



Investigation of Soil Properties based on Accelerometer Stations using Earthquake Recording: The Case Study of Hatay, Turkey

Sukran Perk¹ and Caglar Ozer¹

¹ Ataturk University, Earthquake Research Center, Palandoken 25070, Erzurum
ORCID: 0000-0003-2229-9632, 0000-0001-5401-2013

Keywords

HVSR, fundamental soil frequency, earthquake, accelerometer, Hatay

Highlights

- * Fundamental soil frequency is computed in Hatay city by using HVSR method
- * Earthquake acceleration data have been used to reveal soil characteristics
- * It is observed that the HVSR amplifications of Hatay and its vicinity range between 2 and 8

Acknowledgements

The data is provided from Disaster and Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department. All images are created using GMT (Wessel et al. 2013)

Aim

In this study, it is aimed to investigate the soil properties of accelerometer stations in Hatay and near surroundings

Location

Hatay and near surroundings

Methods

The earthquake-soil behaviour characteristics of Hatay and its surroundings were investigated by the Horizontal/Vertical Spectral Ratio (HVSR) method using earthquake data

Results

The soil amplification values reach to 8 at between Iskenderun-Dortyol and Yakacik region. The soil amplification of Hatay and surroundings vary between 4-5

Supporting Institutions

Calculations were conducted in the Seismological Laboratory of the Earthquake Research Centre of Ataturk University, Erzurum

Manuscript

Research Article

Received: 28.11.2019

Revised: 06.12.2019

Accepted: 06.12.2019

Printed: 30.12.2019

DOI

doi.

Corresponding Author

Sukran Perk

Email: sukran.perk@atauni.edu.tr

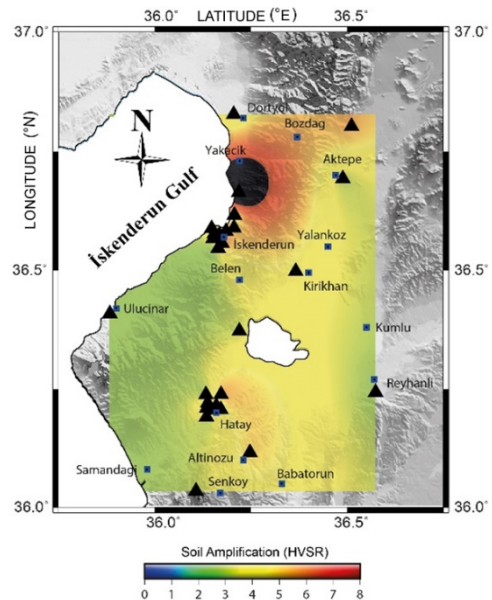


Figure
Soil Amplification of the study area

How to cite

Perk S., Ozer C., 2019. Investigation of Soil Properties based on Accelerometer Stations using Earthquake Recording: The Case Study of Hatay, Turkey, Turk. J. Earthq. Res. 1 (2), 167-179



İvme-Ölçer istasyonları altındaki Zemin Özelliklerinin Deprem Kaydı Kullanılarak İncelenmesi: Hatay Örneği, Türkiye

Şükran Perk¹ ve Çağlar Özer¹

¹ Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi, Palandöken 25070, Erzurum
ORCID: 0000-0003-2229-9632, 0000-0001-5401-2013

ÖZET

Hatay ili ve yakın çevresinde farklı zemin türleri üzerinde yer alan 27 adet ivme-ölçer tarafından kaydedilen deprem verisi yardımıyla Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR) yöntemi kullanılarak çalışma alanının deprem-zemin ortak davranış özellikleri araştırılmıştır. Hatay ve yakın çevresinin HVSR büyütme değerlerinin 2-8 arasında değiştiği gözlenmektedir. İskenderun ve Dörtöl arasında, Yakacık ve yakın çevresinde zemin büyütme değerleri 8'e kadar ulaşmaktadır. Hatay ve çevresinde ise 4 ile 5 arasında değişmektedir. Farklı frekanslarda; 0.5 Hz'de büyütme değerleri 1.5-3.0 arasında değişmektedir. Bu frekanstaki en büyük etki yaklaşık 3 HVSR büyütmesi ile İskenderun sahil kesimindedir. 1.0 Hz'de Hatay merkezde büyütme değerleri 5-6 arasında, Kırıkhan, Aktepe ve İskenderun sahil kesiminde 3 civarındadır. 2.5 Hz'de Aktepe ve kuzeyinde gözlenen büyütme değerleri ise ~6'ya kadar ulaşmaktadır.

Anahtar kelimeler

HVSR, zemin hâkim frekansı, deprem, ivme-ölçer, Hatay

Öne Çıkanlar

- * HVSR yöntemi kullanılarak Hatay kentinin zemin hâkim frekansı hesaplanmıştır
- * Zemin özelliklerini ortaya koymak için deprem ivme verileri kullanılmıştır
- * Hatay ve yakın çevresinin HVSR büyütme değerlerinin 2-8 arasında değiştiği gözlenmiştir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 28.11.2019
Düzeltilme: 06.12.2019
Kabul: 06.12.2019
Basım: 30.12.2019

DOI

doi.

Sorumlu yazar

Şükran Perk
Eposta:
sukran.perk@atauni.edu.tr

Investigation of Soil Properties based on Accelerometer Stations using Earthquake Recording: The Case Study of Hatay, Turkey

Sukran Perk¹ and Çağlar Özer¹

¹ Atatürk University, Earthquake Research Center, Palandoken 25070, Erzurum
ORCID: 0000-0003-2229-9632, 0000-0001-5401-2013

ABSTRACT

The earthquake-soil behaviour characteristics of the study area were investigated by using Horizontal/Vertical Spectral Ratio (HVSR) method with earthquake data recorded by 27 accelerometers in Hatay and near surroundings. It is observed that soil amplification values of Hatay and its vicinity vary from 2 to 8. The soil amplification values reach to 8 at between İskenderun-Dörtöl and Yakacık region. The soil amplification of Hatay and surroundings vary between 4-5. At 0.5 Hz, amplification values range from 1.5 to 3.0. The largest effect is in the coastal area of İskenderun with ~3 HVSR amplification at 0.5 Hz. Amplification in city centre at 1.0 Hz is 5-6, at Kırıkhan, Aktepe and İskenderun coast, it is ~3. At 2.5 Hz, at Aktepe and its North, it reaches ~ 6.

Keywords

HVSR, fundamental soil frequency, earthquake, accelerometer, Hatay

Highlights

- * Fundamental soil frequency is computed in Hatay city by using HVSR method
- * Earthquake acceleration data have been used to reveal soil characteristics
- * It is observed that the HVSR amplifications of Hatay and its vicinity range between 2 and 8

Manuscript

Research Article

Received: 28.11.2019
Revised: 06.12.2019
Accepted: 06.12.2019
Printed: 30.12.2019

DOI

doi.

Corresponding Author

Sukran Perk
Email:
sukran.perk@atauni.edu.tr

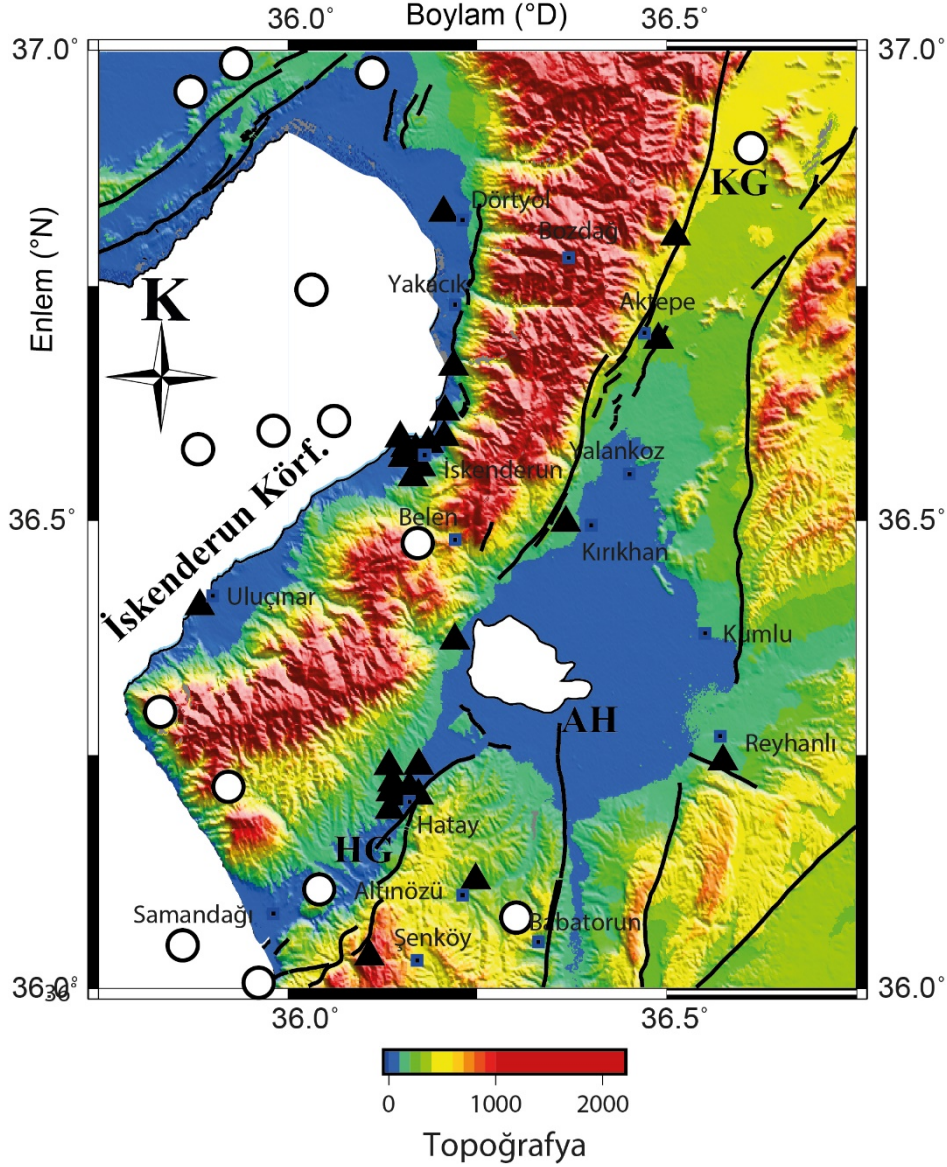
1. GİRİŞ

Hatay, Doğu Akdeniz Bölgesi'nin en doğu ucunda yer almakta olup Antakya ile Kahramanmaraş illeri arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Samandağ'dan Antakya'ya uzanan bölgede Hatay Grabeni (HG) yer almaktadır. Karasu Grabeni (KG), Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) güneyine kadar uzanmaktadır. Amanos ve Hacipaşa Fayı, Ölüdeniz Fay Zonu'nun (ÖDFZ) kuzey kolunu oluşturmaktadır (Tari ve diğ. 2013). Sol yanal bileşenli normal karakterde olan bu faylar, Karasu Grabeni'ni (KG) sınırlamaktadır. Över ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada Hatay bölgesinde meydana gelen depremlerin analizi yapılmış ve odak mekanizmasının doğrultu atım bileşenine sahip normal faylanmaya sahip olduğu belirlenmiştir. Hatay Grabeninin kuzeydoğusunda ise çek-ayır (pull-apart) havzası olan Amik Havza'sı (AH) bulunmaktadır (Şekil 1). Bu havzanın üçlü birleşim noktası (Amanos Fayı, Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs-Antakya Transformu) olduğu bilinmektedir.

Hatay bölgesi, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yayınlanan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre yaklaşık 0.4-0.5 g yer ivme değerine sahip bir bölgedir (AFAD 2018). Tarihsel ve aletsel dönemde bölgede, büyük can ve mal kayıplarına yol açan birçok deprem meydana gelmiştir. Bu bölgede, 22 Ocak 1997 yılında saat 17:57,18:24 ve 18:27'de, büyüklüğü sırasıyla $M_w=5.7$, $M_B=5.0$ ve 5.2 olan depremler meydana gelmiştir. Bu depremler önemli hasarlara neden olmuştur. Ayrıca, yakın zamanda; 15 Kasım 2010 tarihinde İskenderun Körfezi merkezli $M_1=5.1$ olan orta şiddette bir deprem meydana gelmiştir. Deprem özellikle Hatay'da kuvvetlice hissedilmiştir.

Çalışılan alanının sismotektonik yapısı birçok araştırmacı tarafından analiz edilmiştir. Yapılan bu araştırmalar deprem tehlikesi bakımından, Hatay ili ve çevresine çok büyük katkılar sağlamıştır. Ergin ve diğ. (2004) tarafından bölgenin bir boyutlu hız yapısı incelenmiş ve Amanos Fayı'nın kuzeyinde herhangi bir sismik aktivite rastlanmazken, güneyinde ise doğrultu atımlı olayların olduğu gözlemlenmiştir. Luccio ve Pasyanos (2007) tarafından yapılan sismik tomografi çalışmasında ise, Hatay bölgesinde kabuk kalınlığı güneyden kuzeye doğru artmakta (~35-41 km) olup kayma dalga hızı alt kabukta ~4 km/s kadar ulaşmaktadır. Buyuksarac ve diğ. (2014), ivme verilerinden yararlanarak kayma hızını elde etmişlerdir. Farklı derinliklerdeki sismik hızı 0-5 m için, 380 ve 470 m/s, 5-15 m için 320 ve 480 m/s, 15-25 m için ise 470 ve 750 m/s bulunmuştur. Abgarmi ve diğ. (2017), alıcı fonksiyon analiz yöntemi ile bölgede S-dalgası sismik hız yapısını ve hız süreksizliklerini araştırmıştır. Kabuk kalınlığının 30-35 km arasında ve V_p/V_s oranının 1.85-1.90 arasında değiştiği görülmüştür. Salah ve Sahin (2019), 41 adet sismik istasyonda kaydedilen yerel depremleri kullanarak bölgede tomografi çalışması yapmıştır. Bu çalışmaya göre, ofiyolit birimlerde yüksek V_p/V_s oranı elde edilmiştir. Salah (2019), Doğu Akdeniz, Lübnan'ın kuzeyi ve Suriye'nin kuzeybatısını içine alan bir sismik tomografi çalışması yapmıştır. Çalışma sonucunda Hatay'da bulunan Kızıldağ ofiyolitlerinde düşük hız yapısı ve yüksek poisson oranı elde etmiştir. Ozer (2019) yerel deprem tomografi yöntemi ile bölgenin sismik hızını elde etmiştir. Bu çalışmaya göre, kabuk kalınlığı yaklaşık 35 km bulunmuş, bölgedeki V_p/V_s oranının 1.75-1.85 arasında değişmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada Hatay ili ve yakın çevresinde, mühendislik sismolojisi çalışmalarında önemli rol oynayan yerin davranış özellikleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Daire Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi gözlem ağına ait ivme-ölçer istasyonlarında kaydedilen deprem kaydı kullanılarak Yatay/Düşey spektral oran yöntemi (HVSr) ile araştırılmıştır. Bu motivasyon ile ivme-ölçer istasyonlarının altındaki zemin özelliklerinin incelenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1: Hatay ve yakın çevresinin sismotektonik haritası. Beyaz daireler, son 20 yılda meydana gelen depremleri ($M_w > 4.0$) göstermektedir (AFAD, 2019). Siyah üçgenler ise bu çalışmada kullanılan istasyonları simgelemektedir. HG: Hatay Grabeni, AH: Amik Havzası, KG: Karasu Grabeni

2. JEOLJİ VE TEKTONİK

Doğu Akdeniz bölgesi, Afrika-Arabistan plakasının kuzeydoğu kenarı boyunca oluşmuş Neo-Tetis okyanusunun bir kalıntısıdır (Ben-Avraham ve Ginzburg 1990). Bu bölge, uzun dönem yığılma, dalma-batma olayları ve Mezozoik dönemde Neo-Tetis okyanusunun kapanmasıyla şekillenmiştir. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin evriminde dalma-batma, faylanma ve tektonik kaçış olayları önemli rol oynamıştır. Hatay Bölgesinin jeolojisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Boulton ve Robertson 2007, Rojay ve diğ. 2001). Yapılan çalışmaların sonucuna göre, bölgenin stratigrafisi, fay geometrisi ve kinematiki çeşitlilik göstermiştir. Hatay'ın Güneydoğusunda bulunan ve kuzeydoğu uzanımlı bir çöküntü alanı olan Antakya Grabeni Samandağ'dan Antakya'ya kadar uzanmaktadır. Antakya Grabeni'nde Pliyosen-Kuvaterner yaşlı çökeller hâkimdir. Amik Ovası, kuzeydoğu-güneybatı yönelimli açılma rejimi etkisiyle oluşmuştur. Grabende bulunan Pliyosen sedimanlar içinde, Eosen ve Miyosen kireçtaşları, ofiyolit parçaları gözlenmektedir (Tari ve diğ. 2013). Ofiyolit kayalar ayrıca Amanos Dağları

boyunca da uzanmaktadır. Kızıldağ ofiyolitleri ise peridotit, gabro ve volkanik kayaları barındırmaktadır (Tekeli ve Erendil 1986). İnceleme alanında bulunan Pliyosen sedimanları, kumtaşı, kireçtaşı içermekte iken, Kuvaterner sedimanlarda alüvyon ve plaj kumu bulunmaktadır (Piskin ve diğ. 1986). Kızıldağ ofiyoliti, Kretase yaşlı okyanus litosferin en iyi korunan kalıntısıdır. Antakya Grabeni'nin güneybatısında bulunan deniz çökelleri; kum ve çakılları içermektedir. Samandağ alanında ise kumtaşı, çakıltası ve siltaşı açısından zengindir (Tari ve diğ. 2013).

Doğu Akdeniz Bölgesi, Afrika-Avrasya ve Arabistan-Avrasya plakası çarpışma bölgelerinin büyük bir bölümünü içermektedir. Alp-Himalaya orojenik kuşağının en karmaşık tektonik bölgelerinden biri olan bu bölgede; DAFZ, ÖDFZ, Bitlis Sütür Zonu (BSZ) ve Kıbrıs Yayı (KY) bulunmaktadır. DAFZ, sol yanal doğrultu atımlı ve yaklaşık 500 km uzunluğunda bir fay zonudur. Mc Kenzie (1972) ve Jackson ve McKenzie (1984) tarafından yapılan çalışmalara göre DAFZ; ÖDFZ ile bağlantısı olmadan, Karlıova'dan başlayıp güneyde Amanos Fayı boyunca, Osmaniye ve İskenderun Körfezi'nden Kıbrıs'ın kuzeyine uzanmaktadır. Perincek ve Cemen (1990) tarafından yapılan çalışmada ise Amanos Fayı'nın, Doğu Anadolu Fay sistemi içerisinde ve bu sistemin en güney segmenti olduğu belirtilmiştir. Over ve diğ. (2004) ve Alp ve diğ. (2011), Antakya üçlü birleşim noktası (Kıbrıs-Antakya Transformu, Amanos Fayı ve Ölü Deniz Fayı)'nı tanımlamışlardır. Bu bölgede, tarih boyunca ağır hasar yaratan büyük depremler meydana gelmiş ve halen deprem aktivitesi devam etmektedir. Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), güneyde Ölü Denizden, kuzeyde Antakya'ya kadar uzanmakta olup, yaklaşık 1000 km uzunluğundadır. ÖDFZ, Arabistan ve Afrika levhasını birbirinden ayıran doğrultu atımlı bir fay türüdür.

3. YÖNTEM VE VERİ

Mühendislik yapılarının tasarım ve yapım aşamalarında yerin fiziksel ve jeolojik yapısı iyi incelenmelidir. Yerel zemin davranışının belirlenmesi çalışmalarında tek istasyon yöntemi uygulaması, Nakamura (1989) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde; mikrotremorlar, yarı sonsuz ortam üzerinde olan tek tabakalı ortamda Rayleigh dalgalarının yayılması ile tanımlanmıştır. Ayrıca, derinden gelen mikrotremorlar ihmal edilip, yüzeyden ve yüzeye yakın noktalardan gelen titreşimler dikkate alınmaktadır. Mikroseismlerin periyotları 1-2 s'den uzun olan yer titreşimleri olarak tanımlanırken mikrotremorlar periyotları 1-2 s'den kısa olan titreşimler olarak tanımlanır. Mikrotremorların kaynakları birbirinden farklıdır. Bunlar; atmosferik olaylar, deniz ve okyanustaki akımlar mikroseismlerin kaynağını oluştururken, mikrotremorların kaynakları ise trafik ve endüstriyel gürültüler olarak tanımlanabilir (Longuet-Higgins 1950, Hasselmann 1963, Bonnefoy-Claudet ve diğ. 2006).

Nakamura (1989)'ya göre; frekans ortamında yüzeydeki ve temel üzerindeki hareketin yatay ve düşey genlik spektrumlarının bilinmesi gerekmektedir. S-dalgası transfer fonksiyonu ile ölçülen hareketin yatay ve düşey bileşenlerine ait genlik spektrumlarının oranı (Spectral Ratio, Horizontal to Vertical, H/V) ilişkilidir. Böylelikle zemin hâkim periyodu hesaplanabilir. Özellikle ortamın S dalga hızları biliniyorsa yatay ve düşey spektral oran eğrilerinin ters çözümü ile S dalga hız yapısı bulunabilir (Satoh ve diğ. 2001, Fah ve diğ. 2003, Arai ve Tokimatsu 2005, Parolai 2005).

Nakamura (1989); yüzeydeki hareketin yatay ve düşey bileşenini H_s ve V_s olarak tanımlarken, temelin yatay ve düşey bileşenini H_d ve V_d olarak tanımlamaktadır. Frekansın bir fonksiyonu olarak mikrotremor hareketi şöyle tanımlanır;

$$A(\omega) = V_s(\omega)/V_d(\omega) \quad (1)$$

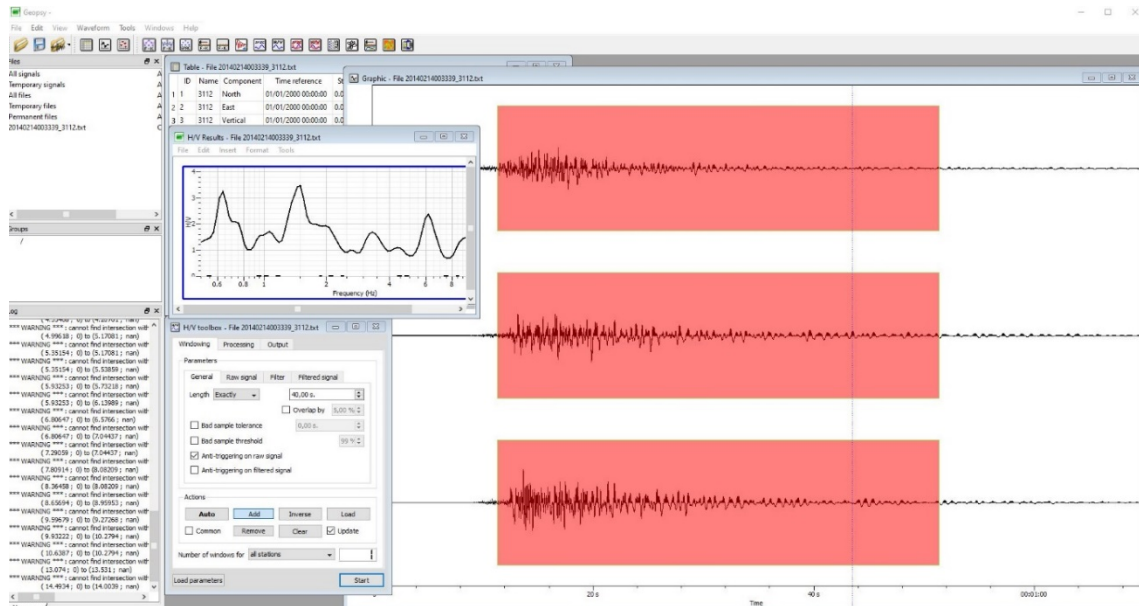
Yer etkisi ise yüzey ve temeldeki yatay bileşenlerin oranı olarak tanımlanır:

$$S(\omega) = H_s(\omega)/H_d(\omega) \quad (2)$$

$\frac{Vd(\omega)}{Hd(\omega)} = 1$ olduğu için transfer fonksiyonu şöyle tanımlanır:

$$TF(\omega) = Hs(\omega)/Vs(\omega) \quad (3)$$

Nakamura yöntemi ile zemin dinamiği, kaynak ve yol etkisi en aza indirgenerek bulunur. Zemin dinamiğinin analiz edilmesi, deprem zararlarının azaltılması için yapılan çalışmalarda önemli rol oynar. Langston (1977) tarafından öne sürülen ve birçok araştırmacı tarafından kullanılan (Lermo ve Chavez-Garcia 1994, Lachet ve diğ. 1996, Bonilla ve diğ. 1997, Gok ve diğ. 2014, Pamuk 2019) ivme-ölçer istasyonlarındaki deprem kayıtları kullanılarak özellikle S-dalga genliklerinin 2-3 saniye öncesinden başlamak kaydıyla tüm deprem genliğini içine alacak şekilde pencereleme işlemi ile ilgili istasyonun altındaki zemin özellikleri incelenmiştir. (Şekil 2).

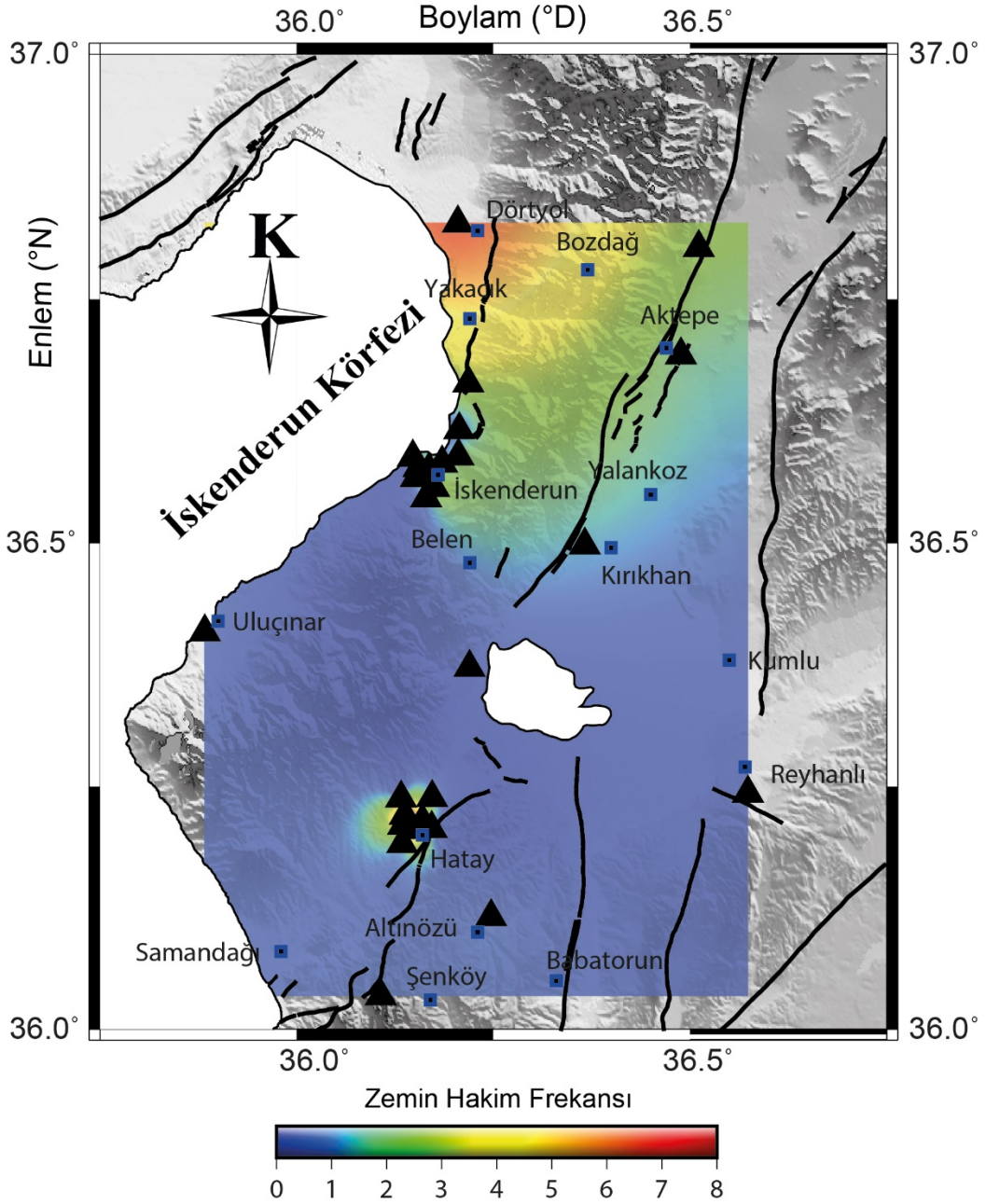


Şekil 2: GEOPSY programı ile deprem kayıtlarından veri analizine bir örnek

Bu çalışmada, AFAD Deprem Daire Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağına ait 27 ivme-ölçer istasyonu tarafından kaydedilen 14 Şubat 2014 tarihinde meydana gelen 4.5 büyüklüğündeki deprem verisi kullanılmıştır. Üç bileşenli (K-G, D-B ve Z) deprem kayıtları 100 Hz ile sayısallaştırıldıktan sonra üç bileşenin genlik spektrumları hızlı Fourier dönüşümü (FFT) algoritması kullanılarak hesaplanmış ve salınımların etkisini gidermek amacıyla Konno ve Ohmachi filtresi uygulanmıştır. Son aşamada ise yatay bileşenlerin genlik spektrumlarının düşey bileşen genlik spektrumuna oranlanması ile H/V grafikleri elde edilmiştir.

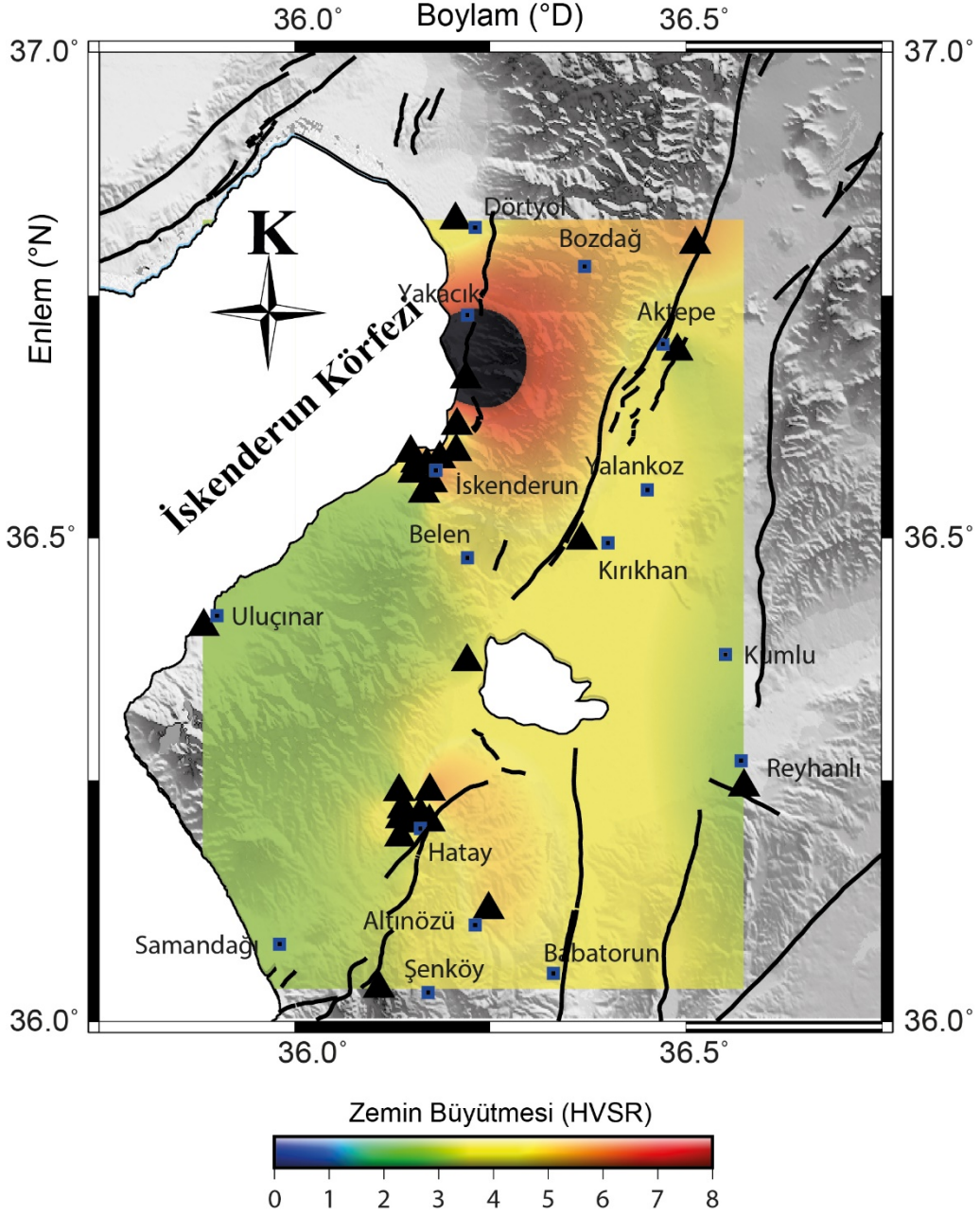
4. BULGULAR

Hatay ve yakın çevresinin zemin hâkim frekansı haritası incelendiğinde, hâkim frekans değerlerinin 0.5 Hz ile 8 Hz arasında değiştiği gözlenmektedir. Belirgin olarak gözlenen 2 anomali bulunmaktadır. İvmeölçer istasyonların yoğun olarak konumlandığı Hatay şehir merkezinde zemin hâkim frekansı değerleri 2-4 Hz arasında değişmektedir. Diğer önemli anomali çalışma alanının kuzeyinde Dört Yol-Yakacık-Bozdağ arasında kalan alandaki frekans değerleridir. Bu alanda hâkim frekans değerleri 4-7.5 Hz arasındadır. Bu anomalilerin dışında bölgedeki hâkim frekans değerleri 0.5 Hz ile 1.25 Hz arasında değişmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: Zemin hâkim frekans dağılım haritası

Hatay ve yakın çevresinin zemin büyütme (HVSZ) haritası incelendiğinde, büyütme değerlerinin 2 ile 8 arasında değiştiği gözlenmektedir. İskenderun ve Dört Yol arasında kalan alanda özellikle Yakacık ve yakın çevresinde zemin büyütme değerleri 8'e kadar ulaşmaktadır. Çalışma alanının Batı kesiminde bulunan Uluçınar ve çevresinde büyütme değerleri ~2-3 arasındadır. Hatay ve çevresinde zemin büyütme değerleri 4 ile 5 arasında değişmektedir (Şekil 4).



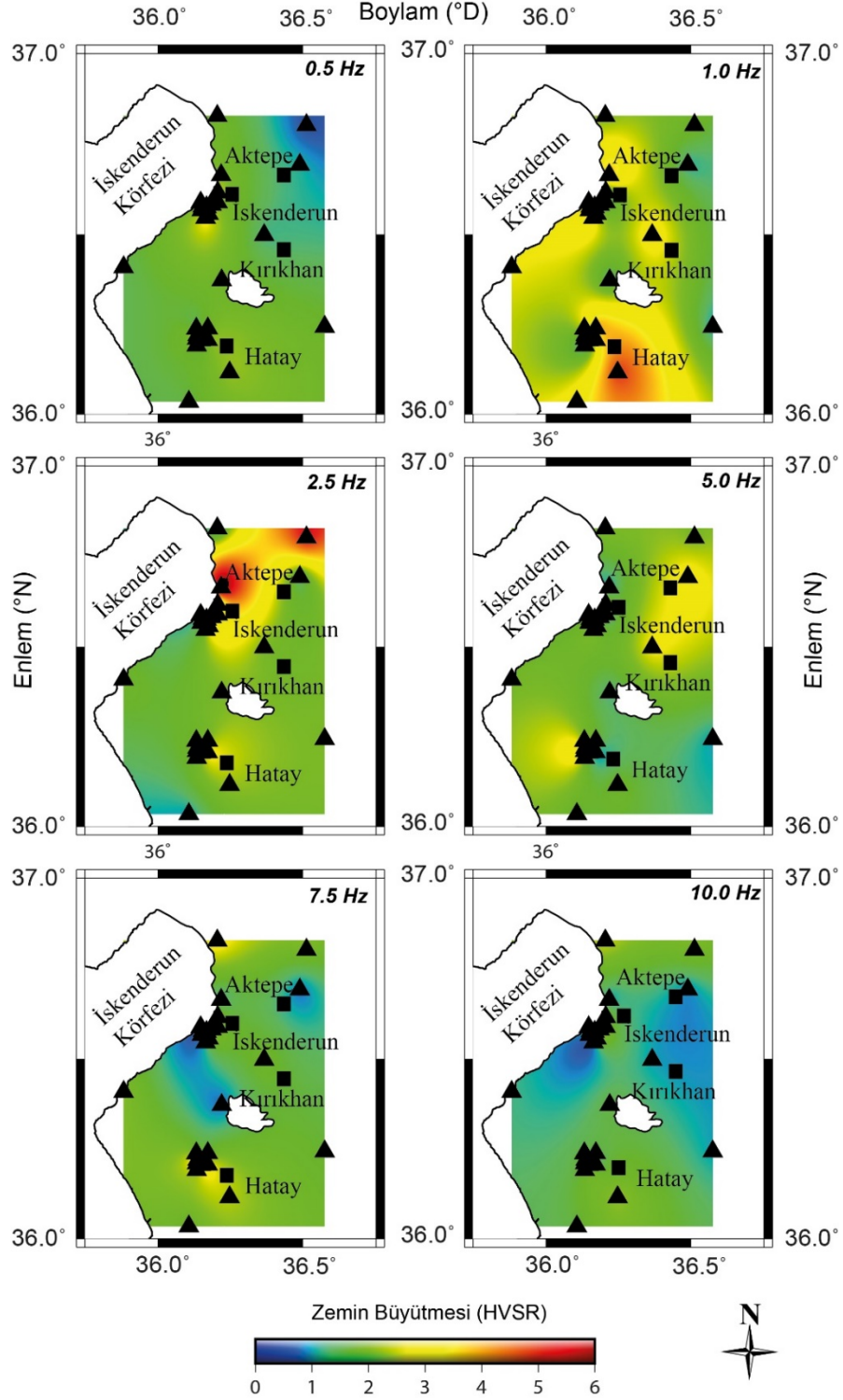
Şekil 4: Zemin Büyütme (HVSR) dağılım haritası

Farklı frekanslardaki zemin büyütmelerinin analiz edilebilmesi için 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 Hz'de zemin büyütme değerleri ayrı ayrı ele alınmıştır (Şekil 5). Düşük frekanslardaki büyütme yüksek katlı yapıları etkileyecek iken, yüksek frekanslardaki büyütme düşük katlı yapılarda rezonans etkisi yaratabilecektir. Örneğin 0.5 Hz'deki bir büyütme ~20 katlı yapıda rezonans etkisi yapacak iken, 10 Hz'de bu etki ~1 katlı yapıda olacaktır. Dolayısıyla zemine özel yapılaşma çok önemlidir. 0.5 Hz'de büyütme değerleri 1.5-3.0 arasında değişmektedir. Bu frekanstaki en büyük etki yaklaşık ~3 HVSR büyütmesi İskenderun sahil kesimindedir. 1.0 Hz'de özellikle Hatay şehir merkezinde büyütme değerleri 5-6 arasında değişmektedir. Ayrıca Kırıkhan ve K-G doğrultuda Aktepe ve İskenderun sahil kesiminde zemin büyütme 3 civarındadır. 2.5 Hz'de Aktepe ve Kuzeyinde önemli zemin büyütme gözlenmiştir. Bu frekansta gözlenen zemin büyütme ~6'ya kadar ulaşmaktadır. 5.0 Hz'de Hatay'ın batısı ve Kırıkhan-Aktepe arasında KD-GB yönlü gözlenen anomalide zemin büyütme ~3.5'e kadar artabileceği gözlenmiştir. 7.5 Hz ve 10 Hz' de sonuçlar benzer olup önemli bir zemin

büyütmesi gözlenmemiştir (Tablo 1). Düşük frekanslardaki yüksek büyütme, İskenderun sahil kesiminde, Hatay şehir merkezinde ve Aktepe bölgesinde tespit edilmiştir. Özellikle Hatay ve çevresinde, Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller bulunmaktadır ve bu çökeller Amik Ovası'na doğru uzanmaktadır (Ateş ve diğ. 2004). Bu alanlarda yapılaşmaya gidilirken sahaya özel zemin yapısı ortaya konulmalı ve zemin hakim frekans değerleri belirlenerek rezonans etkisinden kaçınılmalıdır.

Tablo 1. İvme-ölçer istasyonlarında hesaplanan zemin büyütme (HVSZ) ve hâkim frekans değerleri. Tablonun sağ kısmında farklı frekanslara ait (0.5 Hz, 1.0 Hz, 2.5 Hz, 5.0 Hz, 7.5 Hz ve 10 Hz) zemin büyütme değerleri sunulmaktadır.

İstasyon Kodu	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Hakim Frekans	HVSZ Büyütme	0.5 Hz	1.0 Hz	2.5 Hz	5.0 Hz	7.5 Hz	10.0 Hz
3112	36.58801	36.14766	0.7	4.2	2.1	1.1	0.9	0.9	0.8	1.7
3113	36.57752	36.15496	0.6	7.8	3.9	0.7	2.0	2.1	1.8	2.1
3114	36.56704	36.15135	1.0	3.6	2.1	3.6	1.8	2.2	1.0	1.1
3115	36.54634	36.16459	1.0	3.0	3.1	3.0	2.0	2.0	1.2	0.9
3116	36.61618	36.20661	0.6	4.1	2.6	1.4	1.5	2.1	2.0	2.0
3117	36.55712	36.17471	3.0	6.0	2.2	1.7	3.8	1.6	1.9	2.0
3118	36.58211	36.18491	0.6	6.0	3.0	3.8	2.1	2.2	2.8	3.1
3119	36.57527	36.16811	4.1	4.0	3.0	1.0	2.0	1.6	2.0	3.0
3120	36.58924	36.20568	2.1	5.0	2.0	1.1	3.0	1.0	1.8	1.9
3121	36.66408	36.21825	3.0	12.0	2.0	4.0	7.0	1.0	1.1	1.0
3122	36.03430	36.10700	1.0	3.1	1.5	3.1	1.0	1.6	1.7	1.5
3123	36.21423	36.15973	4.5	2.6	1.0	1.1	2.0	2.1	1.5	0.8
3124	36.23870	36.17220	1.4	5.8	1.9	4.0	2.0	1.8	1.7	1.5
3125	36.23808	36.13264	0.9	2.6	1.4	2.5	1.8	2.0	1.9	1.5
3126	36.22020	36.13750	8.0	4.1	3.5	2.0	2.0	2.9	2.8	2.0
3127	36.21000	36.13530	5.2	6.0	2.2	1.4	2.0	5.2	4.0	1.8
3128	36.20560	36.14710	7.3	4.1	1.5	1.2	1.8	2.0	3.9	3.3
3129	36.19117	36.13430	1.4	3.0	1.6	1.0	1.8	2.2	2.2	1.7
3132	36.20673	36.17159	0.9	4.1	2.2	3.0	3.0	1.0	2.9	1.3
3133	36.24320	36.57360	0.6	2.6	1.7	1.0	2.0	1.0	1.6	1.0
3134	36.82763	36.20485	7.2	3.1	1.8	2.0	1.0	2.1	3.0	2.5
3135	36.40886	35.88310	0.9	2.7	1.4	2.7	1.8	1.9	2.1	1.2
3136	36.11593	36.24722	1.0	5.0	2.2	5.0	2.2	1.8	2.4	2.2
3137	36.69293	36.48852	1.7	3.0	1.1	1.1	1.3	3.0	0.8	0.9
3138	36.80262	36.51119	2.3	5.7	0.6	1.8	5.6	2.0	2.0	2.0
3141	36.37260	36.21973	0.6	3.2	1.8	1.2	2.0	1.2	0.8	1.5
3142	36.49797	36.36612	1.3	4.3	1.2	3.1	2.0	2.8	1.8	1.0



Şekil 5: HVSR yöntemine göre istasyonlardaki büyütme değerlerinin frekanslara göre değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada AFAD Deprem Daire Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağına ait 27 kuvvetli yer hareketi kayıtçısı ile kayıt edilen 1 adet deprem verisi kullanılarak Hatay ve yakın çevresindeki istasyonların altındaki deprem-zemin ortak davranış özellikleri, HVSR yöntemiyle araştırılmıştır. Alüvyon gibi gevşek birimlerde düşük frekanslarda yüksek büyütme gözlenirken, kaya zeminlerde daha yüksek frekanslarda büyütme gözlemlenmiştir. AFAD

tarafından 2018 yılında güncellenen ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na (AFAD, 2018) göre 475 yıllık tekrarlama periyodunda en büyük yer ivmesinin 0.5 g'den büyük olduğu rapor edilmiştir. Bu motivasyonla yeni yerleşime açılacak alanlarda ve mevcut kentsel dönüşüm alanlarında zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesi Hatay ve yakın çevresi için çok önemlidir. Elde edilen sonuçlar belli frekans aralıklarında önemli zemin büyütmelerinin olabileceği tespit edilmiş olup, çalışma alanında zemine özel dinamik tasarım yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ilksel sonuçları içermekte olup, daha fazla istasyon ve deprem kaydı ile daha geniş bir alanda ileri araştırmalar zemin davranışlarını araştırmak amacıyla yapılacaktır.

TEŞEKKÜR

HVSR hesaplamalarında GEOPSY (SESAME 2004) algoritması kullanılmıştır. Bazı şekiller GMT programı (Wessel ve diğ. 2013) kullanılarak hazırlanmıştır. Fay verileri MTA çizim editöründen sayısallaştırılmıştır (Emre ve diğ. 2013, Emre ve diğ. 2018). Yazarlar, bu araştırmaya veri desteği sağlayan T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Daire Başkanlığına ve bilgisayar altyapısı kullanılan Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezine (ATA-DAM) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Abgarmi B., Delph J.R., Ozacar A.A., Beck S. L., Zandt G., Sandvol E., Turkelli N., Biryol C.B., 2017. Structure of the Crust and African Slab Beneath the Central Anatolian Plateau from Receiver Functions: New Insights on Isostatic Compensation and Slab Dynamics, *Geosphere* 13 (6), 1774-1787.

AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>

AFAD, 2019. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (TR-KYH), Ankara. Erişim adresi: http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php

Alp H., Albora A.M., Tur H., 2011. A view of tectonic structure and gravity anomalies of Hatay Region Southern Turkey using wavelet analysis, *Journal of Applied Geophysics* 75 (3), 498-505.

Arai H., Tokimatsu K., 2005. S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum, *Bulletin of the Seismological Society of America* 95 (5), pp. 1766–1778, doi: 10.1785/0120040243.

Ateş S., Keçer M., Osmançelebioğlu R., Kahraman S., 2004. Antakya (Hatay) II Merkezi ve Çevresinin Yerbilim Verileri, *Ankara: MTA. Enst. Jeoloji Etutleri Dairesi Derleme Raporu* No: 10717.

Ben-Avraham Z., Ginzburg A., 1990. Displaced terranes and crustal evolution of the Levant and the eastern Mediterranean, *Tectonics* 9, 613-622.

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 estimation using S-wave, coda, and H/V methods, *Bulletin of the Seismological Society of America* 87, 710-730.

Bonnefoy-Claudet S., Cornou C., Bard P.Y., Cotton F., Mocazo P., Kistek J., Fah D., 2006. H/V Ratio: A Tool for Site Effects Evaluation. Results from 1-D Noise Simulations, *Geophysical Journal International* 167, 827-837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03154.x>

- Boulton S.J., Robertson A.H. F., 2007. The Miocene of the Hatay area, S Turkey: transition from the Arabian passive margin to an underfilled foreland basin related to closure of the Tethys Ocean, *Sedimentary Geology* Doi:10.1016/j.sedgeo.2006.12.001.
- Buyuksarac A., Over S., Genes M.C., Bikce M., Kacin S., Bektas O., 2014. Estimating shear wave velocity using acceleration data in Antakya (Turkey), *Eart Sci. Res. J.* 18 (2), 99 – 105.
- Emre O., Duman T. Y., Ozalp S., Elmaci H., Olgun S., Saroglu F., 2013. 1/1.250.000 scaled Turkey active fault map, General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication. Erişim adresi: <http://www.mta.gov.tr/> (last accessed June 2018)
- Emre O., Duman T. Y., Ozalp S., Saroglu F., Olgun S., Elmaci H., Can T., 2018. Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering* 16, 3229-3275.
- Ergin M., Aktar M., Eyidogan H., 2004. Present-Day Seismicity and Seismotectonics of the Cilician Basin: Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America* 94 (3): 930-939. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1785/0120020153>
- Fah D., Kind F., Giardini D., 2003. Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects, *Journal of Seismology*, 7 (4), pp 449–467.
- Gok E., Chavez-Garcia F.J., Polat O., 2014. Effect of soil conditions on predicted ground motion: Case study from Western Anatolia, Turkey, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 229, 88-97.
- Hasselmann K., 1963. A statistical analysis of the generation of micro-seisms, *Rev. Geophys.* 1, 177–209.
- Jackson J., McKenzie D., 1984. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between Western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal International* 77, 185- 264. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1984.tb01931.x>
- 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, *Bulletin of the Seismological Society of America* 86, 1692-1703.
- Langston C.A., 1977. Corvallis, Oregon, crustal and upper mantle receiver structure from teleseismic P and S waves, *Bulletin of the Seismological Society of America* 67, 713-724.
- Lermo J., Chavez-Garcia F.J., 1994. Are microtremor useful site response Evolution?, *Bulletin of Seismological Society of America* 84, 1350-1364.
- Longuet-Higgins M. S., 1950. A theory of the origin of microseisms, *Phil. Trans. R. Soc.* 243, 1–35.
- Luccio F.D., Pasyanos M.E., 2007. Crustal and upper-mantle structure in the Eastern Mediterranean from the analysis of surface wave dispersion curves, *Geophysical Journal International* 169 (3), 1139-1152.
- McKenzie D. P., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean region, *Royal Astronomical Society Geophysical Journal* 30 (2), pp. 109-185.
- Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.* 30 (1), 25–33.

Över S., Ünlügenç U. C., Özden S., 2001. Hatay bölgesinde etkin gerilme durumları, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri*, 23, 1–14.

Over S., Kavak K. S., Belliers O., Ozden S., 2004. Is the Amik Basin (SE Turkey) a triple-junction area? Analyses of SPOT XS imagery and seismicity, *Int. J. Remote Sensing* 25 (19), 1–17.

Ozer C., 2019. Determination of 3-D crustal seismic velocity structure beneath Hatay and surroundings, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34:4, 2215-2227.

Pamuk E., 2019. Investigation of the local site effects in the northern part of the eastern Anatolian region, Turkey, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 60 (4), pp. 549-568.

Parolai S., Picozzi M., Richwalski S.M., Milkereit C., 2005. Joint inversion of phase velocity dispersion and H/V ratio curves from seismic noise recordings using a genetic algorithm, considering higher modes, *Geophys. Res. Lett.* 32, L01303, doi 10.1029/2004GL021115.

Perincek D., Cemen I., 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey; *Tectonophysics* v.172 (3-4), p. 331-340.

Piskin O., Delaloye M., Selcuk H., Wagner J.J., 1986. Guide to Hatay geology (SE Turkey), *Ofioliti* 11, 87–104.

Rojay B., Heimann A., Toprak V., 2001. Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone Anatolia, Turkey: The transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone, *Geodinamica Acta* 14, 197–212.

Salah M. K., 2019. Seismological Evidence for Lithospheric Low-Velocity Anomalies beneath the Eastern Mediterranean: Impact of Tectonics, *Geotectonics* 53 (5), pp 617-633.

Salah M. K., Sahin S., 2019. 3D crustal velocity and VP/VS structures beneath Southeast Anatolia and their geodynamic implications, *Geofizicheskii Zhurnal (Geophysical Journal)* 41 (2). doi:10.24028/gzh.02033100.v41i2.2019.164460.

Satoh T., Kawase H., Iwata T. Higaski S., Sato T., Irikura K., Huang H.C., 2001. S-wave velocity structure of Taichung basin, Taiwan estimated from array and single-station records of microtremors, *Bull. Seism. Soc. Am.* 91, 1267–1282.

SESAME, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations: Measurements, Processing and Interpretation.
Erisim adresi: <http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23> (13.04.2018).

Tari U., Tuysuz O., Genc S.C., Imren C., Blackwell B.A.B., Lom N., Tekesin O., Uskulu S., Erel L., Altiock S., Beyhan M., 2013. The geology and morphology of the Antakya Graben between the Amik Triple Junction and the Cyprus Arc, *Geodinamica Acta* 26:1-2, 27-55, DOI: 10.1080/09853111.2013.858962.

Tekeli O., Erendil M., 1986. Geology and petrology of the Kizildag ophiolite (Hatay), *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 107, 21–37.

Wessel P., Smith W.H.F., Scharroo R., Luis J. F., Wobbe F., 2013. Generic Mapping Tools: Improved version released. EOS, *Transactions American Geophysical Union* 94, 409-410.