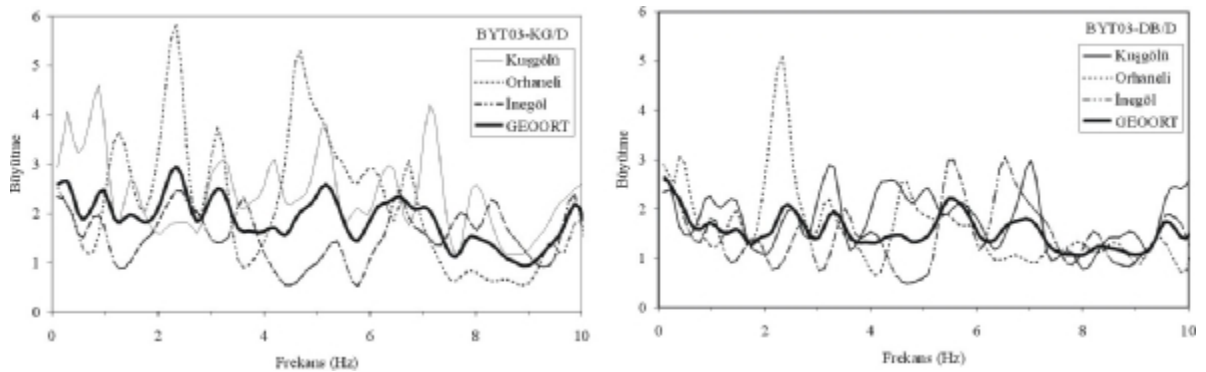
Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de sırası ile BYT02, BYT03, BYT04, BYT06, BYT07 ve BYT08 istasyonları için hesaplanan yatay bileşen büyütme fonksiyonları gösterilmektedir. Şekillerde üst sıradaki grafikler YDSO yöntemi sonuçlarını, alt sıralar KSO yöntemi sonuçlarını göstermektedir. Büyütme fonksiyonları her bir deprem için farklı çizgi şekli kullanılarak, her bir istasyon için hesaplanan ortalama büyütme fonksiyonu ise kalın çizgi kullanılarak gösterilmiştir.

Bursa ovası içinde yer alan BYT02 istasyonunda, hesaplanan iki deprem arasında YDSO yöntemi büyütme fonksiyonlarının uyumu özellikle düşük frekanslarda oldukça azdır (Şekil 3, üst grafikler). Kuş Gölü depremine ait büyütme fonksiyonlarında 0.5-2 Hz arasında ve ayrı

olarak DB bileşende 2.5-3.5 Hz civarında 6 katına varan büyütme görülse de, Urla depreminden elde edilen büyütme fonksiyonunun bu değerlerden farklı frekanslarda büyütme göstermesi açık bir sonuç çıkarılmasını güçleştirmektedir. KSO yöntemi ile hesaplanan büyütme fonksiyonlarında KG ve DB bileşenlerde sırası ile 1.2 ve 0.8 Hz’teki büyütme pikleri çok açık olmasına rağmen, kayıt sayısı sadece birdir (Şekil 3, alt grafikler). Aynı frekanslarda büyütme piklerine YDSO yönteminde de karşılaşıldığından BYT02 istasyonu altındaki zeminin hakim titreşim frekansının bu değerde olması muhtemeldir. KG ve DB bileşen zemin hakim titreşim frekansları arasında ki 0.4 Hz’lik fark, olasılıkla iki boyutlu havza yapısından kaynaklanmaktadır. Kuş Gölü depremi için her iki yöntemden elde edilen büyütme pik frekans yerlerindeki uyum, büyütme değerlerindeki farka rağmen oldukça iyidir.



Şekil 3. BYT02 istasyonu yatay bileşen büyütme fonksiyonları. Üst satır grafikler YDSO yöntemi sonuçlarını, alt satır grafikler KSO yöntemi sonuçlarını göstermektedir. Her bir deprem için farklı çizgi türü, ortalama büyütme fonksiyonu için kalın eğri kullanılmaktadır.

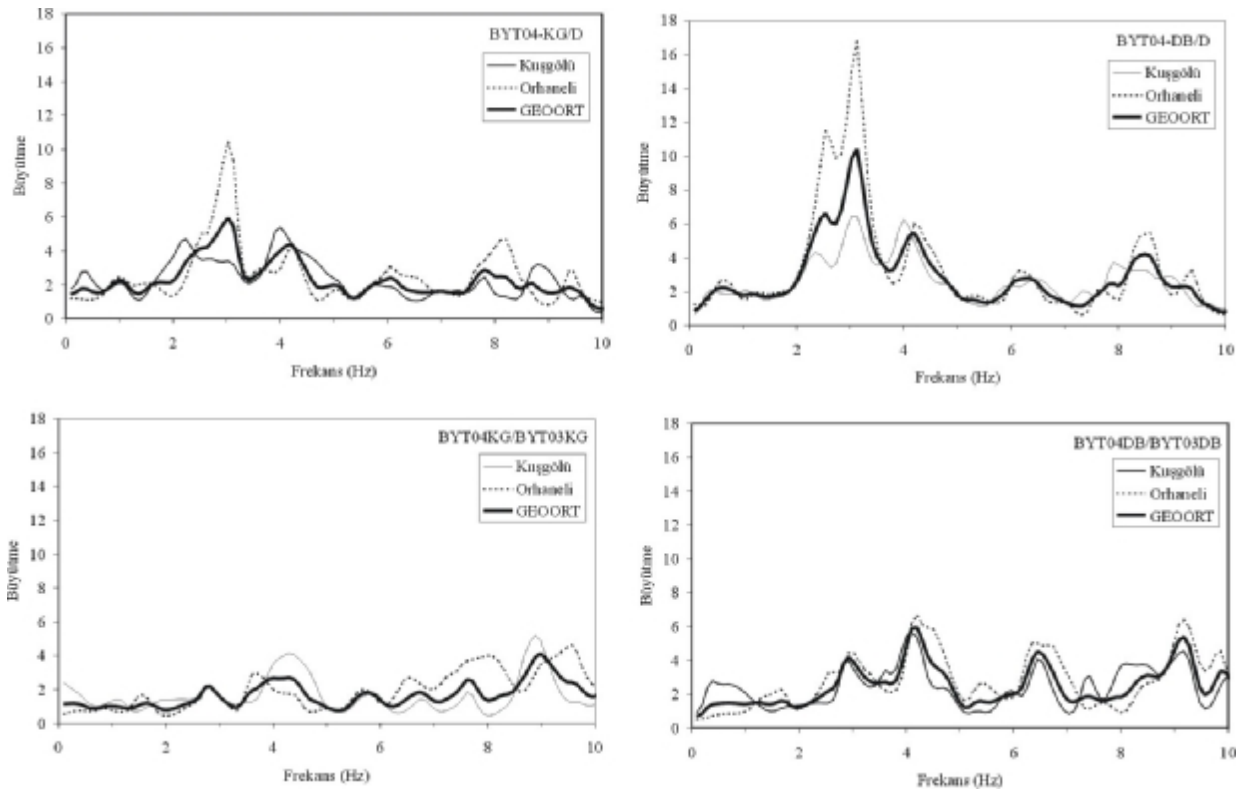


Şekil 4. BYT03 istasyonu YDSO yöntemi ile hesaplanan yatay bileşen büyütme fonksiyonları. Her bir deprem için farklı çizgi türü, ortalama büyütme fonksiyonu için kalın eğri kullanılmaktadır.

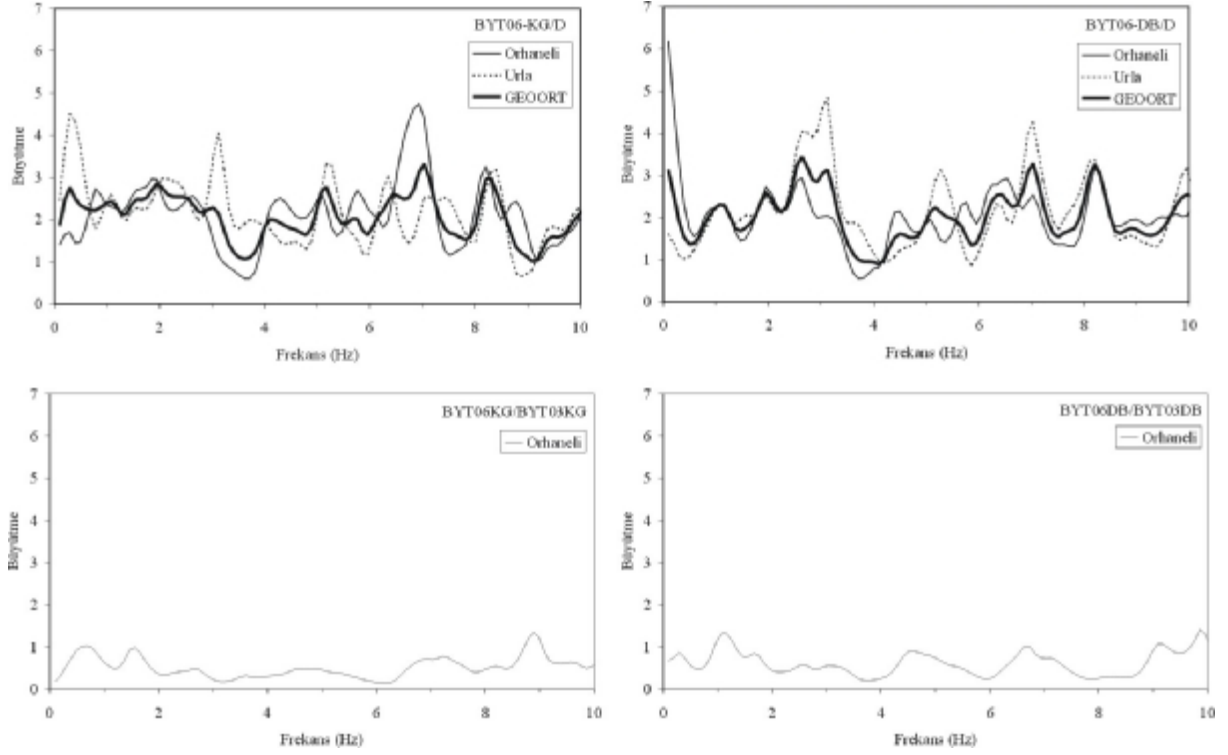
Demirtaş BYT03 istasyonu sağlam zemin üzerinde yer alan ve KSO yöntemi için referans seçilen istasyondur. Şekil 4'te görüldüğü gibi, YDSO yöntemi ile hesaplanan büyütme fonksiyonlarından açık bir büyütme piki tespit edilememektedir. Bazı depremler için, bazı frekanslarda büyütme yüksek gibi görülsede, diğer depremler için hesaplanan büyütme bu doğrulamamaktadır. Dolayısıyla, BYT03 istasyonu düşünüldüğü gibi uygun bir referans istasyonu olarak görülmektedir. Çünkü, ortalama değerlere bakıldığında incelenen frekans aralığında büyütme genelde 2 veya daha küçüktür. Sadece Orhaneli depremine ait büyütme fonksiyonunda 2.2 ve 4.6 Hz civarında açık bir büyütme piki görülmekte, fakat nedeni hakkında daha fazla veri toplanmasına ihtiyaç vardır.

Kurtul BYT04 istasyonu büyütme fonksiyonları arasındaki uyum oldukça iyidir (Şekil 5). Bu uyum hem büyütme pik frekans yerlerinde, hem de büyütme değerlerinde açıkça görülmektedir. Büyütme fonksiyonlarından görülen zemin hakim titreşim frekansı yaklaşık 3 Hz'tir. KG bileşen büyütme fonksiyonlarında bu daha açık görülmektedir. Olasılıkla bu frekanstaki rezonans ana kaya üzerinde yer alan ince dolgu örtüden kaynaklanmaktadır. Sondaj çalışmalarına göre ana kaya üzerindeki bu örtünün kalınlığı 9-13 m civarındadır (<http://angora.deprem.gov.tr/BYNetTR.htm>).

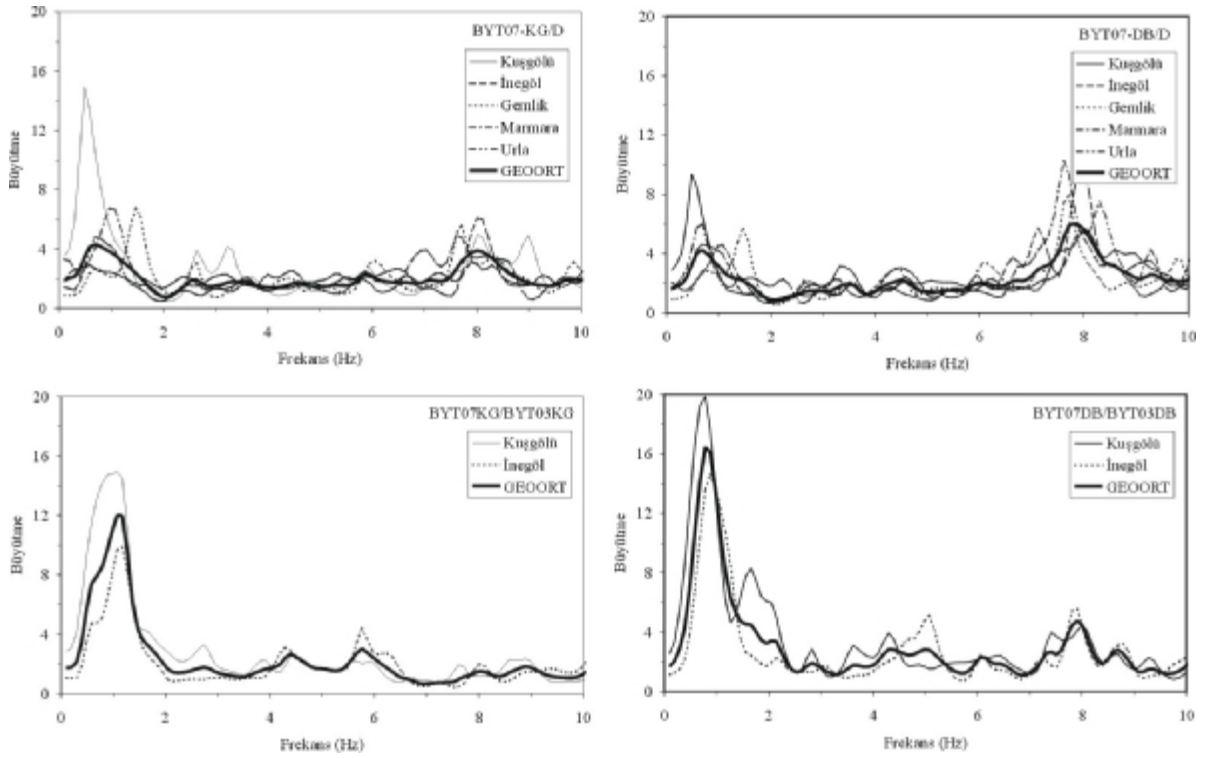
Umurbey BYT06 istasyonu büyütme fonksiyonları da depremler arasında önemli bir fark göstermez (Şekil 6). Açık bir rezonans frekansının görülebilmesi ve büyütme değerlerinin 2 civarında olması bu istasyonunda sağlam bir zemin üzerinde yer aldığını gösterir. Hatta, KSO yönteminde karşılaştırılan BYT03 istasyonu kayıtlarına göre büyütme değerlerinin genelde birden küçük olması nedeniyle, BYT03 istasyonundan daha iyi bir referans istasyonu olarak düşünülebilir (Şekil 6).



Şekil 5. BYT04 istasyonu yatay bileşen büyütme fonksiyonları. (Üst satır grafikler YDSO yöntemi sonuçlarını, alt satır grafikler KSO yöntemi sonuçlarını göstermektedir. Her bir deprem için farklı çizgi türü, ortalama büyütme fonksiyonu için kalın eğri kullanılmaktadır)



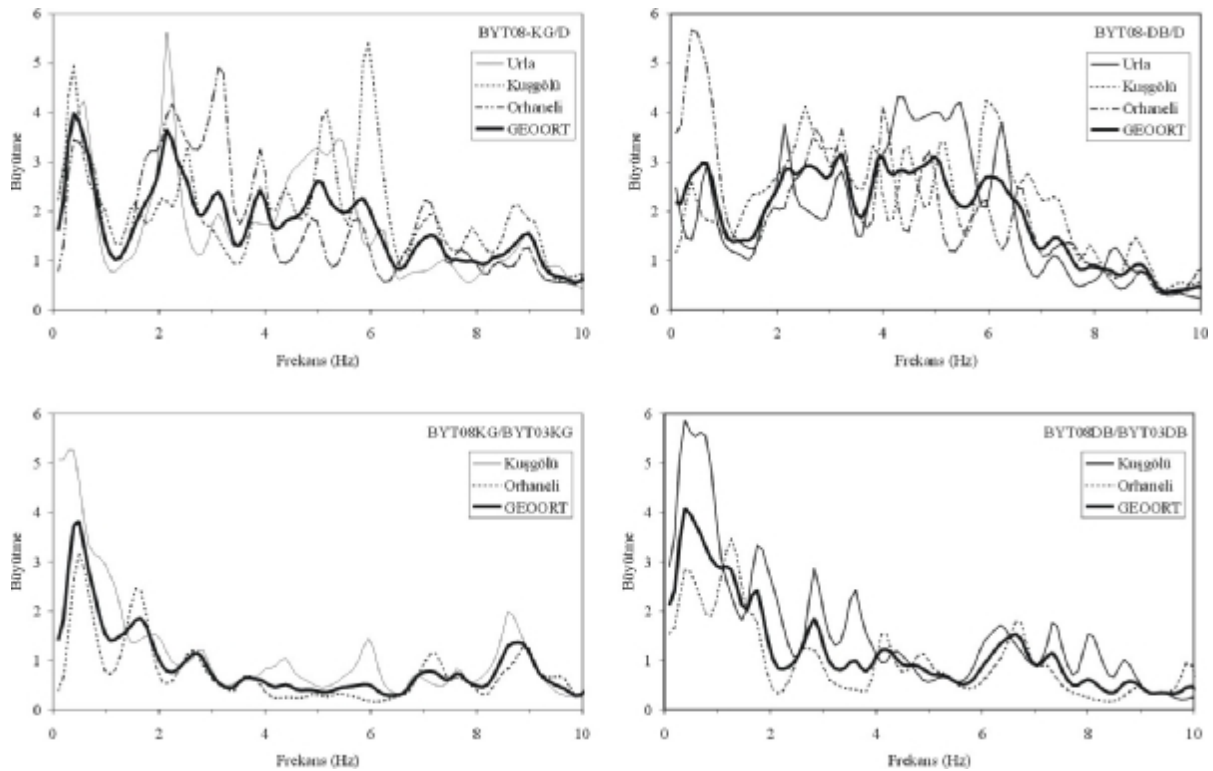
Şekil 6. BYT06 istasyonu yatay bileşen büyütme fonksiyonları. (Üst satır grafikler YDSO yöntemi sonuçlarını, alt satır grafikler KSO yöntemi sonuçlarını göstermektedir. Her bir deprem için farklı çizgi türü, ortalama büyütme fonksiyonu için kalın eğri kullanılmaktadır)



Şekil 7. BYT07 istasyonu yatay bileşen büyütme fonksiyonları. (Üst satır grafikler YDSO yöntemi sonuçlarını, alt satır grafikler KSO yöntemi sonuçlarını göstermektedir. Her bir deprem için farklı çizgi türü, ortalama büyütme fonksiyonu için kalın eğri kullanılmaktadır)

Gemlik BYT07 istasyonu büyütme fonksiyonları arasındaki uyum genelde iyidir (Şekil 7). Bu istasyon incelenen istasyonlar arasında en fazla, yaklaşık 16, büyütmeye sahip istasyondur. Çok açık iki büyütme piki tespit etmek mümkündür. YDSO-KSO yöntemleri ve KG-DB bileşenler arasında küçük farklılıklar görülse de, birinci pik 0.5-1 Hz arasında, ikinci pik ise 8 Hz civarındadır. Birinci pik, istasyonun konumlandırıldığı kalın ve düşük hızlı alüvyon tabakanın rezonans frekansını gösterirken, ikinci pik olasılıkla yüzeydeki sıkışmış dolgudan kaynaklanmaktadır.

Cargill BYT08 istasyonu büyütme fonksiyonları arasındaki fark, özellikle yüksek frekanslara doğru artmaktadır (Şekil 8). Genelde 0.4-0.5 Hz civarındaki büyütme piki tüm depremlerde görülmektedir. Bu pik, her iki yöntemde de görülmesine karşın yüksek frekanslardaki pik frekansları aynı değildir. 0.4-0.5 Hz frekans değeri muhtemelen istasyonun konumlandırıldığı zeminin hakim titreşim frekansıdır.



Şekil 8. BYT08 istasyonu yatay bileşen büyütme fonksiyonları. (Üst satır grafikler YDSO yöntemi sonuçlarını, alt satır grafikler KSO yöntemi sonuçlarını göstermektedir. Her bir deprem için farklı çizgi türü, ortalama büyütme fonksiyonu için kalın eğri kullanılmaktadır)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada BYTNet istasyon ağı içinde yer alan 6 istasyon için yerel zemin etkileri araştırılmıştır. Veri olarak ağın konumuna göre farklı yönlerde meydana gelmiş 5 deprem kullanılmıştır. Yerel zemin etkilerini ortaya çıkarmakta kullanılan yöntemler Klasik İzgel Oran (KSO) ve Yatay/Düşey İzgel Oran (YDSO) yöntemleridir. Hesaplanan büyütme fonksiyonları genelde yöne bağımlı pek fazla değişiklik göstermemektedir. Özellikle büyütme değerlerinde saçılmalar görülse de, büyütme pik frekans yerleri genelde çok benzerdir. Saçılmaların büyük bir kısmı yüksek frekanslara doğru artmaktadır. Zemin hakim titreşim periyodu genelde bütün depremlerde ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar, farklı yönlerden gelen

deprem dalgalarının yerel zemin koşulları içinde saçıldığını ve istasyona bir çok yönden eriştiğini göstermektedir. Özellikle incelediğimiz depremlerin çoğunun uzak olması nedeniyle, deprem dalgaları istasyonların konumlandırıldığı havza içine hemen hemen dike yakın bir açıda giriş yapmaktadır. Aksi durum yani, yakın depremlerde havza altından değil de daha düşük bir açıda havza kenarından giriş yapan dalgalar farklı odaklanmalara neden olabilir. KSO ve YDSO yöntemleri sonuçları arasındaki benzerlik cesaret vericidir. Her iki yöntem zemin hakim titreşim periyotlarının ve büyütmelemlerin belirlenmesinde oldukça uyumludur. Sonuçlar arasındaki farklılıklar herhangi bir yöntemin diğerine üstünlük sağlayacağı düzeyde değildir. Bu da, özellikle kullanımda büyük avantajlar sunan YDSO yöntemi için umut vericidir. Deprem zararlarının azaltılması açısından, sonuçlarda dikkati çeken Bursa BYT02, Gemlik BYT07 ve Cargill BYT08 istasyonlarıdır. Bu istasyonlardaki büyütmelemler ve zemin hakim titreşim periyotları mühendislik yapıları için tehlike oluşturabilecek değerlerdedir. Zemin hakim titreşim periyotları Bursa BYT02 istasyonunda 0.8-1.25 sn (0.8-1.2 Hz), Gemlik BYT07 istasyonunda 1-1.25 sn (0.8-1 Hz) ve Cargill BYT08 istasyonunda 2-2.5 sn (0.4-0.5 Hz) civarındadır. Bu değerler, 8 katlı bir binadan başlayarak uzun periyotlara sahip cami, su kulesi, fabrika bacası gibi benzer yapıların sahip olabileceği hakim periyoda değerleriyle aynıdır. Bölgenin büyük bir deprem tehlikesi altında olduğu düşünülürse ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulacağı açıktır. BYTNet projesi bu iş için iyi bir başlangıç oluşturmaktadır. Artan veri sayısı ile sonuçlardaki güvenilirliğin artacağı kesindir. Fakat, yerel zemin koşullarının çok yakın mesafelerde önemli değişiklikler göstermesi nedeni ile Bursa ovası ve Gemlik körfezi gibi yerlerde daha sık istasyon ağlarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, sonuçların teorik hesaplamalarla doğrulanması için özellikle kalın alüvyon alanlarda ana kayaya erişen sondaj ve sismik hız bilgileri büyük önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

BYTNet projesi çerçevesinde elde edilen verileri kullanıma açan başta Afet İşleri Genel Müdürlüğü olmak üzere tüm proje çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akyol N., Akıncı A., Eyidoğan H. (2002): "Separation of Source, Propagation and Site Effects from S Waves of Local Earthquakes in Bursa Region, Northwestern Turkey", *Pure and Applied Geophysics*, 159, 1253-1269.
- Beresnev I.A., Wen K.L. (1996): "Nonlinear Soil Response-A Reality?", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 1964-1978.
- Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J. (1997): "Site Amplification in the San Fernando Valley, California: Variability of Site-Effect Est. Using the S-wave, Coda, and H/V Methods", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 710-730.
- Borcherdt R.D. (1970): "Effects of Local Geology on Ground Motion Near San Francisco Bay", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 60, 29-61.
- Coutel F., Mora P. (1998): "Simulation-Based Comparison of Four Site-Response Estimation Techniques", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 30-42.
- Dimitriu P.P., Papaioannou Ch.A., Theodulidis N.P. (1998): "EURO-SEISTEST Strong-Motion Array Near Thessaloniki, Northern Greece: A Study of Site Effects", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 862-873.
- Field E.H., Jacob K.H. (1995): "A Comparison and Test of Various Site-Response Estimation Techniques, Including Three That Are Non Reference-Site Dependent", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 1127-1143.

- Field E.H. (1996): "Spectral Amplification In A Sediment-Filled Valley Exhibiting Clear Basin-Edge-Induced Waves", Bull. Seism. Soc. Am., 86, 991-1005.
- Gao S., Liu H., Davis P.M., Knopoff L. (1996): "Localized Amplification of Seismic Waves and Correlation With Damage Due to The Northridge Earthquake", Bull. Seism. Soc. Am., 86, S209-S230.
- Lachet C.D., Bard P.Y. (1994): "Numerical and Theoretical Investigations on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique", Journal of Physics of the Earth, 42, 377-397.
- Lachet C., Hatzfeld D., Bard P.Y., Theodulidis N., Papaioannou C., Savvaidis A. (1996):: "Site Effects and Microzonation In The City of Thessaloniki (Greece) Comparison of Different Approaches", Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1692-1703.
- Lermo J., Chavez-Garcia F.J. (1993): "Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios With Only One Station", Bull. Seism. Soc. Am., 83, 1574-1594.
- Nakamura Y. (1989): "A Method For Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremors On The Ground Surface", OR of RTRI, 30, No 1, 25-33.
- Reipl J., Bard P.Y., Hatzfeld D., Papaioannou C., Nechtschein S. (1998): "Detailed Evaluation of Site-Response Estimation Methods Across and Along The Sedimentary Valley Of Volvi (EURO-SEISTEST)", Bull. Seism. Soc. Am., 88, 488-502.
- Singh S.K., Lermo J., Dominguez T., Ordaz M., Espinosa J.M., Mena E., Quaaas R. (1988): "The Mexico Earthquake of September 19, 1985-A Study of Amplification of Seismic Waves In The Valley of Mexico With Respect to A Hill Zone Site", Earthquake Spectra, 4, 653-673.
- Singh S.K., Ordaz M. (1993): "On The Origin of Long Coda Observed In The Lake-Bed Strong Motion Records of Mexico City", Bull. Seism. Soc. Am., 83, 1298-1306.
- Steidl J.H., Tumarkin A.G., Archuleta R.J. (1996): "What Is A Reference Site?", Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1733-1748.
- Şafak E. (1995): "Discrete-Time Analysis of Seismic Site Amplification", Journal of Engineering Mechanics, 121, 801-809.
- Triantafyllidis P., Hatzidimitriou P.M., Theodulidis N., Suhadolc P., Papazachos C., Raptakis D., Lontzetidis K. (1999): "Site Effects In The City of Thessaloniki (Greece) Estimated From Acceleration Data and 1D Local Soil Profiles", Bull. Seism. Soc. Am., 89, 521-537.
- Yalçinkaya E., Alptekin Ö. (2000a): "27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde Zemin Şartlarının Yer Hareketine Ve Hasar Dağılımına Etkisi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, İTÜ, İstanbul, Bildiriler Kitabı, s.311-320.
- Yalçinkaya E., Alptekin Ö. (2000b): "1 Ekim 1995 Dinar Depreminde Doğrusal Olmayan Zemin Davranışının İncelenmesi", Ulusal Jeofizik Toplantısı 2000 Genişletilmiş Özetler, 23-25 Kasım 2000, MTA, Ankara, s.157-160.
- Yalçinkaya E., Alptekin Ö. (2003a): "Dinar'da Zemin Büyütmesi ve 1 Ekim 1995 Depreminde Gözlenen Hasarla İlişkisi", Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri , 27, 1-13.
- Yalçinkaya E., Alptekin Ö. (2003b): "Basen İçi Yüzey Dalgalarının Zemin Büyütmesine Etkisi", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, Bildiriler CD, 9 sayfa.
- Yalçinkaya E. (2004): "Bir Boyutlu Modeller İçin Zemin Büyütmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi", İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi (baskıda).
- Yaltırak C., Alpar B. (2002): "Evolution of the Middle Strand of North Anatolian Fault and Shallow Seismic Investigation of The Southeastern Marmara Sea (Gemlik Bay)", Marine Geology, 190, 307-327.