



Comparison of Acceleration Records Measured at Different Depths

Erkan Ates¹ and Osman Uyanik¹

¹ Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Earthquake Department, 06800 Ankara, Türkiye

² Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, 32260 Isparta, Türkiye

ORCID: 0000-0002-5646-9778, 0000-0002-7089-4340

Keywords

Earthquake, Accelerometer, Surface-well, Ground amplification

Highlights

- * Positioning accelerometers in the well and on the surface
- * Comparing the data of accelerometers in the well and on the surface
- * Determination the amplification on the surface

Aim

It is investigated the depth dependent PGA variation, ground amplification and ground dominant frequency by comparing accelerometers at different depths

Location

This study has implemented in a seismometer station in Balıkesir

Methods

Standard Spectral Ratio, Fourier spectrum, Data processing methods

Results

In the same geological unit, the acceleration value is greater at the surface. Surface device has magnified more in 4.7 Hz compared to the well device

Supporting Institutions

The authors declared that this study has used AFAD data

Financial Disclosure

The authors declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 25.07.2023

Revised: 12.09.2023

Accepted: 23.09.2023

Printed: 30.12.2023

DOI

10.46464/tdad.1332698



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Erkan Ates

Email: erkan.ates@afad.gov.tr

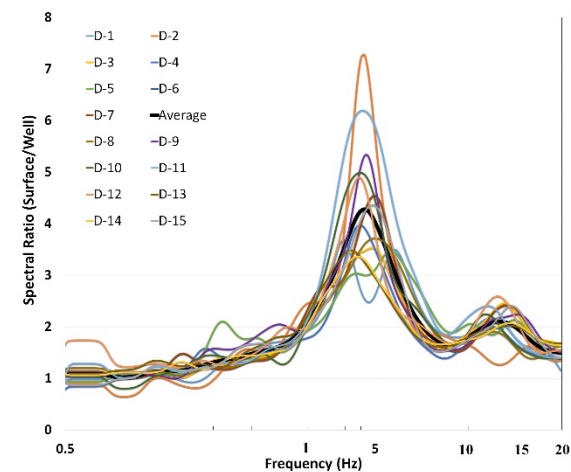


Figure
Variation of the spectral ratio curves of the East-West components of 15 different earthquakes

How to cite:

Ates E., Uyanik O., 2023. Comparison of Acceleration Records Measured at Different Depths, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(2), 215-232, <https://doi.org/10.46464/tdad.1332698>



Farklı Derinliklerde Ölçülen İvme Kayıtlarının Karşılaştırılması

Erkan Ateş¹ ve Osman Uyanık²

¹ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Deprem Dairesi Başkanlığı, 06800 Ankara, Türkiye
² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5646-9778, 0000-0002-7089-4340

ÖZET

Depremın ivmesi, deprem kaynağı, deprem-istasyon arası özellikler ve yerel zemin koşullarından etkilenmektedir. Dolayısıyla yerin kaya ya da gevşek zemin olması, zeminin kalınlığı ve türü ivme kayıtlarının fiziksel özelliklerini etkiler. Bu amaç ile AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından farklı derinlikte iki ivmeölçer istasyonu kurulmuştur. Bu çalışmada konumu aynı olan istasyonda biri yüzeyde diğeri 100 m derinde iki ivmeölçer cihazdan elde edilen ivme kayıtları kullanılmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kuyuda bulunan cihazların pik ivme değerinin yüzeydeki cihazlara göre daha düşük olduğu ve yakın depremlerde yüzeydeki cihazın kayıtlarında yüksek frekansların bulunduğu görülmüştür. 15 adet depremin ortalaması incelendiğinde doğu-batı bileşeninde 4.6 Hz, kuzey-güney bileşeninde 5.7 Hz ve düşey bileşeninde 9.46 Hz'de büyütme gözükmetedir. İstasyonlar her ne kadar kaya ortamda kurulmuş olsa da yüzey istasyonunda kuyu istasyonuna oranla büyütme görülmektedir. Bu nedenle özellikle büyütme analizlerinde yüzey ve derin kuyuda bulunan cihazların birlikte kullanılması daha doğru sonuçlar verecektir.

Anahtar kelimeler

Deprem, İvmeölçer, Yüzey-kuyu, Zemin büyütmesi

Öne Çıkanlar

- * Derinkuyu ve yüzeyde ivmeölçerlerin konumlandırılması
- * Derinkuyu ve yüzeyde bulunan ivmeölçerlerin verilerinin karşılaştırılması
- * Yüzeydeki büyütmenin belirlenmesi

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.07.2023
Düzeltilme: 12.09.2023
Kabul: 23.09.2023
Basım: 30.12.2023

DOI

10.46464/tdad.1332698

Sorumlu yazar

Erkan Ates
Eposta:
erkan.ates@afad.gov.tr

Comparison of Acceleration Records Measured at Different Depths

Erkan Ates¹ and Osman Uyanık²

¹ Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), Earthquake Department, 06800 Ankara, Türkiye
² Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, 32260 Isparta, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5646-9778, 0000-0002-7089-4340

ABSTRACT

The acceleration of the earthquake is affected by the earthquake source, earthquake-station characteristics and local ground conditions. Therefore, whether the ground is rock or soil, the thickness and type of soil affect the physical properties of the acceleration records. For this purpose, two accelerometer stations at different depths were established by AFAD Earthquake Department. In this study, acceleration records obtained from two accelerometer devices, one on the surface and the other at 100m depth, were used in the station with the same location and were compared with each other. As a result of this comparison, it has been observed that the peak acceleration value of the devices in the well is lower than the devices on the surface, and high frequencies are found in the records of the device on the surface in near earthquakes. When the average of 15 earthquakes is examined, amplification is seen at 4.6 Hz in the east-west component, 5.7 Hz in the north-south component and 9.46 Hz in the vertical component. Although the stations were established in and on rock, an amplification is observed in the surface station compared to the well station. For this reason, using the devices in the surface and deep wells together will give more accurate results, especially in amplification analyses.

Keywords

Earthquake, Accelerometer, Surface-well, Ground amplification

Highlights

- * Positioning accelerometers in the well and on the surface
- * Comparing the data of accelerometers in the well and on the surface
- * Determination of amplification on the surface

Manuscript

Research Article

Received: 25.07.2023
Revised: 12.09.2023
Accepted: 23.09.2023
Printed: 30.12.2023

DOI

10.46464/tdad.1332698

Corresponding Author

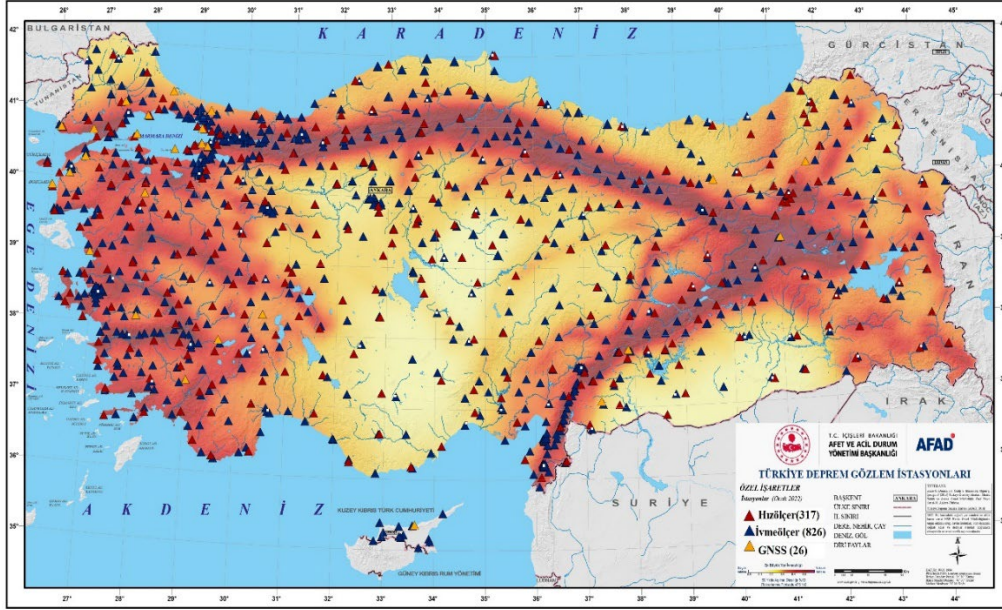
Erkan Ates
Email:
erkan.ates@afad.gov.tr

1. GİRİŞ

Ülkemiz büyük can ve mal kayıplarının meydana geldiği en etkin deprem kuşaklarının biri olan Alp-Himalaya üzerinde yer almaktadır. Deprem, ne zaman olacağı tam olarak bilinemeyen ve olması önlenemez bir doğal olaydır. Bu nedenle depremle yaşamayı öğrenmemiz gerekmektedir. Deprem dirençli yapı tekniklerinin geliştirilmesi için yer özelliklerinin belirlenmesi dışında deprem tehlike haritalarının hazırlanması deprem zararlarının azaltılması açısından önemlidir. Deprem tehlike haritalarının hazırlanması için gelişmiş sismolojik gözlem ağı gereklidir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı 1143 deprem ve 26 Sabit KKUS (Küresel Konumlama Uydu Sistemleri) istasyonları ile Avrupa'nın en büyük ikinci deprem gözlem ağına sahiptir (Şekil 1). Ülkemizde yine Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (KRDAE- BDTİM) tarafından kurulan ulusal düzeyde deprem istasyonları ve bazı üniversiteler tarafından kurulan yerel deprem istasyon ağı bulunmaktadır. Türkiye'de 1973 yılından itibaren ivmeölçer istasyonları kurulumuna başlanmış, ilk kayıt 1976 yılında Denizli'de kaydedilmiştir. Deprem anında ölçülen ivme depremin yere ya da yapılara uyguladığı kuvvetin anlaşılması açısından önemlidir. Yer ivmesi, depremde yapılara etki eden yıkıcı kuvveti temsil eder. İvmeölçer istasyonlarının yerel zemin koşullarının belirlenmesi, toplanan verinin yorumlanmasında büyük öneme sahiptir. Bilindiği üzere farklı zeminlere yerleştirilen ivmeölçer cihazlarının ölçümleri değişiklik gösterecektir. Ateş ve Uyanık (2019)'da birçok depremin alüvyon ve kaya ortamda yerleştirilmiş ivmeölçer kayıtlarının farklı olduğu belirtilmiş ayrıca 5 katlı bir binanın 5. katına yerleştirilen ivmeölçerden alınan kayıtların da farklılık gösterdiği ifade edilmiştir. Deprem anında zeminin durağan olmadığı aksine dinamik etkiler sonucunda hareketli olduğu dolayısıyla yapı tasarımında dinamik etkilerin dikkate alınmasının gereği vurgulanmıştır (Uyanık 2015). İvmeölçer cihazlarının kaydettiği veriler, özellikle yer hareketi tahmin denklemlerini geliştirmek (Kanai 1961, Shoushtari ve diğ. 2018, Bayrak 2019, Gencoglu ve Sayil 2019, Kumar ve diğ. 2019, Tun ve diğ. 2020, Uyanık ve diğ. 2021), depreme dayanıklı binaları tasarlamak (TBDY 2018), yerel zemin etkilerini değerlendirmek (Türker ve diğ. 1996, Ertunç ve diğ. 2001, Uyanık ve diğ. 2006, Bozcu ve diğ. 2007, Çimen ve diğ. 2010, Uyanık ve Gördesli 2013, Ozcep ve diğ. 2015, Karsli ve diğ. 2017, Özer ve Polat 2017, Pamuk ve diğ. 2017; 2018, Karabulut 2018, Bayrak ve diğ. 2021, Bayrak 2022) zemin sıvılaşma analizlerini yapmak (Andrus ve Stokoe 2000; Uyanık 2002; 2006; 2020, Uyanık ve Taktak 2009, Uyanık ve diğ. 2013) ve heyelan (Uyanık ve Türker 2009, Uyanık ve Çatlıoğlu 2014, Senkaya ve diğ. 2020) gibi deprem kaynaklı oluşabilecek tehlikeleri anlamak için kullanılır. Uyanık ve diğ. (2021)'de yapı tasarımında kullanılan hesaplamalarda "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" nde belirtilen tablolardan 30 m derinlik için belirlenen zemin sınıfına bağlı elde edilen ivme değerinin kullanıldığı belirtilmektedir. Ayrıca ivme değerinin sabit bir değer olmayıp yerin özelliklerine bağlı olduğu ifade edilmektedir.

Ulusal Sismik Ağın Geliştirilmesi Projesi (USAG) kapsamında ivme dağılım haritaları için referans ölçümler almak, mikro ve makro deprem aktivitesini izlemek, kabuk modeli, yüzey dalgası çalışmaları, sığ kabuk sönümlenme oranının belirlenmesi amacı ile derin kuyu deprem gözlem istasyonu kurulması planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda başlangıç olarak 7 adet istasyon Çanakkale, İzmir, Kahramanmaraş, Balıkesir, Denizli ve Afyonkarahisar'a kurulmuştur. Bu istasyonlardan Balıkesir istasyonuna hem yüzeyde hem de kuyu içinde ivmeölçerler yerleştirilerek yüzey ve derinde elde edilen ivme kayıtları arasındaki farkların araştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmaya benzer Allen ve Ziv (2011)'de Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından kurulan Güney Kaliforniya Sismik Ağı'nda bulunan cihazların (hızölçer, ivmeölçer ve KKUS) kayıtlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca Abercrombie (1997)'de güney Kaliforniya da yüzey ve derinkuyuda kurulan cihazların kayıtlarını karşılaştırmıştır. Ek olarak ülkemizde devam etmekte olan GONAF (Geophysical borehole Observatory at the North Anatolian Fault) projesinde İstanbul ili Tuzla ilçesinde aynı kuyu içerisinde 4 farklı derinlikte bulunan cihaz verileri karşılaştırılmıştır (Raub ve diğ. 2016). Ates ve diğ. (2022)'de yine ülkemizde deprem gözlem ağı içinde yer alan aynı istasyonlarda bulunan hız ve ivmeölçer kayıtlarını karşılaştırmışlardır. Laurenzano ve diğ. (2017) tarafından

da İtalya'da aynı kuyuda yüzeyden 31 m ve 126 m derinlikte bulunan ivmeölçerler tarafından kaydedilen deprem verileri kullanılarak zemin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca Michel ve diğ. (2017)'de dalga genliklerinin kaydedilmesinde ivmeölçer ve KKUS'ların beraber kullanılmasını önermektedirler.

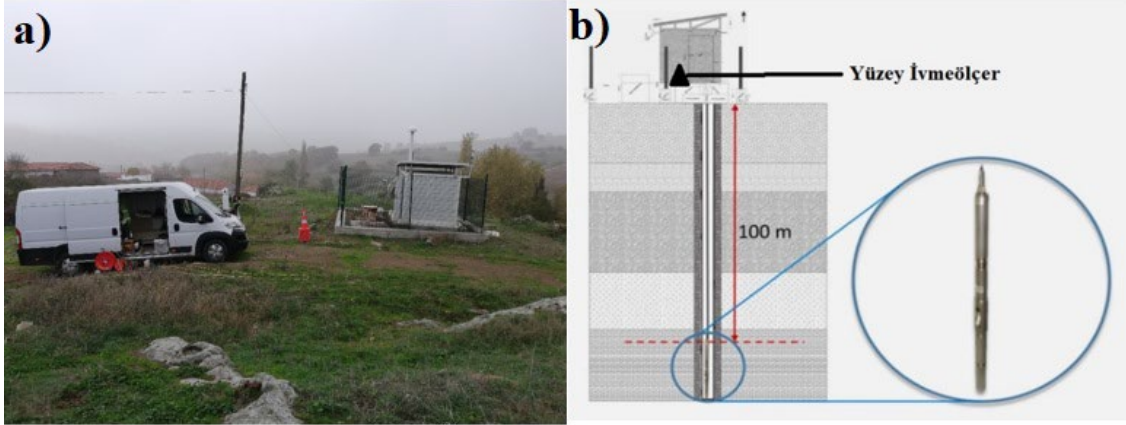


Şekil 1: Türkiye ulusal sismolojik gözlem ağı
Figure 1: National seismic monitoring network of Türkiye

Bu çalışmada Balıkesir ilinde bulunan istasyonun yüzeyinde ve 100 m derinliği bulunan kuyuya yerleştirilmiş ivmeölçer cihazları tarafından kayit edilen 15 adet farklı merkez üslerinde ve farklı büyüklüklerde gerçekleşmiş depremler incelenmiştir. Kaydedilen depremlerin büyüklükleri 3.1-5.9, uzaklıkları ise 7-340 km arasında değişmektedir. Kuyudaki ve yüzeydeki ivmeölçerler karşılaştırıldığından yönere bağlı olarak bazı frekanslarda büyütme gözlenmiştir. Yüzeyde bulunan cihazda yüksek frekanslarda yüksek ivmeler kaydederken, kuyu içerisinde bulunan cihazda bu frekanslar sönümlenmektedir. Uzak deprem kayıtlarının frekans içeriklerine bakıldığında da yüksek frekanslı veriler bulunmadığından yüzey ve kuyu cihazlarının ölçtüğü pik ivme değerleri birbirine daha yakındır. Yakın depremde ise yüzey istasyonunda ivme kayıtlarında yüksek frekans içerikleri fazla olduğundan pik ivme değerlerinde farklılıklar fazladır. Özellikle yakın depremlerde yüzeydeki cihazda ölçülen ivme değerleri kuyudaki ivmeölçer cihazına göre yüksektir.

2. ÇALIŞMA ALANI

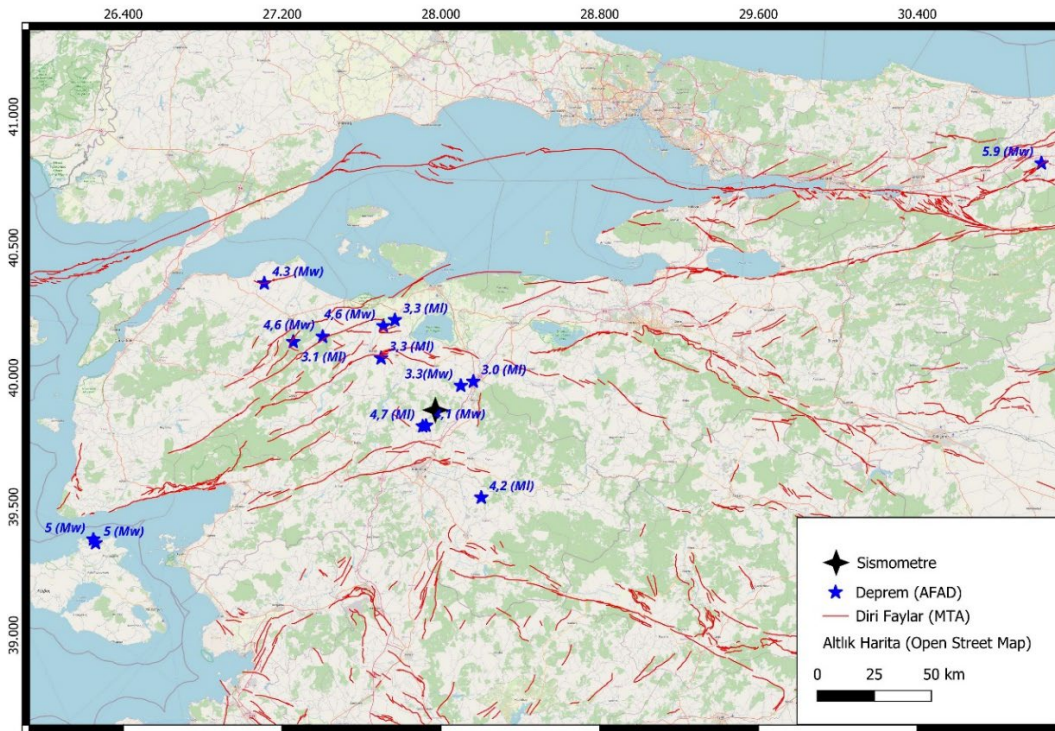
Çalışmaya konu olan deprem istasyonu Balıkesir İli Karesi İlçesi Çanacık Köyü kuzeybatısında yer almaktadır. İstasyonun bulunduğu bölgenin stratigrafisi genel olarak; bölgede gözlenen birimlerin en yaşlısı Paleozoyik yaşlı mermerler ile bunlar üzerine uyumsuz olarak gelmiş Orta Miyosen yaşlı andezit ve Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar olarak izlenmektedir. İstasyonun yakın çevresinde mostra vermiş andezitler bulunmaktadır. İstasyonda USAG projesi kapsamında yapılan çok kanallı yüzey dalga analizi çalışmasında ilk 30 metre kayma dalga hızı ortalaması (V_{s30}) 873 m/s olarak bulunmuştur. Bu hız değerine ve TBDY (2018) yönetmeliğindeki sınıflamaya bağlı olarak zemin sınıfı ZB dir. Bu V_{s30} değeri zayıf kaya ortamı yansıtmaktadır ve yüzey istasyonu volkanik bir kaya olan andezit birimi üzerine yerleştirilmiştir. Yüzeyden 100 m derinliğe kadar sondaj yapılmış ve sondaj loğuna göre andezit birimi içinde ilerlenmiştir. Bu kuyu içerisinde 100 m derinlikteki andezit birimi üzerine hızölçer ve ivmeölçer cihazları yerleştirilmiştir. Şekil 2'te yüzeyde ve kuyuda bulunan cihazların konumları gösterilmiştir.



Şekil 2: İvmeölçer istasyonların a) yüzey b) kuyuyuçi konumları.
Figure 2: a) Surface b) downhole locations of accelerometer stations.

2.1) Kullanılan Depremler

Bu çalışmada Balıkesir ili Karesi İlçesi'nde aynı istasyon içerisinde yüzeyde ve kuyuda bulunan cihazlar tarafından kayıt edilen verileri incelemek amacıyla 15 depreme ait 30 ivme kaydı kullanılmıştır. 3 Haziran 2022 ile 6 Şubat 2023 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin Lokal (M_L) ve Moment (M_w) büyüklükleri 3.2-5.9 arasındadır (AFAD 2023). Bu depremlerin merkez üssünün istasyona olan uzaklıkları 7.5-340 km arasında değişmektedir. Yüzey ve kuyuda bulunan cihazlar tarafından kaydedilen 15 depremin bilgileri Tablo 1'de ve konumları Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu çalışmada hem uzak hemde yakın ve farklı fay zonlarında meydana gelen deprem kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 3: Deprem istasyonun konumu ve çalışmada kullanılan depremler (AFAD 2023), (Aktif faylar Emre vd. (2013)'den alınmıştır.)

Figure 3: Location of earthquake station and earthquakes used in the study (AFAD 2023), (Active faults are compiled from Emre et al. (2013))

Tablo 1: Çalışmada kullanılan kuyu ve yüzeyde bulunan ivmeölçerler tarafından kaydedilen depremler (AFAD 2023)

Table 1: Earthquakes recorded by accelerometers in the well and on the surface used in the study (AFAD 2023).

Simge	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Büyüklik		Derinlik km	Uzaklık km
					M _w	M _L		
D-1	03.06.2022	22:13:29	39.8155	27.9250	4.1	--	10.98	7.53
D-2	03.06.2022	22:58:57	39.8133	27.9080	--	4.7	14.00	8.54
D-3	21.07.2022	15:44:23	40.1590	27.4041	4.6	--	12.32	57.53
D-4	22.07.2022	15:55:30	40.0761	27.6983	--	3.3	7.02	32.13
D-5	13.10.2022	14:25:51	40.2230	27.7680	--	3.3	7.02	42.34
D-6	26.10.2022	10:27:42	39.5370	28.2030	--	4.2	7.01	42.56
D-7	04.11.2022	00:29:21	38.3480	27.2110	4.9	--	14.47	181.88
D-8	23.11.2022	01:08:15	40.8230	31.0250	5.9	--	6.81	340.00
D-9	13.12.2022	03:21:16	40.3640	27.1100	4.3	--	12.12	91.05
D-10	23.12.2022	03:03:29	39.9860	28.1630	--	3.0	6.36	20.71
D-11	23.12.2022	07:42:56	39.9700	28.1000	3.3	--	11.70	15.74
D-12	02.01.2023	09:26:32	40.1390	27.2560	--	3.1	14.22	67.43
D-13	07.01.2023	01:52:57	39.3740	26.2490	5.0	--	14.02	157.42
D-14	10.01.2023	07:38:30	39.3600	26.2600	5.0	--	14.95	157.04
D-15	06.02.2023	04:24:32	40.2000	27.7100	4.6	--	9.74	42.41

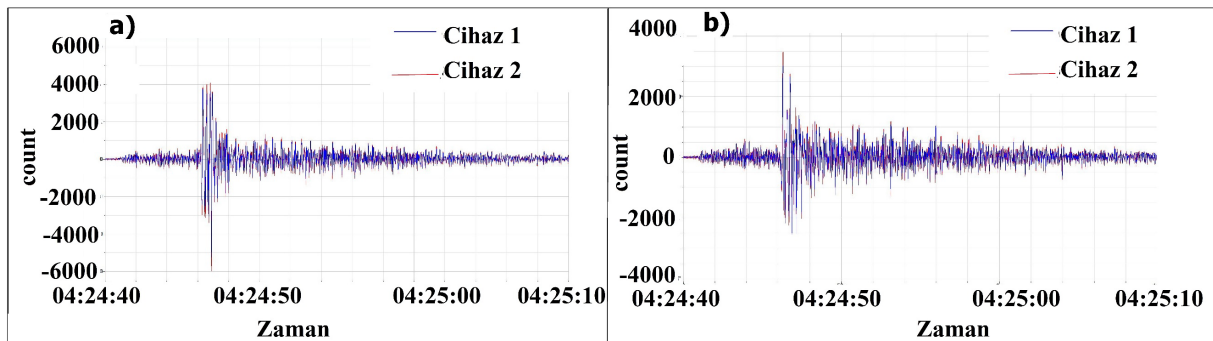
2.2) Kuyu ve Yüzey İvmeölçer Kayıtları

Balikesir ili Karesi İlçesi Çanacık Köyü kuzeybatısındaki istasyonda yüzeyde ve 100 m derinlikte kurulu bulunan ivmeölçerler karşılaştırmak için analizler yapılmıştır. Yüzeyde İsviçre menşeli GMSPLUS marka ivmeölçer cihazı, 100 metre derinlikte açılan kuyuda ise Güralp marka ivmeölçer cihazı bulunmaktadır. Cihazlar farklı örnekleme aralığında çalışmaktadır. Yüzeyde bulunan ivmeölçer cihazı saniyede 200 örnek alacak şekilde, kuyudaki ivmeölçer cihazı saniyede 100 örnek alacak şekilde veri göndermektedir. Cihazların farklı örnekleme aralığında çalışması ise Nyquist frekansını değiştirecektir. Örneğin örnekleme aralığı Eşitlik 1'de saniyede (T_s) 100 olan cihazın Nyquist frekansı (F_n) Eşitlik 2'ye göre 50 Hz olacak, Örnekleme aralığı (T_s) 200 olan cihazın Nyquist frekansı ise 100 Hz olacaktır.

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (1)$$

$$F_n = 0.5 f_s \quad (2)$$

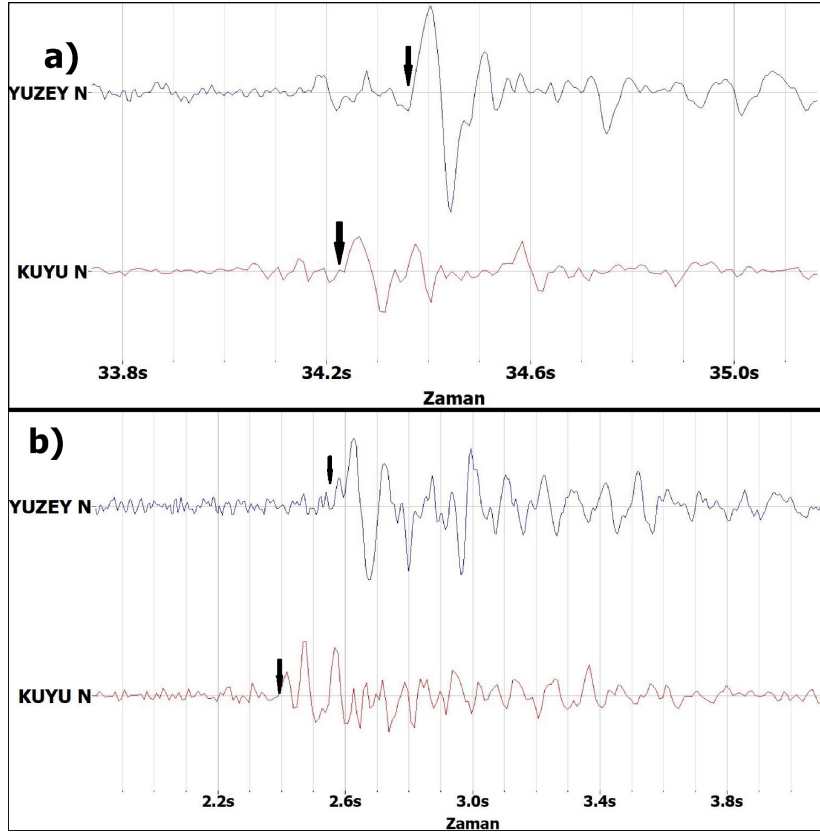
Yüzeyde ülkemizde gözlem ağında kullanılan cihazların ölçümlerini test etmek amacı ile iki farklı cihaz kurulmuştur. Şekil 4a'da 06.02.2023 tarihinde 4.6 büyüklüğündeki depreme ait Doğu Batı Bileşeni Şekil 4b'de Kuzey Güney ham kayıtlarının benzer olduğu, ölçümlerde çok az farklılığın bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4: Yüzeyde bulunan iki farklı ivmeölçer cihazının ham kayıtları
Figure 4: Raw recordings of two different accelerometers on the surface

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Balikesir ili Karesi İlçesi Çanacık Köyü kuzeybatısındaki istasyonda 03.06.2022 tarihinde meydana gelen iki depremin S fazları Şekil 5'te sunulmuştur. İvmeölçer cihazları aynı konumda olsa da farklı derinliklerde olduğundan deprem kayıtlarının ilk varışlarında farklılıklar olacaktır. Doğal olarak kuyudaki ivmeölçer cihazı depremi ilk olarak ölçecektir. Şekil 6'da 03.06.2022 tarihinde meydana gelen iki farklı depremin S dalga fazının ilk okumaları gözükmemektedir. Bu şekilde sunulan yüzey ve kuyu içi ivmeölçer kayıtlarının S fazlarının arasındaki zaman farkı Şekil 5a'da 0.12 s ve Şekil 5b'de 0.13 s civarında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yüzey ve kuyu içerisinde ivmeölçer cihazlar ile kayıt edilen deprem dalgalarının S kırılma zamanları arasındaki farklardan yararlanarak yüzeyden 100 m derinlik arasında yaklaşık $V_{s100} = 769-833$ m/s arasında bir hızla yayıldığı anlaşılmaktadır.



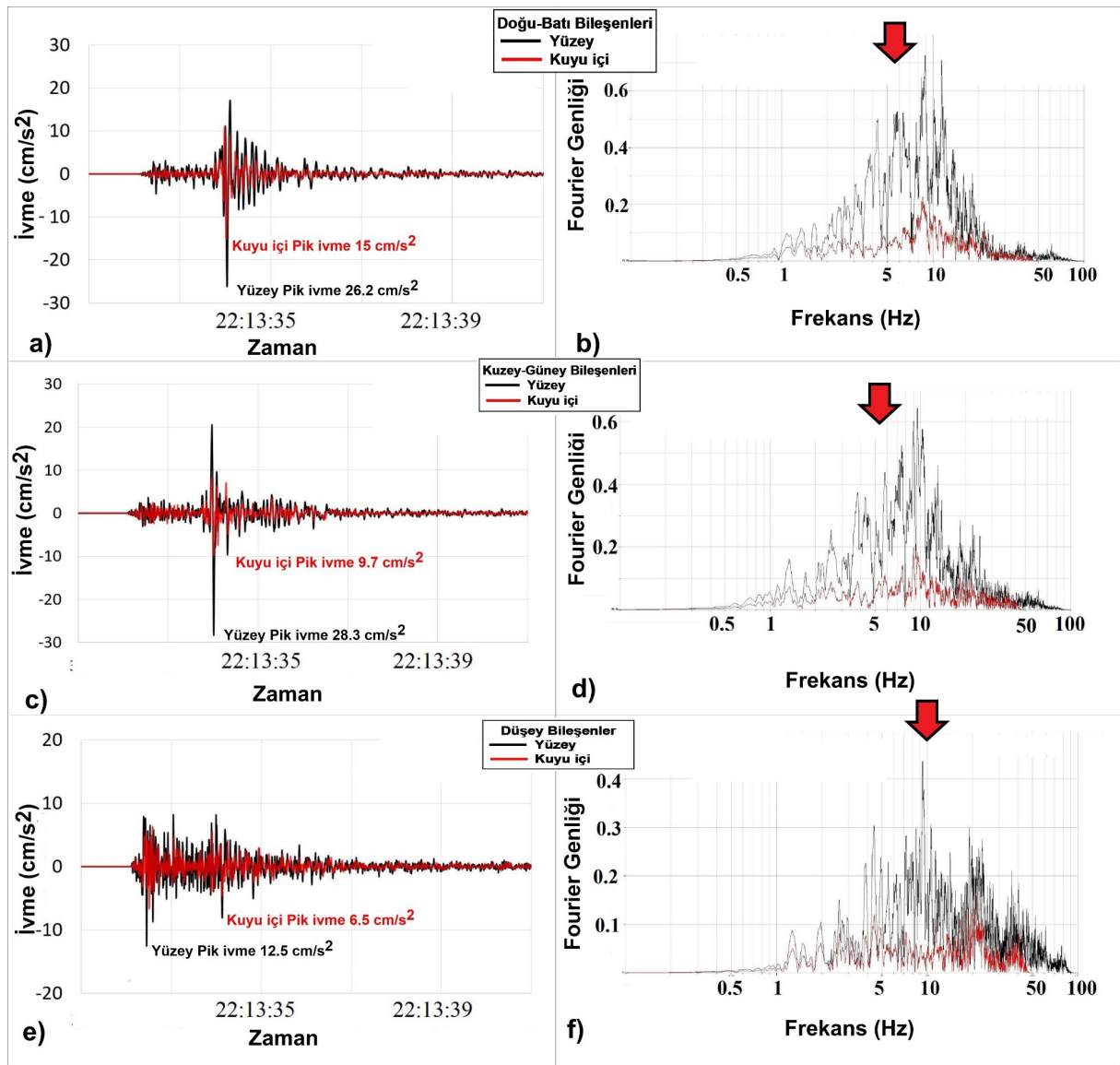
Şekil 5: 03.06.2022 tarihinde meydana gelen a) $M_w=4.1$ ve b) $M_L=4.7$ büyüklüğündeki depremlerin S fazlarının varış zamanları

Figure 5: Arrival times of S phases of earthquakes with a) $M_w=4.1$ and b) $M_L=4.7$ that occurred on 03.06.2022

Yüzey ve kuyu içi cihazlardan sayısal olarak alınan ivmeölçer kayıtları cm/s^2 'ye çevrilmiş ve daha sonra zaman ve frekans ortamında üst üste çizdirilmiştir. İvme verilerinden daha sonra yönseme (trend) etkisi giderilmiş ve 0.1-25 Hz frekans aralığında Bandpass süzgeç uygulanmıştır. Veri işlem için Geopsy paket programı kullanılmıştır (Sesame 2004). Kayıtlarda her üç bileşen (Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Düşey) için ilk P varışından başlayarak tüm deprem kaydını alacak şekilde Hızlı Fourier dönüşümü yapılmıştır ve merkez üssüne farklı uzaklıktaki dört depremin verileri Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Daha sonra yüzey ve kuyudaki ivmeölçerlerin kayıtları birbirine oranlanmıştır.

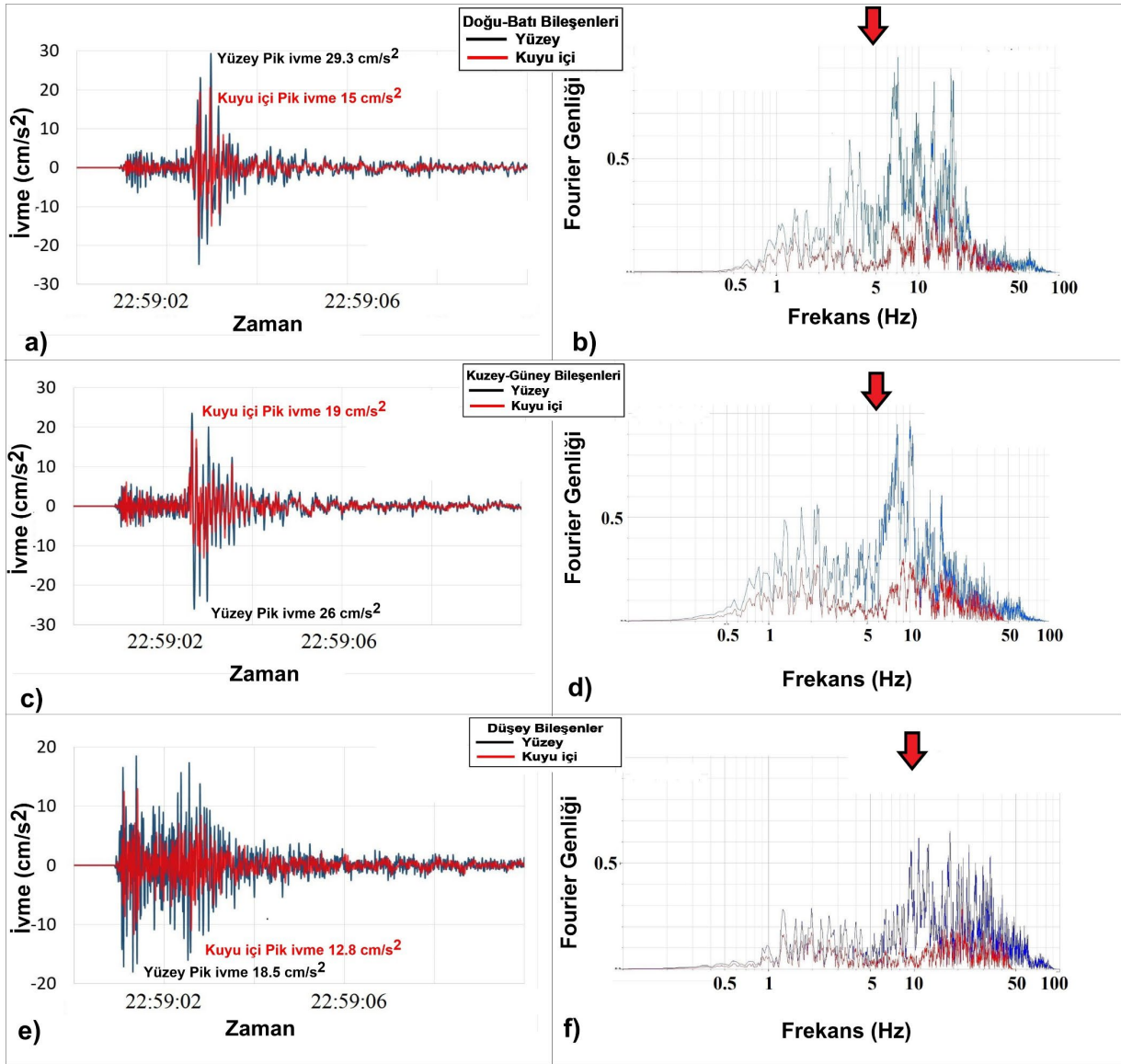
Bilindiği üzere farklı deprem dalgalarının frekans içeriği farklı olacaktır. Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilen deprem kayıtları, istasyonun deprem merkez üssüne yakın olduğu kayıtlardır.

İstasyonun bu iki depremin merkez üssüne uzaklığı yaklaşık 8 km'dir. Şekil 6 ve 7'deki zaman ortamındaki verilere (a,c,e) bakıldığında Pik ivme değerlerinde ve diğer genliklerde farklılıklar görülmektedir. Bu iki depremin frekans (b,d,f) ortamındaki içeriklerine bakıldığında yüzeyde bulunan ivmeölçerin kuyudaki cihaza göre Şekil 6 ve Şekil 7'de oklarla gösterilen yüksek frekanslı (3-20 Hz) dalgalar içermektedir. Haliyle yüzeydeki ivmeölçer zaman ortamında daha yüksek genlikler kaydetmiştir. Şekil 8'de gösterilen kayıtlar uzak deprem (340 km) kayıtlarıdır. Bu depreme ait yüzey ve kuyu içi ivmeölçer cihazlarının aldığı kayıtların frekans içeriklerine bakıldığında frekansların 0.1-5 Hz civarında baskın olduğu görülmüştür. İki cihaz da benzer frekanslarda ölçümler aldığından kayıtlar birbirine yakındır. Şekil 9'da ki deprem, merkez üssü istasyona 157 km uzaklıktaki Midilli depremi'dir. Bu depremin yüzey ve kuyu içi ivmeölçer cihazlarının aldığı kayıtların frekans içeriklerine bakıldığında 0.1-3 Hz arasındaki genliklerin benzer olduğu 3 Hz frekansından sonra yüzey cihazında kuyudaki cihaza göre Şekil 9'da oklarla gösterilen yüksek genlikli kayıtlar görülmektedir. Bu sebepten zaman ortamında dalga formları az da olsa farklıdır.

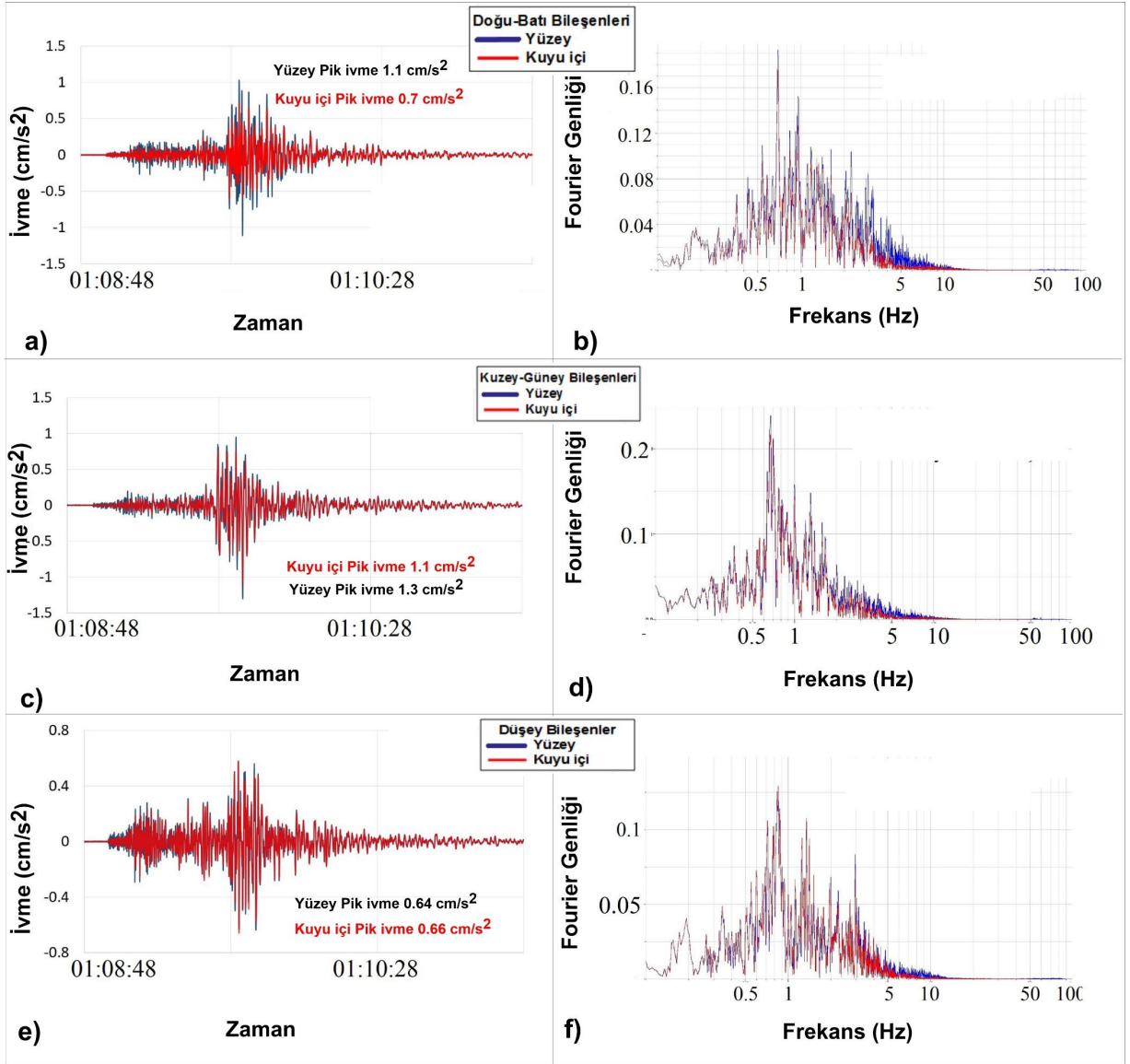


Şekil 6: 03.06.2022 saat 22:13:29 $M_w = 4.1$ depreminin yüzey ve kuyu ivmeölçer kayıtlarının Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düsey bileşenlerinin zaman ve frekans ortamındaki değişimleri

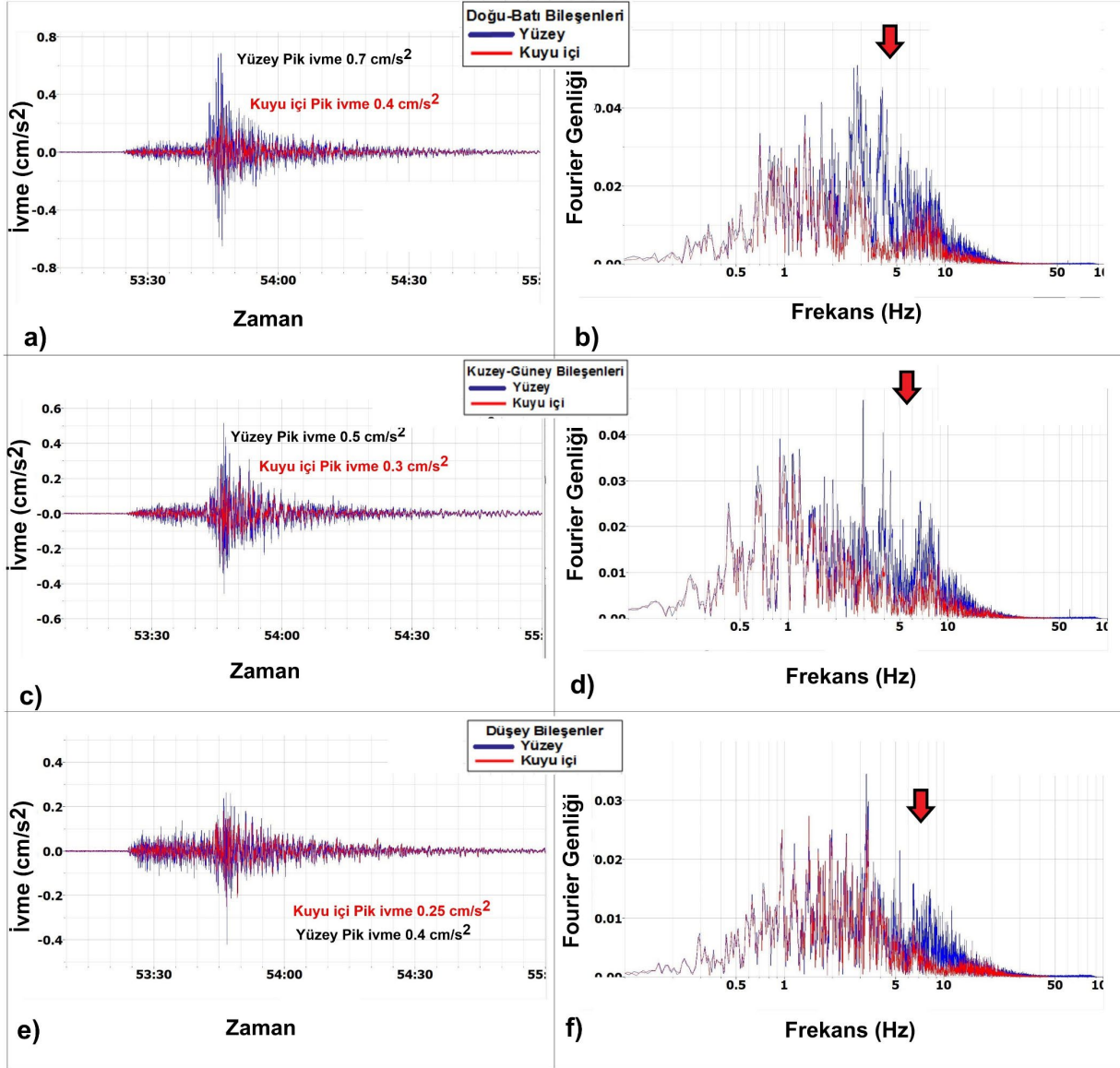
Figure 6: Changes in the time and frequency environment of the East-West, North-South and Vertical components of the surface and well accelerometer records of the 03.06.2022 at 22:13:29 $M_w = 4.1$ earthquake



Şekil 7: 03.06.2023 saat 22:58:57 ML= 4.7 depreminin yüzeý ve kuyu ivmeölçer kayıtlarının Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düşey bileşenlerinin zaman ve frekans ortamındaki değişimleri
 Figure 7: Changes in the time and frequency environment of the East-West, North-South and Vertical components of the surface and well accelerometer records of the 03.06.2023 at 22:58:57 ML= 4.7 earthquake



Şekil 8: 23.11.2022 saat 01:08:15 $M_w=5.9$ depreminin yüzey ve kuyu ivmeölçer kayıtlarının Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düşey bileşenlerinin zaman ve frekans ortamındaki değişimleri
 Figure 8: Changes in the time and frequency environment of the East-West, North-South and Vertical components of the surface and well accelerometer records of the 23.11.2022 at 01:08:15 $M_w=5.9$ earthquake



Şekil 9: 07.01.2023 saat 01:52:57 Mw= 5.0 depreminin yüzey ve kuyu ivmeölçer kayıtlarının Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düşey bileşenlerinin zaman ve frekans ortamındaki değişimleri
 Figure 9: Changes in the time and frequency environment of the East-West, North-South and Vertical components of the surface and well accelerometer records of the 07.01.2023 at 01:52:57 Mw= 5.0 earthquake

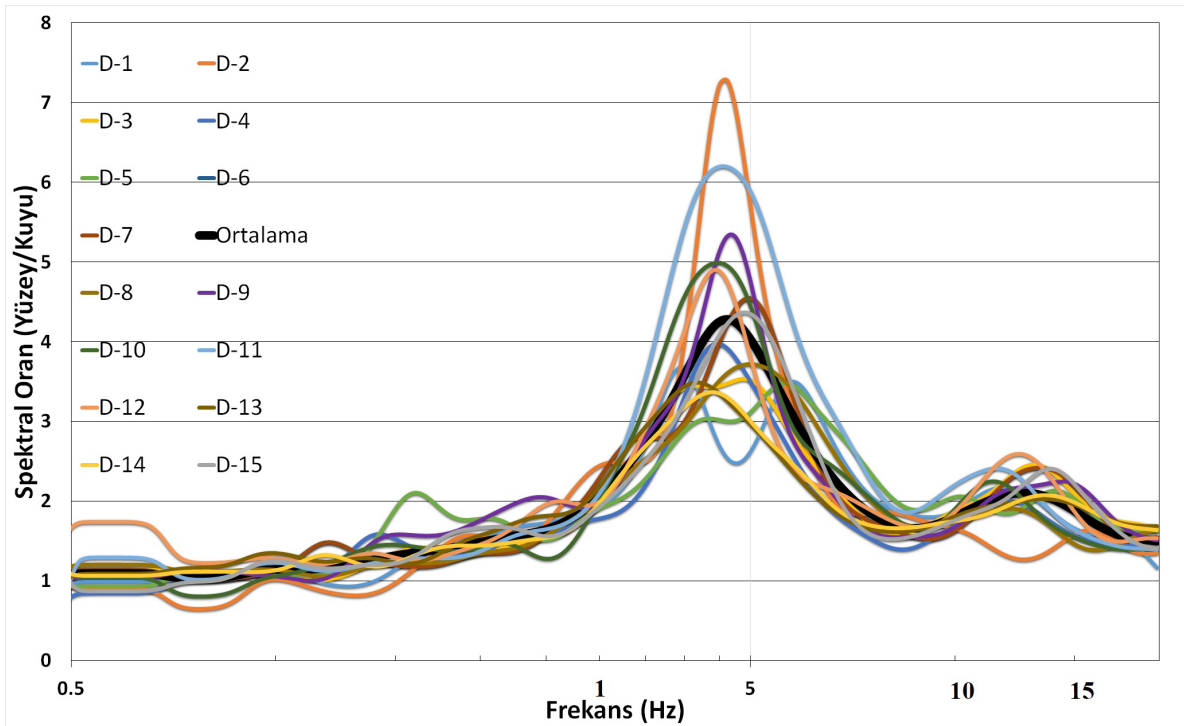
Standart Spektral Oran yöntemi ilk olarak Borchardt (1970) tarafından kuvvetli yer hareketi kayıtlarına uygulanmıştır. Bu yöntemde referans istasyonun seçimi önemli olup masif bir kaya veya derin kuyu kullanılmalıdır (Steidl ve diğ. 1996). Yatay bileşenlere uygulanan bu yöntem bu çalışmada tüm bileşenlere ayrı ayrı uygulanmış ve depremin ilk varışından tüm fazları alacak şekilde pencereler kesilmiştir. Yüzeydeki yuvarlatılmış Fourier genlik spektrumu, kuyuda bulunan yuvarlatılmış Fourier genlik spektrumuna oranlanarak transfer fonksiyonu (T_f) hesaplanmıştır.

$$T_f(f) = \frac{H_y(f)}{H_k(f)} \quad (3)$$

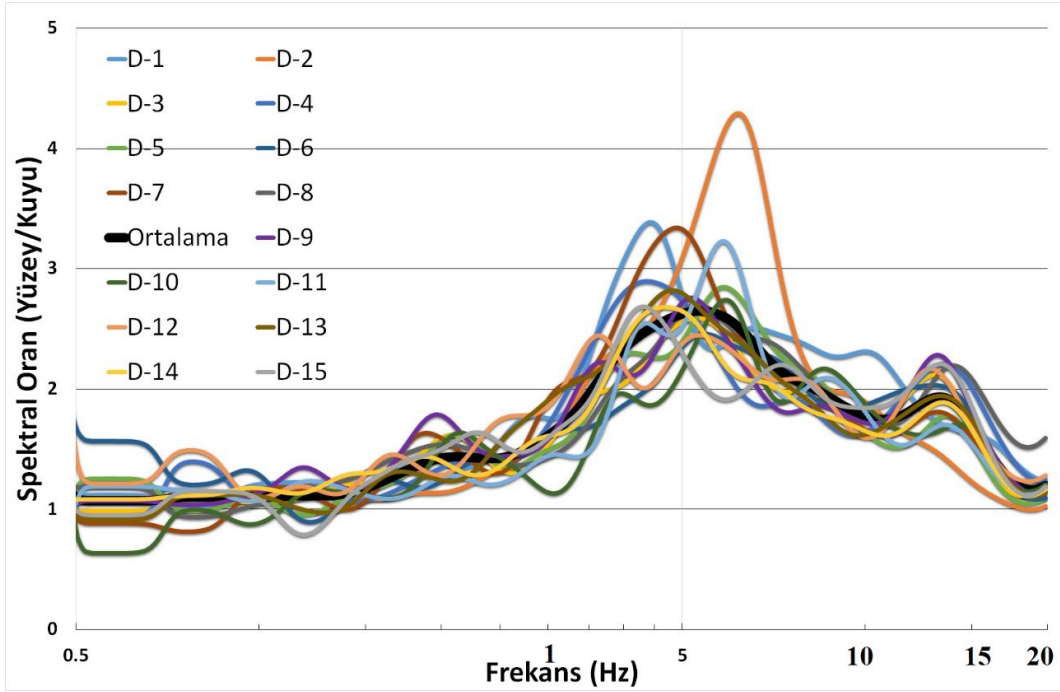
Eşitlik 3'te $H_y(f)$ yüzeydeki ivmeölçer kaydına ait yatay bileşenin Fourier genlik spektrumunu, $H_k(f)$ kuyu içi ivmeölçer kaydına ait Fourier genlik spektrumunu gösterir.

Spektral oran yönteminde ana hedef yer büyütmesinin hesaplanmasıdır. Bunun için aynı depremi kaydeden iki farklı cihaz gereklidir. Bu cihazlardan biri referans cihaz olarak tanımlanır ve çalışma alanındaki ana kaya birimi üzerindedir. Bu çalışmada referans cihaz olarak andezit biriminin içinde 100 m derinde olan ivmeölçer cihazı alınmıştır. Bu çalışmada üç bileşenin ayrı ayrı büyütme eğrileri spektral oran yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12).

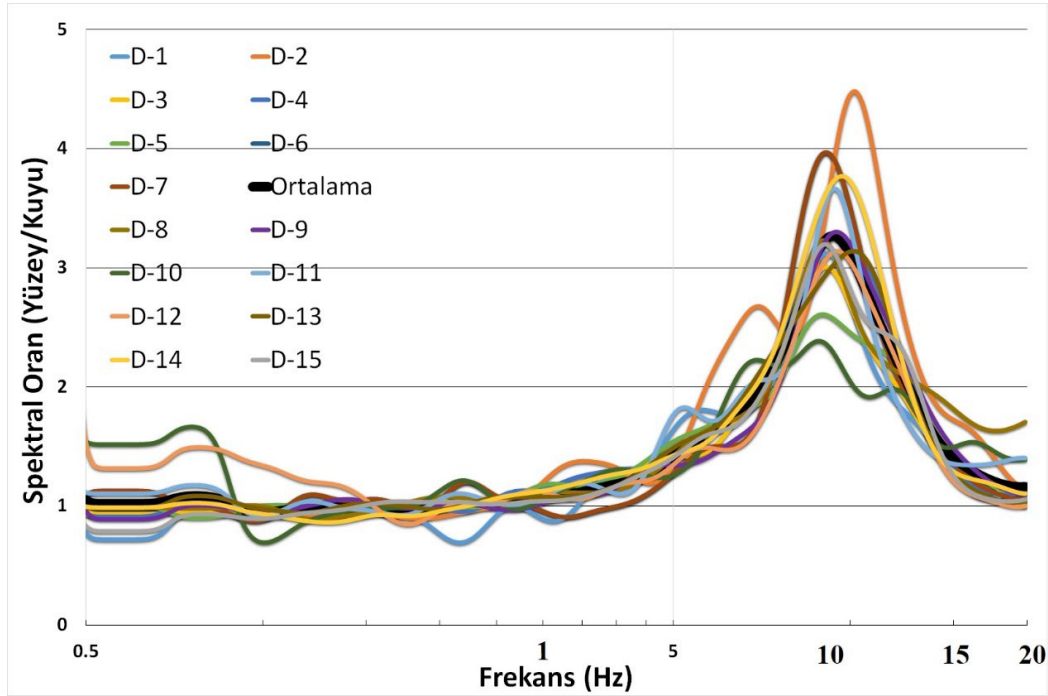
Şekil 10 da herbir depreme ait doğu batı bileşenindeki değişim ve 15 depremin ortalaması gösterilmektedir. 15 depremin ortalamasında görüleceği üzere bu bileşende 4.6 frekansında bir büyütme gözükmemektedir. Şekil 11’de ise herbir depreme ait kuzey-güney bileşenindeki değişim ve 15 depremin ortalaması gösterilmektedir. 15 depremin ortalamasında görüleceği üzere bu bileşende 5.7 frekansında bir büyütme vardır. Şekil 12’de ise düşey bileşen ve bu bileşenlerde 15 depremin ortalamasında 9.46 Hz’de en büyük büyütme elde edilmiştir. Yüzeyledeki istasyonların üç bileşeninde de yüksek frekanslarda kuyudaki ivmeölçer cihazına göre farklılıklar görülmektedir.



Şekil 10: 15 farklı depremin Doğu-Batı bileşenlerinin spektral oran eğrilerinin değişimi
 Figure 10: Variation of the spectral ratio curves of the East-West components of 15 different earthquakes

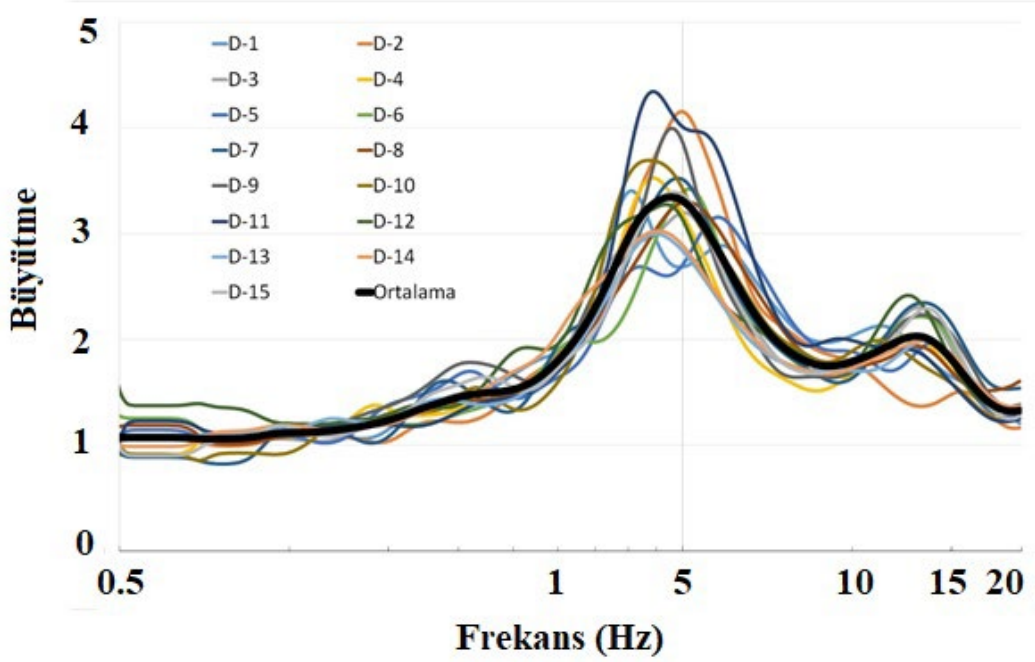


Şekil 11: 15 farklı depremin Kuzey-Güney bileşenlerinin spektral oran eğrilerinin değişimi
Figure 11: Variation of the spectral ratio curves of the North-South components of 15 different earthquakes



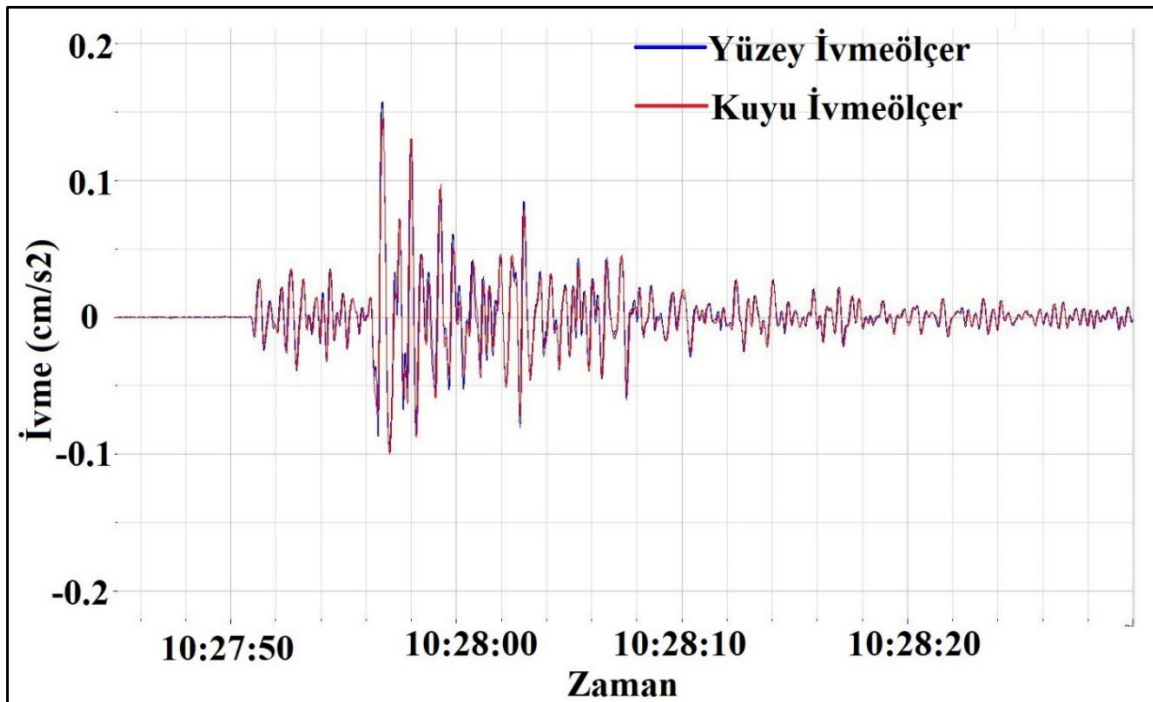
Şekil 12: 15 farklı depremin Düşey bileşenlerinin spektral oran eğrilerinin değişimi
Figure 12: Variation of the spectral ratio curves of the Vertical components of 15 different earthquakes

Spektral oran yöntemine göre zemin büyütmesi için yatay bileşenler kullanılmıştır. Bunun için her iki cihazdaki Doğu-Batı ve Kuzey-Güney bileşenlerinden yatay bileşenler elde edilerek Fourier spektrumu (FFT) alınmıştır. Daha sonra yüzeydeki ivmeölçerin yatay bileşenlerinin FFT'si ile kuyu içi (referans cihaz) ivmeölçerin yatay bileşenlerinin FFT'sinin oranlanması sonucunda zemin büyütmesi belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm depremler için zemin büyütme oranları Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13: 15 farklı depremin yatay bileşenlerinden yer büyütmesi değişimi
 Figure 13: Soil amplification variation of 15 different earthquakes from horizontal components

Şekil 14'te 26.10.2022 ($M_L = 4.2$) depremine ait düşey bileşen kaydının filtreli hali görülmektedir. Yüzeyle ilgili ivmeölçer kaydına 0.1- 3.6 Hz Band pass filtre uygulandığında yüzeyde ve kuyudaki ivmeölçer kayıtlarının birbirine çok yakın olduğu görülecektir. Bu filtrenin uygulanmasının sebebi ise Şekil 12'te 0 Hz den 3.6 Hz e kadar düşey bileşende Yüzeyle/Kuyu oranının 1 olarak devam etmesidir. Yani bu frekans aralıklarında bir büyütme gözlenmemektedir.



Şekil 14: 26.10.2022 $M_L = 4.2$ Depreminin düşey kayıtlarının filtrelenmiş verileri
 Figure 14: Filtered data of vertical records of 26.10.2022 $M_L = 4.2$ Earthquake

5. SONUÇLAR

Bu çalışma da aynı lokasyonda ve aynı jeolojik birimde birisi kuyuda (100 m) diğeri yüzeyde bulunan iki farklı ivmeölçerin kaydettiği 15 deprem kaydı karşılaşmıştır. Farklı lokasyonlarda ve fay zonlarında meydana gelen yakın ve uzak depremlere bakıldığında, kuyudaki ivmeölçer cihazının ölçtüğü genlik değerinin yüzeydeki cihaza göre daha az olduğu görülmüştür.

Merkez üsleri uzak deprem kayıtlarının frekans içeriklerine bakıldığında yüksek frekanslı veriler bulunmadığından yüzey ve kuyu cihazlarının ölçtüğü pik ivme değerleri birbirine daha yakındır. Yakın depremde ise yüzey istasyonu ivme kayıtlarında yüksek frekans içerikleri fazla olduğundan pik ivme değerlerinde farklılıklar fazladır. Özellikle yakın depremlerde yüzey istasyonunda ölçülen ivme değerleri yüksektir.

Yüzey istasyonu anakaya üzerine kurulsa da kuyudaki istasyon kayıtlarına göre özellikle yakın depremlerde yüksek frekans içermektedir. Standart Spektral Oran yönteminde referans olarak kuyudaki cihazın kullanılması daha uygun olacaktır. Yapılan analizlerde yüzeydeki cihaz 4.7 Hz frekansında kuyu içi cihazına oranla büyütmüştür.

Kuyudaki istasyon deprem kayıtlarını yüzeydeki istasyona göre daha erken zamanda kaydetmeye başladığından erken uyarıya daha uygundur. Ancak kazanılacak sürenin milisaniye mertebesinde olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca ülkemizin deprem aktivitesi yoğun olduğundan farklı özelliklerdeki zeminlere ve özellikle anakayaya kurulacak cihazlarla deprem dalgalarının değişimini daha iyi gözlemleyebiliriz. Depremleri daha iyi araştırmak için aletsel olarak yapılan ölçümleri fazlalaştırmak gerekmektedir. Bu da ancak iyi çalışan sismolojik gözlem ağı ile sağlanabilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan deprem verilerinin kaydedilmesi ve arşivlenmesini sağlayan AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı personeline, değerli katkılarıyla hakemlere ve gerekli düzeltmeler için Türk Deprem Araştırma Dergisi ekibine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Abercrombie R.E., 1997. Near-Surface Attenuation and Site Effects from Comparison of Surface and Deep Borehole Recordings, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87(3), 731-744.

AFAD, 2023. Deprem Kataloğu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalo>

Allen R.M., Ziv A., 2011. Application of real-time GPS to earthquake early warning, *Geophys. Res. Lett.* 38, L16310.

Andrus R.D., Stokoe K.H., 2000. Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, 126(11), 1015-1025.

Ates E., Kartal R.F., Kuru T., 2022. Comparison of Broadband and Accelerometer Records Using Earthquake Data, *Turk Deprem Arastirma Dergisi*, 4(2), 174-190, <https://doi.org/10.46464/tdad.1132404>.

Ateş E., Uyanık O., 2019. Jeofizik yöntemler ile yer ve yapı etkileşimi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60.

Bayrak E., 2019. Doğu Anadolu Bölgesi İçin En Büyük Yer İvmesi Tahmini, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 676-681.

Bayrak E., 2022. Investigation of soil dynamic properties using horizontal-to-vertical spectral ratio for Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Environ Earth Sci.*, 81, 514.

Bayrak E., Ozer C., Cakici H., Kocadagistan M.E., 2021. January 24, 2020 Sivrice (Turkey) earthquake (Mw 6.8): Evaluation of Ground-Motion Prediction Equations and Engineering Seismology Studies, *Turk. J. Earthq. Res.*, 3(2), 125-148, <https://doi.org/10.46464/tdad.1003057>.

Borcherdt R.D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 60, 29-61.

Bozcu M., Uyanik O., Çakmak O., Türker A.E., 2007. Geotechnical properties of Esen I HEPP Project field. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 11(1), 75-83.

Çimen Ö., Uyanik O., Elmasdere E., Korkmaz K.A., Keskin S.N., 2010. Mavikent-Isparta Örneğinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışmaları için Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 46-54.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi 30. ISBN: 978-605- 5310-56-1.

Ertunç A., Karagüzel R., Yağmurlu F., Türker E., Keskin N., Bozcu M., Yılmaz K., Şentürk M., Özçelik M., Davraz A., Yalçın A., Soyarslan İ., Kaya M.A., Kamacı Z., Uyanik O., Balkaya Ç., Duman Y., Çimen Ö., Uzundurukan S., Karaca Ö., Şener E., 2001. Burdur Belediyesi Kent Merkezi ve yakın çevresinin depremselliği ve yerleşime uygunluk açısından incelenmesi. SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Araştırma Raporu, ss. 209.

Gencoglu A., Sayil N., 2019. A New Strong-Ground Motion Attenuation Relationship for the Middle Part of North Anatolian Fault Zone (NAFZ), *Turk. J. Earthq. Res.*, 1 (1), 1-14.

Kanai K., 1961. An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions, *Bulletin of Earthquake Research Institute*, 39, 85-95.

Karabulut S., 2018. Soil classification for seismic site effect using MASW and ReMi methods: a case study from western Anatolia (Dikili-İzmir), *Journal of Applied Geophysics*, 150, 254-266.

Karsli H., Senkaya G.V., Senkaya M., Guney R., 2017. Investigation of soil structure in Uzungöl settlement area by Shallow Seismic Methods, *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(2), 134-143.

Kumar P., Chamoli B.P., Kumar A., Gairola A., 2019. Attenuation relationship for peak horizontal acceleration of strong ground motion of Uttarakhand region of central Himalayas, *Journal of Earthquake Engineering*, 23, 1634161.

Laurenzano G., Priolo E., Mucciarelli M., Martelli L., Romanelli M., 2017. Site response estimation at Mirandola by virtual reference station, *Bull. Earthq. Eng.*, 15, 2393-2409.

Michel C., Kelevitz K., Houlie N., Edwards B., Psimoulis P., Su Z., Clinton J., Giardini D., 2017. The potential of high-rate gps 123 for strong ground motion assessment, *Seismological Society of America*, 107, 1849-1859.

Ozcep F., Karabulut S., Ozel A.O., Caglak F., Aydin S., 2015. Geophysical properties of soils and earthquake site response analyses in Buyukada princes islands Istanbul by using EERA software, *The Geological Society of America*, 47(7), 183.

Özer Ç., Polat O., 2017. İzmir ve Çevresinin 1-B (Bir-Boyutlu) Sismik Hız Yapısının Belirlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(55), 147-168.

Pamuk E., Ozdag O.C., Ozyalin S., Akgun M., 2017. Soil characterization of Tınaztepe region (İzmir/Turkey) using surface wave methods and Nakamura (HVSr) technique. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 16, 447-458.

Pamuk E., Ozdag O.C., Tuncel A., Ozyalin S., Akgun M., 2018. Local site effects evaluation for Aliğa/İzmir using HVSr (Nakamura technique) and MASW methods. *Natural Hazards*, 90, 887-899.

Raub C., Bohnhoff M., Petrovic B., Parolai S., Malin P., Yanik K., Kartal R.F., Kilic T., 2016. Seismic-Wave Propagation in Shallow Layers at the GONAF-Tuzla Site, Istanbul, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(3), 912-927.

Senkaya G.V., Senkaya M., Karsli H., Güney R., 2020. Integrated shallow seismic imaging of a settlement located in a historical landslide area, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 1781-1796.

Sesame, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations: Measurements Processing and Interpretation, 1-62, SESAME European Research Project WP12.

Shoushtari A.V., Adnan A.Z., Zare M., 2018. Ground motion prediction equations for distant subduction interface earthquakes based on empirical data in the Malay Peninsula and Japan, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 109, 339-353.

Steidl J.H., Tumarkin A.G., Archuleta R.J., 1996. What is a reference site? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86, 1733-1748.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Sayı: 30364, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

Tun M., Mutlu S., Pekkan E., 2020. EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey, *Turk. J. Earthq. Res.*, 2(2), 193-208, <https://doi.org/10.46464/tdad.785892>.

Türker E., Kaya M.A., Kamacı Z., Uyanik O., Büyükköse N., Mutlutürk M., Yalçın A., Özkan F., 1996. Dinar afet bölgesi geoteknik raporu. Afet İşleri Genel Müdürlüğü-Süleyman Demirel Üniversitesi.

Uyanik O., 2002. Potential liquefaction analysis method based on the shear wave velocity. DEU. The Graduate School of Natural and Applied Sciences (PhD. Thesis), p:195.

Uyanik O., 2006. An approach for cyclic stress ratio of liquefied or unliquefied soils. *DEU Engineering Faculty Journal of Science and Engineering*, 8(2), 79-91.

Uyanik O., 2015. Deprem Ağır Hasar Alanlarının Önceden Belirlenmesi ve Şehir Planlaması için Makro ve Mikro Bölgelelendirmelerin Önemi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 24-38.

Uyanik O., 2020. Soil liquefaction analysis based on soil and earthquake parameters, *Journal of Applied Geophysics*, 176, 104004.

Uyanik O., Çatlıoğlu B., 2014. Determination of landslide geometry by using electrical resistivity and seismic refraction methods, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 22-29.

Uyanik O., Ekin N., Çoşkun O., 2021. Zemin ve Deprem Parametrelerinden İvme Azalım İlişkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(68), 575-593.

Uyanik O., Ekinci B., Uyanik N.A., 2013. Liquefaction analysis from seismic velocities and determination of lagoon limits Kumluca/Antalya example, *Journal of Applied Geophysics*, 95, 90-103.

Uyanik O., Gördesli F., 2013. Sismik Hızlardan Taşıma Gücünün İncelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(2), 78-86.

Uyanik O., Taktak A.G., 2009. Kayma dalga hızı ve etkin titreşim periyodundan sıvılaşma çözümlemesi için yeni bir yöntem, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 74-81.

Uyanik O., Türker E., 2009. Fethiye-Esen II HES Salt ve Santral Sahasındaki Potansiyel Heyelanının Yerteknik Özellikleri ve Yorumu, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 84-90.

Uyanik O., Türker E., İsmailov T., 2006. Sığ Sismik Mikro-Bölgeleme ve Burdur/Türkiye Örneği. *Ekoloji ve Su Teserrufatı*, 1(8), 9-15.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında kullanılan deprem kayıtları AFAD Deprem Dairesi Başkanlığından, Fay verileri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) çizim editöründen sayısallaştırılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): E.A, O.U
- Literatür araştırması (*Literature research*): E.A, O.U
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): E.A
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): E.A, O.U
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): E.A
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): E.A, O.U
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): E.A, O.U