



## Determination of soil dominant frequency/period and H/V spectral ratio values using earthquake data: The Case of Eskişehir Province

Kaan Hakan Coban<sup>1</sup> and Erdem Bayrak<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, 61080 Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Ataturk University, Earthquake Research Centre, 25240 Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup> Ataturk University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 25240 Erzurum, Türkiye  
ORCID: 0000-0001-8034-1486, 0000-0001-9907-1463

### Keywords

Soil dominant frequency/period, H/V spectral ratio, Strong ground motion, Nakamura method, Eskişehir

### Highlights

- \* Determination of H/V spectral ratio value based on earthquake data
- \* Calculation of average H/V spectral ratio curves
- \* Determination of soil dominant frequency/ period

### Aim

This study aims to calculate the soil dominant frequency and H/V spectral ratio values by using earthquake data

### Location

This study has implemented for Eskişehir province

### Methods

Nakamura Method (H/V spektral ratio method)

### Results

The lowest dominant frequency value was calculated as 0.25 Hz and the highest H/V ratio was 9.10. Multiple peak were observed in some stations

### Supporting Institutions

--

### Financial Disclosure

The author(s) 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: 13.12.2023

Revised: 29.01.2024

Accepted: 22.02.2024

Printed: 30.06.2024

### DOI

10.46464/tdad.1404352



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

### Corresponding Author

Kaan Hakan Coban

Email: h.coban@ktu.edu.tr

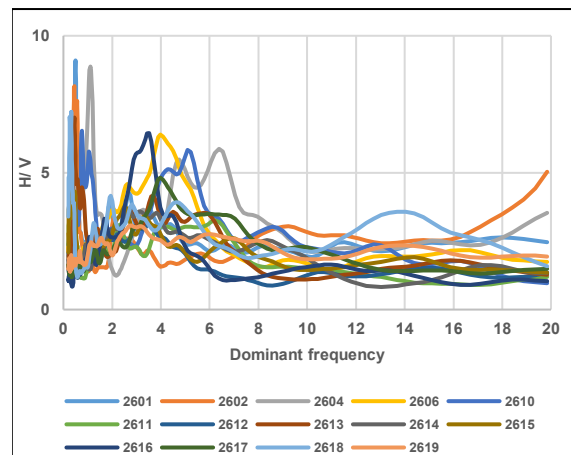


Figure  
H/V spectral ratio values versus average dominant frequency values of stations

### How to cite:

Coban K.H., Bayrak E., 2024. Determination of soil dominant frequency/period and H/V spectral ratio values using earthquake data: The Case of Eskişehir Province, Turk Deprem Arastirma Dergisi 6(1), 81-97, <https://doi.org/10.46464/tdad.1404352>.



## Deprem verileri kullanılarak zemin hakim frekans/periyo t ve H/V spektral oran değerlerinin belirlenmesi: Eskişehir İli Örneği

Kaan Hakan Çoban<sup>1</sup> ve Erdem Bayrak<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, 25240 Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye  
ORCID: 0000-0001-8034-1486, 0000-0001-9907-1463

### ÖZET

Bu çalışmada AFAD tarafından Eskişehir ili sınırları içerisinde konumlandırılan 14 kuvvetli yer hareketi istasyonunun farklı zamanlarda kaydettiği deprem ( $M > 3.5$ ) verileri kullanılarak Nakamura Yöntemine göre zemin hakim frekans, zemin hakim periyot ve H/V spektral oran değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu bağlamda 14 istasyonun her biri için farklı büyüklük ve uzaklıktaki 15 adet deprem seçilmiştir. Bu depremlerin S-dalgası pencerelerinden zemin hakim frekans ve H/V spektral oran değerleri belirlenmiş ve ortalama H/V spektral oran eğrileri oluşturulmuştur. Böylece, mikrotremor verileri yapılan hesaplamalardan farklı olarak deprem verileri üzerinden de bu parametreler belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında bazı istasyonların düşük frekanslarında (0-2.0 Hz) yüksek H/V değerleri (3.9-7.2) görülmektedir. Bazı istasyonlarda çoklu pik yapısı gözlenmiştir. En düşük hakim frekans değeri 0.25 Hz ve en yüksek H/V oranı 9.10 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları derin sediman yapısına sahip Eskişehir ili için deprem tehlike değerlendirme çalışmalarına katkı sağlayacaktır.

### Anahtar kelimeler

Zemin hakim frekansı/periyo du, H/V spektral oran, Kuvvetli yer hareketi, Nakamura yöntemi, Eskişehir

### Öne Çıkanlar

- \* Deprem verileri üzerinden H/V spektral oran değerinin belirlenmesi
- \* Ortalama H/V spektral oran eğrilerinin oluşturulması
- \* Zemin hakim frekansının belirlenmesi

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.12.2023

Düzeltilme: 29.01.2024

Kabul: 22.02.2024

Basım: 30.06.2024

### DOI

10.46464/tdad.1404352

### Sorumlu yazar

Kaan Hakan Çoban

Eposta:

h.coban@ktu.edu.tr

## Determination of soil dominant frequency/period and H/V spectral ratio values using earthquake data: The Case of Eskişehir Province

Kaan Hakan Coban<sup>1</sup> and Erdem Bayrak<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, 61080 Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup> Ataturk University, Earthquake Research Centre, 25240 Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup> Ataturk University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 25240 Erzurum, Türkiye  
ORCID: 0000-0001-8034-1486, 0000-0001-9907-1463

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to calculate the soil dominant frequency/period and H/V spectral ratio (HVSR) values according to Nakamura method by using earthquake ( $M > 3.5$ ) data recorded by 14 strong ground motion stations located in Eskişehir by AFAD. In this context, 15-earthquakes of different magnitudes and distances were selected for each 14 stations. Soil dominant frequency and HVSR values were determined from the S-wave windows of earthquakes. Thus, these parameters were also determined from earthquake data, unlike calculations from microtremor data. The study results show high HVSR value (3.9-7.2) at low frequencies (0-2.0 Hz) of some stations. A multiple peak structure was observed. The lowest dominant frequency value as 0.25 Hz and the highest HVSR was 9.10. The results will contribute to earthquake hazard assessment for Eskişehir province, which has a deep sediment basin.

### Keywords

Soil dominant frequency/period, H/V spectral ratio, Strong ground motion, Nakamura method, Eskişehir

### Highlights

- \* Determination of H/V spectral ratio value based on earthquake data
- \* Calculation of average H/V spectral ratio curves
- \* Determination of soil dominant frequency/ period

### Manuscript

Research Article

Received: 13.12.2023

Revised: 29.01.2024

Accepted: 22.02.2024

Printed: 30.06.2024

### DOI

10.46464/tdad.1404352

### Corresponding Author

Kaan Hakan Coban

Email:

h.coban@ktu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Türkiye'nin en önemli ve aktif tektonik yapılarının başında Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gelmektedir. Bu tektonik yapıların oluşmasının kaynağının Anadolu plakasının hareketi kaynaklı olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (McKenzie 1972, Şengör ve diğ. 1985). Bu hareket sonucunda Anadolu plakası sınırları içerisinde yer alan ikincil fay zonları da meydana gelmiştir. Bunların başlıcaları; Orta-Anadolu Fay Zonu, Eskişehir Fay Zonu (Şengör ve diğ. 1985), Tuzgölü Fay Zonu olarak söylenebilir. Eskişehir ve civarı kuzey-güney yönlü sıkışmalar etkisinde kalmıştır. Bunun sonucu olarak bindirme, doğrultu atımlı ve normal fay mekanizmasına sahip fayların olduğu belirlenmiştir (Gözler ve diğ. 1996). Bu fay zonları dolayısıyla Türkiye ve civarının sismik tehlikesi ve deprem üretme potansiyeli yüksektir (Polat ve diğ. 2008, Bayrak ve Bayrak, 2012; Çoban ve Sayıl 2020a, 2020b).

Depremlerin yıkıcı etkilerini arttıran en önemli parametrelerin içinde zemin etkisi yer almaktadır. Aynı büyüklükte aynı uzaklıkta meydana gelen depremlerin yıkıcı etkileri farklılık gösterebilmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri yerel olarak değişebilen zemin yapısıdır. Zemin yapısı aktif veya pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemleriye belirlenebilmektedir. Aktif kaynaklı yöntemlere örnek olarak Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) (Dikmen ve diğ. 2010, Şenkaya ve diğ. 2020), pasif kaynaklı yöntemlere örnek olarak ise (Büyüksaraç ve diğ. 2013, Akın ve Sayıl 2016, Yalçınkaya ve diğ. 2016, Tün ve diğ. 2016, Panzera ve diğ. 2019) verilebilir. Uygulaması kolay ve hızlı olan mikrotremor yöntemi kullanılarak Nakamura yöntemi ile zemin hakim frekansı ve Yatay/Düşey (H/V) spektral oran (zemin büyütme faktörü) belirlenebilmektedir. Ayrıca, ilk 30 metre derinlikteki ortalama S dalga ( $V_{s30}$ ) hızına bağlı zemin sınıfları son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar ile yerel zemin etkisi belirlenmekte ve sismik tehlike/risk çalışmaları yapılmaktadır. Bu bilgiler ışığında deprem zarar azaltma çalışmaları daha güvenilir ve doğru olarak yapılmaktadır.

Literatürde kullanılan H/V spektral oran yöntemi mikrotremor kayıtları üzerinden Nakamura (1989) tarafından tanımlanmıştır. Ancak, araştırmacılar deprem kayıtları üzerinden de Nakamura yönteminin uygulanabileceğini yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir (Lermo ve Chavez-García 1993, Zare ve Bard 2002, Pamuk 2019, Pamuk ve Özer 2020, Aydın ve diğ. 2022, Bayrak 2022). Bunun yanında H/V spektral oran eğrilerinin ters çözümlerle derinliğe bağlı S-dalga ( $V_s$ ) hızı değişimleri hesaplanabilmektedir (Bignardi ve diğ. 2016, Akın 2020, Alkan ve Akkaya 2022).

Çalışma alanının Kuzey Anadolu Fay Zonuna yakınlığının yanı sıra Eskişehir Fay Zonu'nun da üzerinde bulunması araştırma açısından önemini vurgulamaktadır. Eskişehir Fay Zonu ilk olarak Ketin (1968), Şengör ve diğ. (1985) tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra Şaroğlu ve diğ. (2005) Dodurga, Kandilli, İnönü, Osmangazi ve Kaymaz segmentlerini tanımlamıştır. Bu nedenle çalışma alanının sismik tehlikesinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Farklı araştırmacılar tarafından çalışma bölgesinin sismik tehlikesi göz önüne alınarak bölgenin fay sistemi ve zemin özellikleri incelenmiştir. Seyitoğlu ve diğ. (2015) doğrultu atımlı Eskişehir Fay Zonu'nun ana kolunun belirlenmesi için bölgenin depremselliğini incelemiş ve sismik yansıma verileri üzerinden değerlendirmeler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda 1956, 1990, 2010 ve 2013 yıllarındaki sismik olayların merkez üslerinin yeniden konumlandırılması ve odak mekanizması çözümlerine göre Çukurhisar-Sultandere segmentinin 1956 depreminin kırılma kaynağı olabileceği ve Eskişehir için olası bir sismik kaynak olabileceğini belirtmişlerdir. Tün ve Ayday (2018) Eskişehir ilinde alınan veriler üzerinden kayma dalgası hızları ( $V_s$ ) ve CPT verileri arasındaki korelasyonları incelemişlerdir. Tün ve diğ. (2015) Eskişehir ili için yer sarsıntı haritalarını üretmişlerdir. Bu haritaların oluşturulması için ANANET adında Eskişehir ilinde işletilen yerel bir sismik ağdaki verileri kullanmışlardır. Bu veriler ışığında yapıların hasar görülebilirliğini bölgeye özel yer hareketi parametrelerine göre tahmin etmişlerdir. Tün ve diğ. (2016) Eskişehir Havzası'nda deprem tehlikesinin azaltılmasına yönelik arazi kullanım planlamasında kullanılmak üzere ana kaya derinliğini belirlemek ve derinlik/ana kaya oranını

haritalandırmak için Eskişehir Grabeni'ndeki 318 noktada tek istasyon mikrotremor verileri, 9 noktada mikrotremor dizilimi verileri, 6 noktada sismik yansıma verileri, 3 noktada derin sondaj ve 10 noktada sığ sondaj log verileri toplamışlardır. Çalışma sonucunda bölgeye ait ana kaya derinliği için ampirik bir ilişki önermişler ve Eskişehir Havzası'nın kuzeydoğusunda yer alan maksimum 1000 m'lik bir havza derinliğini ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca havzanın, üzerinde düşük kayma dalgası hızı bulunan ince bir yerel sedimanter örtü ile karakterize edildiğini göstermişlerdir. Sert malzemelerin keskin bir hız değişimine neden olduğunu belirtmişlerdir. Yamanaka ve diğ. (2018) Eskişehir için S dalgası hız profillerini ve S dalgası büyütmesini mikrotremor verilerinin faz hızını kullanarak belirlemişlerdir. Bunun için il genelinde bulunan kuvvetli yer hareketi istasyonlarında 1 boyutlu S-dalga hız profillerini belirlemişlerdir. Bu profilleri kullanarak sığ ve derin tortul tabakaların 1-B S dalgası kesitleri üzerinde tartışmalar yapmışlar ve bölgedeki 3 Hz'den daha düşük frekans aralığındaki büyütmenin sığ toprak katmanlarının önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Tün ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada Orta Anadolu'da bir graben çöküntüsü olan Eskişehir Havzası içerisinde yer alan 741 noktada (yerleşim alanının yoğunluğuna bağlı olarak 200 m ve 1000 m değişken aralıklarla) mikrotremor ölçümleriyle zemin büyütmesini ve sediman kalınlığını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda hakim frekansların 0.2-15 Hz arasında olduğunu belirtmişlerdir. Eskişehir grabeni içindeki alüvyon çökeltisini hakim frekans eğrilerindeki üçüncü pikler ile ilişkilendirmişler ve sığ sondaj verileri kullanılarak çökelti kalınlığı ile hakim frekans arasında doğrusal olmayan bir regresyon ilişkisi önermişlerdir. Son olarak alüvyal zeminin 15 m ve daha derin olduğu alanlarda yapısal risk değerlendirmelerinde ana kaya derinliği, yeraltı suyu seviyesi, odaklanma etkisi, rezonans etkisi, Vs30 değeri, zemin sınıfı gibi diğer zemin parametrelerinin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırları içerisinde konumlanan ve AFAD tarafından işletilen 14 kuvvetli yer hareketi istasyonunun farklı zamanlarda kaydettiği depremler kullanılarak, H/V spektral oran (Nakamura) yöntemine göre zemin hakim frekans/periyo ve H/V spektral oran değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda bu 14 istasyonun kaydettiği M > 3.5 deprem verileri içerisinden her istasyon için farklı büyüklük ve uzaklıktaki 15 adet deprem seçilmiştir. Bu deprem kayıtlarının S-dalgası pencerelerinden zemin hakim frekans/periyo ve H/V spektral oran değerleri belirlemek için her depremin H/V spektral eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğrilerin ortalama değerleri alınarak her bir istasyona ait zemin hakim frekans ve H/V spektral oran değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın özgün yaklaşımı ise mikrotremor verileri yanında deprem verileri üzerinden de zemin hakim frekans/periyo ve H/V spektral oran değerlerinin belirlenmesidir. Yapılan bu çalışma sonuçlarının Eskişehir ili için hazırlanacak deprem tehlike değerlendirme ve deprem zarar azaltma çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

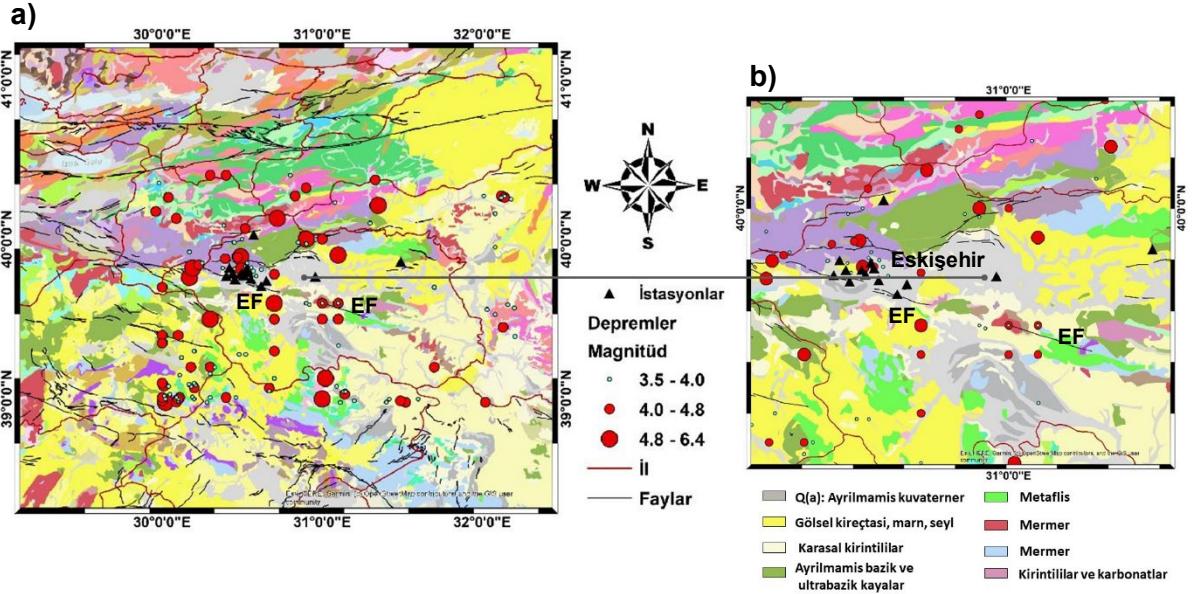
## 2. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye bilindiği gibi Alp Himalaya aktif deprem kuşağında yer almaktadır ve bu kuşağın en önemli aktif tektonik yapılarından ikisi KAFZ ve DAFZ nedeniyle yüksek deprem tehlikesine sahiptir (Le Pichon ve diğ. 2003, Polat ve diğ. 2008, Kinscher ve diğ. 2013, Çoban ve Sayıl 2018; 2020a; 2020b, Öztürk 2018, Alkan 2022, Bayrak ve Coban 2023). Bu aktif tektonik yapılardan biri olan KAFZ'ye olan yakınlığı ve bu sistemini haricinde bölgede bulunan fay sistemleri nedeniyle Eskişehir ilinin de sismik tehlikesi yüksektir.

Eskişehir ilinin kent merkezi ağırlıklı olarak Eskişehir Ovasına konumlanmıştır. Bunun yanında kent merkezinin kuzeyinde ve güneyinde dağlık bölgelerde yerleşim bulunmaktadır. Kentin merkezinde bulunan Eskişehir ovası batıda İnönü Ovası'na ve doğuda Alpu Ovası'na bağlanmaktadır. Eskişehir ilinin güncel morfolojisi Neotektonik dönemde oluşmuş ve morfolojik gelişimi litoloji ve tektonik yapılar tarafından kontrol edilmektedir. Bölge genel olarak Doğu-Batı uzanımlı fayların etkisinde ve aynı yönde uzanan ovalardan oluşmaktadır. Şehrin yaklaşık nüfusu 850000 kişiyi aşmış durumdadır. Ayrıca, Eskişehir hızlı endüstrileşmenin sonucunda yine hızla kentleşen ve göç alan bir ilimizdir. Bu nedenle, şehrin nüfus artışına paralel olarak

yapılaşmanın da hızı artmaktadır. Yeni yerleşim alanlarının hızlı ihtiyacından kaynaklı seçilen yerler, detaylı araştırmalar yapılmadan düşük Vs hızlı, yüksek sıvılaşma potansiyelli alüvyon zeminler olabilmektedir.

Eskişehir ili içerisinde yer alan kaya birimleri yaşlıdan gence doğru; Karkın Formasyonu, Mamuca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Akcay Formasyonu ve Alüvyon birimleridir. Eskişehir ilinin zeminini genel olarak Porsuk Nehri ve Sarısu Deresi'nin getirdiği sedimanlar oluşturmaktadır. Kuvaterner yaşlı Alüvyon içinde kum, silt, çakıl ve killi birimler bulunmaktadır (Altunel ve Barka 1998, Emre ve diğ. 2013, Seyitoğlu ve diğ. 2015). Eskişehir ve civarının genel jeolojik birimleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Eskişehir ili a) Genel jeoloji, tektonik ve depremsellik haritası b) Çalışma alanı yakınlaştırılmış Genel jeoloji, tektonik ve depremsellik haritası (EF; Eskişehir Fayı'nı ifade etmektedir. Faylar ve Jeoloji bilgisi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yerbilimleri harita görüntüleyicisinden sayısallaştırılmıştır (Akbaş ve diğ. 2011, Emre ve diğ. 2013)

Figure 1: Eskişehir province a) General geology, tectonics and seismicity map b) General geology, tectonics and seismicity zoomed map of the study area (EF; refers to the Eskişehir Fault. Faults and Geology information was digitized from the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) Earth Sciences map viewer Akbaş et al. 2011, Emre et al. 2013)

Eskişehir ilinde tektonik hareketler sonucunda bir fay sistemi (zonu) meydana gelmiştir. Bu Eskişehir fay sistemi (zonu) İnönü-Oklubalı-Turgutlar-Sultandere hattı boyunca birbirini takip eden segmentler halinde devam etmektedir (Altunel ve Barka 1998). Üst Kretase ve sonrasında bölge kuzey-güney yönlü sıkışmalar etkisinde kalmış ve doğrultu atımlı faylar özellikle Jura-Üst Kretase döneminde oluşmuştur (Gözler ve diğ. 1996). Diğer taraftan Neojen'de gelişen tektonik olaylar (kuzey-güney yönlü gerilmeler) sonucunda normal faylar (İnönü-Eskişehir-Sivrihisar doğrultusunda) oluşmuştur (Gözler ve diğ. 1996). Ayrıca Eskişehir'den geçen bu fay sisteminin bindirme, doğrultu atımlı ve normal faylar içerdiğine işaret edilmektedir (Gözler ve diğ. 1996).

Çalışma alanında, aletsel dönemde (>1900) meydana gelen en büyük deprem, 20 Şubat 1956 Saat 22:32'de meydana gelen Ms 6.4 büyüklüğündeki depremdir. Bunun yanında, Eskişehir ve civarında 1900'den günümüze orta büyüklükte M >5.0 olan 16 deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin episantr dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.

### 3. VERİ

Çalışma verisi Eşkisehir ilinde AFAD tarafından kurulan ve işletilen 14 kuvvetli yer hareketi istasyonundan alınmıştır (TADAS 2023). Bu istasyonların kaydettiği magnitudü  $M > 3.5$  depremler içerisinde her istasyon için seçilen en çok 15 deprem olmak üzere toplam 195 deprem verisi kullanılmıştır. İstasyonlara ait bilgiler (Enlem, Boylam, Yükseklik, Vs30, Sensör tipi ve Deprem sayısı) detaylı olarak Tablo 1’de verilmiştir.

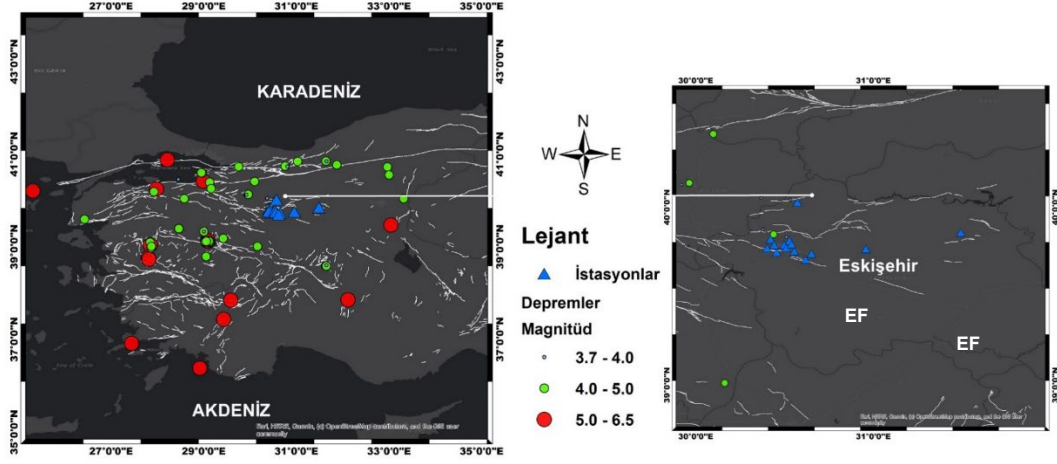
*Tablo 1: Eşkisehir il sınırları içerisinde konumlanan ve çalışmada kullanılan 14 kuvvetli yer hareketi istasyonunun genel bilgileri (TADAS 2023)*

*Table 1: General information of the 14 strong ground motion stations used in the study located within the borders of Eşkisehir province (TADAS 2023)*

Kod	Enlem	Boylam	Yükseklik	Vs30	Sensör	Deprem Sayısı
2601	39.814	30.528	789	237	GURALP CMG-5T	15
2602	39.789	30.497	804	328	GURALP CMG-5T	15
2604	39.773	30.510	770	296	GURALP CMG-5T	15
2606	39.749	30.456	833	348	GURALP CMG-5T	15
2610	39.822	30.422	831		GURALP CMG-5T	15
2611	39.788	30.443	806		GURALP CMG-5T	15
2612	39.771	30.402	836		GURALP CMG-5T	15
2613	39.794	30.540	787		GURALP CMG-5T	15
2614	39.753	30.556	854		GURALP CMG-5T	13
2615	39.740	30.652	815		GURALP CMG-5T	15
2616	39.706	30.619	917		GURALP CMG-5T	15
2617	40.027	30.572	211		SARA ACEBOX SA10	15
2618	39.767	30.958	766		SARA ACEBOX SA10	4
2619	39.859	31.493	1277		SARA ACEBOX SA10	13

Çalışma alanı olarak seçilen Eşkisehir ili sınırları içerisinde secilen kuvvetli yer hareketi istasyonlarının konumları ve her bir istasyon için seçilen  $M > 3.5$  olan depremlerin episantr dağılım ve Şekil 2’ de verilmiştir.

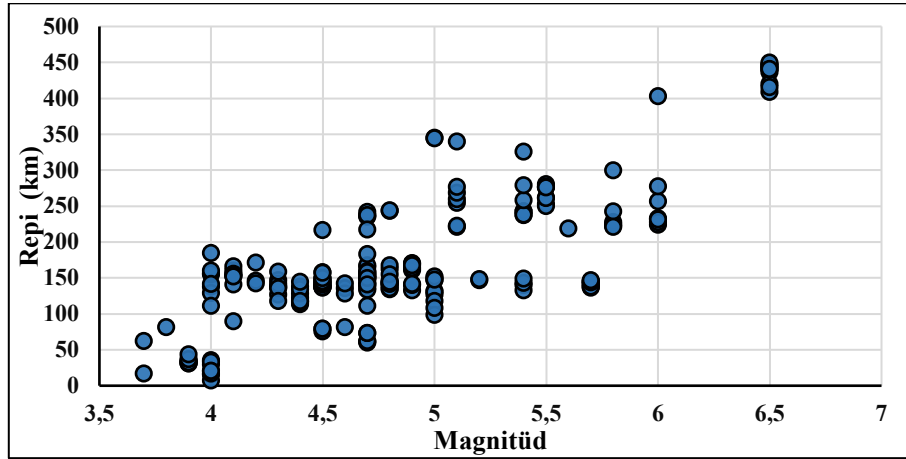




Şekil 2: Seçilen depremlerin episantr dağılımı ve kullanılan kuvvetli yer hareketi istasyonları dağılımı (EF; Eskişehir fayını ifade etmektedir. Faylar Emre ve diğ. (2013)'den sayısallaştırılmıştır. İstasyon konumları TADAS (2023)'den alınmıştır.)

Figure 2: The epicenter distribution of the selected earthquakes and the distribution of the strong motion stations used (EF; refers to the Eskişehir fault. Faults were digitized from Emre et al. (2013). Station locations were taken from TADAS (2023).)

Kullanılan deprem verileri farklı uzaklık ve magnitüd değerlerine göre seçilmiştir. Böylece hem farklı açılardan hem de farklı konum ve magnitüd değerlerine sahip deprem verilerinin kullanılması amaçlanmıştır. Seçilen depremlerin episantr uzaklıkları (Repi) ve magnitüd (Büyükük) arasındaki dağılımları Şekil 3 'te verilmiştir.



Şekil 3: Seçilen depremlerin episantr uzaklıkları (Repi) ve magnitüd (Büyükük) dağılımları  
Figure 3: Epicenter distances (Repi) and magnitude distributions of selected earthquakes

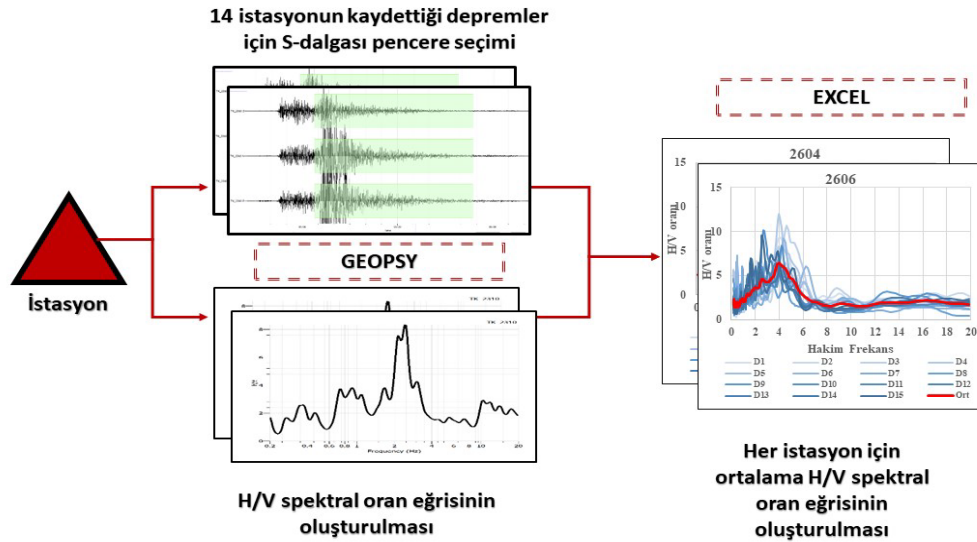
#### 4. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Nakamura (H/V spektral oran) Yöntemi kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu yöntemde, yatay bileşen ile düşey bileşen arasındaki spektral oran, Omori (1908) tarafından yapılan araştırmaya dayanan ve daha da geliştirilen bir yöntem olarak literatürde uygulanmaktadır. Yöntem Nakamura (1989)'nin yaptığı çalışma sonrasında daha geniş bir uygulama alanı kazanmıştır. Yöntemin temel yapısı, Nakamura (1989) tarafından önerilen frekans ortamındaki üç bileşenli mikrotremor kayıtlarının Kuzey-Güney ve Doğu-Batı bileşenlerinin ortalama karekökünün hesaplanmasına ve aynı kaydın tek düşey ile oranlanmasına dayanmaktadır (Denklem 1).

$$HV(w) = \frac{H_S(w)}{V_S(w)} \quad (1)$$

Denklemdede;  $HV(w)$ , H/V spektral oranı;  $H_S(w)$ , yatay bileşenlerin geometrik ortalaması;  $V_S(w)$ , düşey bileşeni ifade etmektedir. Bu yöntem Nakamura (1989) tarafından mikrotremor kayıtlarına uygulanmış olsa da araştırmacılar son yıllarda bu yöntemi kuvvetli yer hareketi kayıtlarına da uygulamışlardır (Di Alessandro ve diğ. 2012, Livaoğlu ve diğ. 2021, Aydın ve diğ. 2022).

Çalışma metodolojisinin uygulaması 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada 14 kuvvetli yer hareketi istasyonunun kaydettiği depremler arasında farklı uzaklık ve magnitüd değerine göre en çok 15 deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen depremler için S-dalga penceresinden bu spektrumlar kullanılarak SEASAME (2004) kriterlerine uygun şekilde GEOPSY yazılımı (Wathelet ve diğ. 2020) ile H/V spektral oranı eğrileri hesaplanmıştır. Bu eğriler hesaplanmadan önce GEOPSY yazılımı ile ham verilere standart veri işleme adımları uygulanmıştır. Öncelikle veriler üzerinden Trend etkisi kaldırılmış ve %5 kosinüs penceresi (Taper) uygulanmıştır. H/V oranının hesaplanması için pencere uzunluğu deprem süresine bağlı olarak 25, 50 veya 100 s olarak seçilmiştir. Ayrıca pencere depremin S-dalgası genliği birkaç saniye öncesinden koda dalgasının sonuna kadar seçilmiştir. Bu işlemlerden sonra deprem verilerinin K-G, D-B ve Z bileşenlerinin genlik spektrumları Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak hesaplanmıştır. Ek olarak spektrumlar Konno ve Ohmachi penceresi ( $b = 40$ ) kullanılarak yuvarlatılmıştır. İkinci aşamada 14 istasyonun her biri için seçilen depremlere göre ortalama H/V spektral oranı eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmanın uygulama metodolojisi ve kullanılan yazılımlar Şekil 4'te verilmiştir.

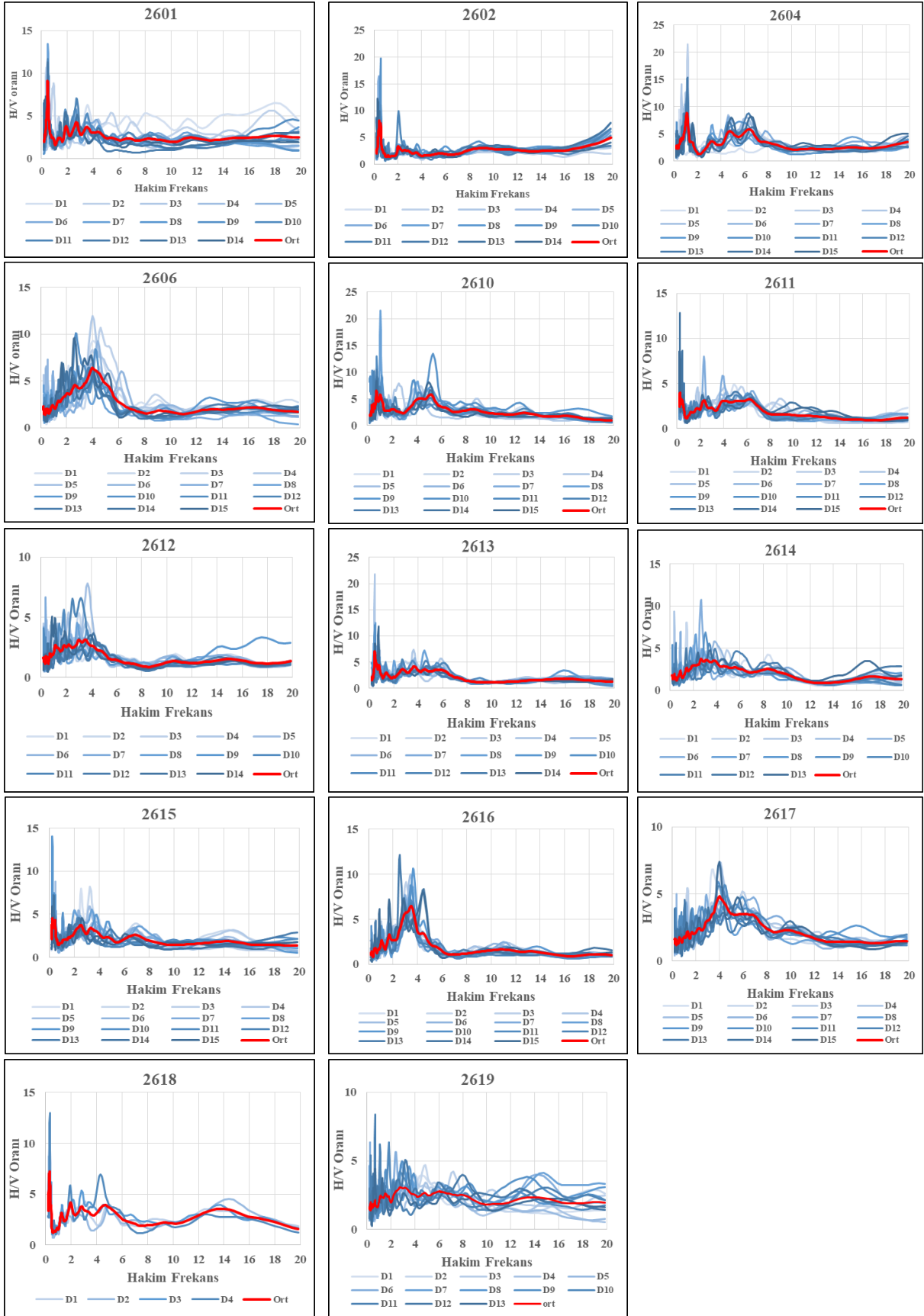


Şekil 4: Çalışma metodolojisi ve uygulama adımları  
Figure 4: Study methodology and application steps

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Eskişehir ili sınırları içerisinde bulunan 14 kuvvetli yer hareketi istasyonunun farklı zamanlarda kaydettiği depremler kullanılarak Nakamura Yöntemine göre oluşturulan H/V spektral oran eğrileri bu bölümde detaylı olarak verilmiş ve değerlendirilmiştir. İstasyon konumlarına göre seçilen en çok 15 deprem verisinin S-dalga penceresine göre belirlenen zemin hakim frekansı ve bu değere karşılık gelen H/V spektral oran değerleri Şekil 5'te verilmiştir.





Şekil 5: İstasyonlara göre zemin hâkim frekansı ve H/V spektral oran değerleri (D; seçilen deprem numarasını, Ort; ortalama ve H/V spektral eğrisini ifade etmektedir.)

Figure 5: Soil dominant frequency and H/V spectral ratio values according to stations (D; refers to the selected earthquake number, Ort; refers to the average H/V spectral curve.)

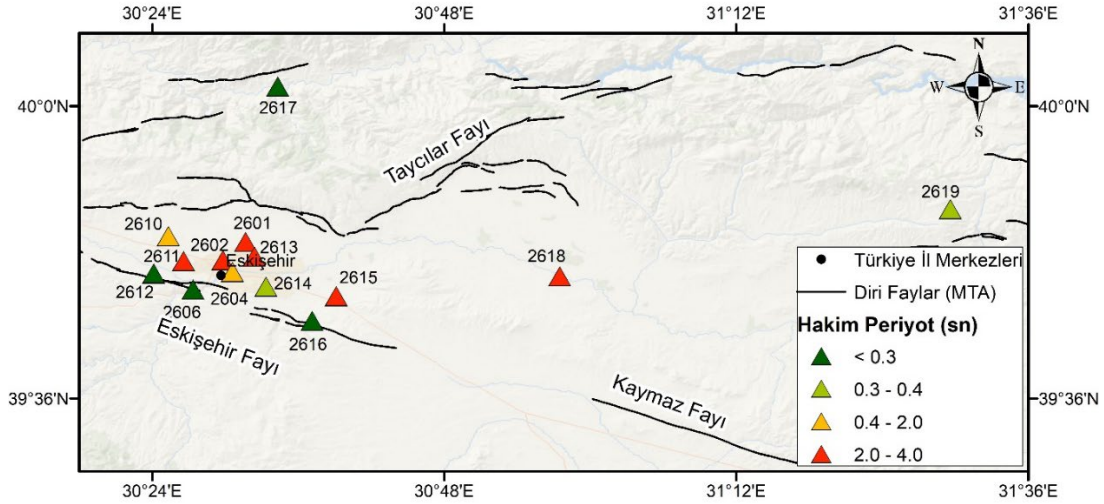
Şekil 5'teki ortalama H/V spektral eğrileri incelendiğinde genel olarak düşük frekans değerlerinde yüksek H/V değerleri gözlenmiştir. Bunun yanında 2606 istasyonunda olduğu gibi yüksek frekans değerlerine karşılık gelen yüksek H/V değerleri de gözlenmektedir. Bu uyumsuzluk, literatürden de bilindiği gibi H/V oranının büyütme değerini yansıtmadığını bir kez daha ortaya koymaktadır (Diagourtas ve diğ. 2002, Rezaei ve diğ. 2020). Ortalama H/V spektral eğrilerinin yapısı incelendiğinde bazı istasyonlarda hakim pikler gözlenirken bazılarında düz (flat) eğriler gözlenmiştir. 2604, 2610, 2615 ve 2618 kodlu istasyonlarda çoklu pik yapısından söz edilebilir. 2606, 2616 ve 2617 kodlu istasyonlarda ise hakim pik yapısından söz edilebilir. Düz eğriler genellikle güçlü bir empedans farkının olmadığı jeolojik birimlerde (örneğin anakaya veya çok derin sedimanlar) gözlenmektedir (Molnar ve diğ. 2015). Çoklu pik yapısının yorumlanması yapılırken, en düşük frekanslı tepe noktası en derin empedans farkından kaynaklanır ve daha yüksek frekanslı tepe noktaları üst örtü içindeki katmanlar arasındaki empedans farkı ile ilgilidir (Mihaylov ve diğ. 2016, Molnar ve diğ. 2022). İstasyonlarda genel olarak 0-6 Hz arasında hakim frekans değerleri ve buna karşın yaklaşık 3-9 arasında maksimum H/V spektral oran değerleri hesaplanmıştır. İstasyonlar için hesaplanan hakim frekans, hakim periyot, maksimum H/V spektral oran değerleri ve Kanai ve Tanaka (1961)'e göre yapılmış zemin sınıflaması Tablo 2'de verilmiştir. Hesaplanan zemin hakim periyotları kullanılarak yapılan zemin sınıflamasında istasyonların önemli bir kısmının zemin türü IV (kalınlığı 30 m'den fazla alüvyon) olarak, diğer istasyonların ise II (kalınlığı 5 m'den az alüvyon) ve III (kalınlığı 5 m'den fazla olan alüvyon) olarak belirlenmiştir.

*Tablo 2: Çalışmada kullanılan istasyonların hakim frekans/periyot, maksimum H/V oranı değerleri ve zemin sınıflaması*

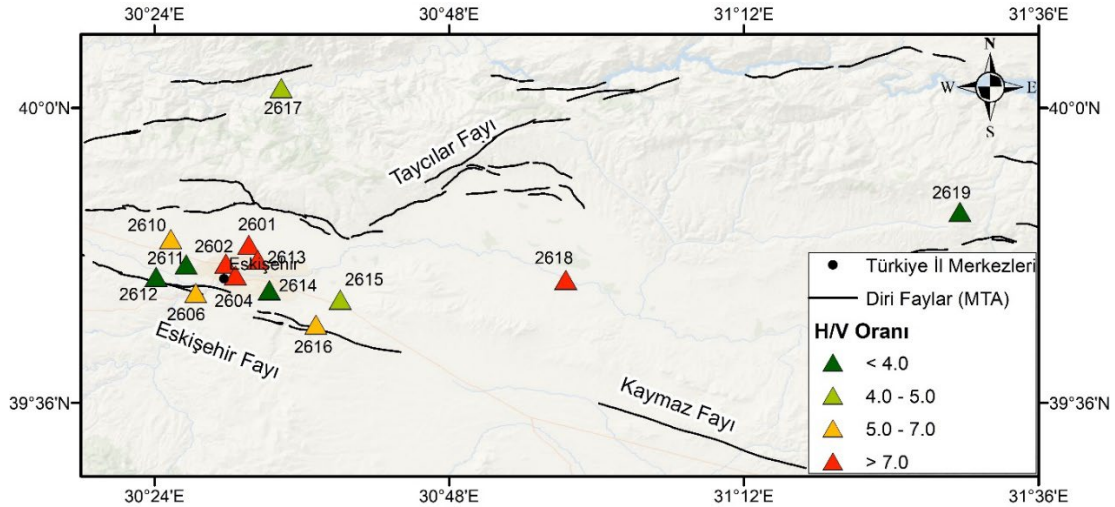
*Table 2: Dominant frequency/period, maximum H/V ratio values and the soil classification of the stations used in the study*

<b>İst. Kodu</b>	<b>Hakim Frekans (Hz)</b>	<b>Hakim Periyot (sn)</b>	<b>Mak. H/V Oranı</b>	<b>Zemin Sınıflaması Kanai ve Tanaka (1961)</b>
2601	0.49	2.04	9.10	IV
2602	0.44	2.27	8.16	IV
2604	1.10	0.91	8.88	IV
2606	3.99	0.25	6.39	II
2610	0.76	1.32	6.53	IV
2611	0.25	4.00	3.98	IV
2612	3.52	0.28	3.12	II
2613	0.44	2.27	7.01	IV
2614	2.69	0.37	3.69	II-III
2615	0.27	3.70	4.53	IV
2616	3.52	0.28	6.45	II
2617	3.99	0.25	4.82	II
2618	0.32	3.13	7.22	IV
2619	2.75	0.36	3.07	II-III

Zemin hakim periyot ve H/V oranı değerlerinin konumsal dağılımı da Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. En düşük zemin hakim periyot değeri 0.25 sn ile 2606 ve 2617 istasyonlarında ve en yüksek hakim periyot değeri 4.00 sn ile 2611 istasyonu için belirlenmiştir. En düşük H/V spektral oran değeri 3.07 ile 2619 istasyonunda ve en yüksek H/V spektral oran değeri 9.10 ile 2601 istasyonu için belirlenmiştir.



Şekil 6: Nakamura yöntemine göre hesaplanan zemin hakim periyot değerlerinin dağılım haritası (Faylar Emre ve diğ. (2013) 'den sayısallaştırılmıştır. İstasyon konumları TADAS (2023) 'ten alınmıştır.)  
Figure 6: Soil dominant period values distribution map calculated according to Nakamura method (Faults were digitized from Emre et al. (2013). Station locations were taken from TADAS (2023).)



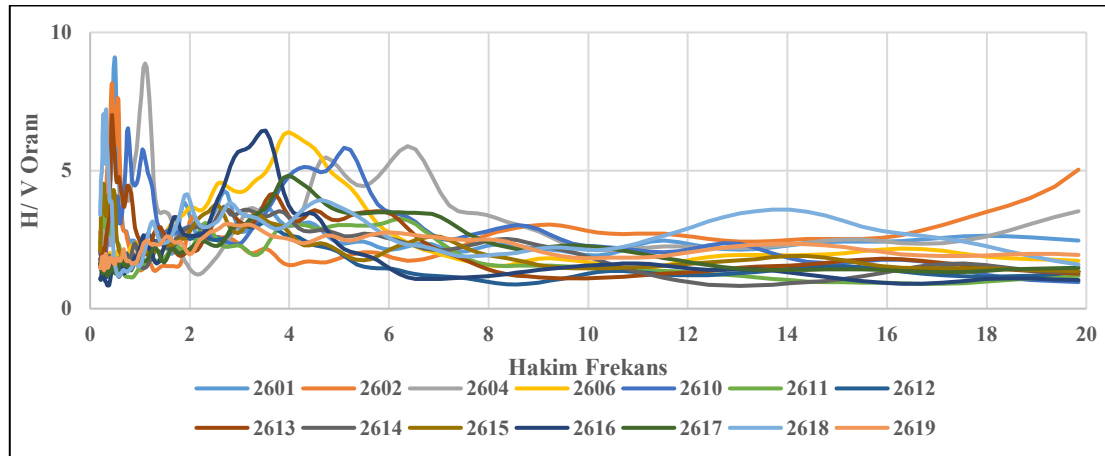
Şekil 7: Nakamura yöntemine göre hesaplanan H/V değerlerinin dağılım haritası (Faylar Emre ve diğ. (2013) 'den sayısallaştırılmıştır. İstasyon konumları TADAS (2023) 'ten alınmıştır.)  
Figure 7: H/V values distribution map calculated according to Nakamura method (Faults were digitized from Emre et al. (2013). Station locations were taken from TADAS(2023).)

Eskişehir il merkezinin konumlandığı alanda bulunan istasyonlar için (2601, 2602, 2604, 2611 ve 2613) daha yüksek zemin hakim periyot değerleri gözlenirken Eskişehir Fayı civarında bulunan istasyonlarda daha düşük değerler gözlenmiştir. Yüksek periyot değeri elde edilen istasyonlarda yüksek H/V oranı değerleri hesaplanmıştır. Düşük zemin hakim periyodunun elde edildiği Eskişehir fay civarında genellikle karbonatlar, marn ve şeyl birimleri gözlenirken yüksek zemin hakim periyot değerlerinin elde edildiği bölgelerde ise alüvyon birimler gözlenmektedir. Tün ve diğ. (2016) mikrotremor ölçümleriyle yaptıkları çalışmada Eskişehir baseninin en derin noktası civarında hakim frekans aralığını 0.23–0.35 Hz olarak bulmuşlardır. Ayrıca 4–8 Hz arasında H/V spektral oran eğrilerinde ikinci bir pik yapısının oluştuğu sonucuna varmışlardır. Çalışmanın sonuçlarında basenin ana kaya derinliğinin 1000 m civarında olduğunu vurgulamışlardır. Havzanın içbükey geometrisi nedeniyle meydana gelebilecek bir deprem sırasında “havza etkisi”nin oluşabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, havzanın, üzerinde düşük kayma dalgası hızı bulunan ince bir yerel sedimanter örtü ile karakterize edildiğini

göstermişlerdir. Tün ve diğ. (2016) çalışmasındaki düşük hakim frekans değerleri bu çalışmada da deprem verileriyle hesaplanan hakim frekans değerlerinde gözlenmiştir. Özellikle çalışmada kullanılan 2602 istasyonu için hesaplanan 0.44 Hz hakim frekans ve 8.16 H/V oran değerinin Tün ve diğ. (2016) çalışmasında elde edilen değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca ikinci pik yapısı da H/V spektral oran eğrilerinde benzer şekilde gözlenmiştir. Yamaka ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada Eskişehir İli'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarında sıg ve derin zemin katmanlarının 1-B S-dalga hız profillerini araştırmıştır. Hesaplamalarında bölgedeki 8 kuvvetli yer hareket istasyonunda mikrotremor dizilimini (SPAC) kullanmışlardır. Havzadaki istasyonlarda düşük hızlı katmanlar tespit etmişlerdir. Yamaka ve diğ. (2018) kuvvetli yer hareketi istasyonlarındaki deprem kayıtlarının S-dalgası pencerelerini kullanarak zemin büyütme faktörlerini hesaplamışlardır. Bu çalışmada özellikle 2613, 2614 ve 2616 istasyonları için hesaplanan H/V oranı değerleri ile Yamaka ve diğ. (2018) tarafından hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Tün ve diğ. (2022) Eskişehir Havzası içerisinde yer alan 741 noktada (yerleşim alanının yoğunluğuna bağlı olarak 200 m ve 1000 m değişken aralıklarla) yaptıkları mikrotremor ölçüleriyle zemin büyütmesini ve sediman kalınlığını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda hakim frekansların 0.2 ile 15 Hz arasında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamız sonucunda istasyon konumlarına göre belirlenen ortalama hakim frekans değer aralıklarının (0.25 – 3.99 Hz) Tün vd. (2022) yaptıkları çalışmada elde ettikleri değer aralığıyla tutarlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, çalışmalarında bahsettikleri H/V spektral oran eğrilerindeki çoklu pik yapısı bu çalışmadaki değerlendirmelerde de elde edilmiştir. Eskişehir Havzasının yapısı, derinliği ve zemin özellikleri farklı yöntemler ile farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Yapılan bu araştırmalar ile bu çalışmada uygulanan deprem kayıtlarından H/V yöntemi sonuçlarının tutarlı olduğu ve saha çalışmalarının zor olduğu fakat kuvvetli yer hareketi istasyonu bulunan alanlarda bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanabilirliği görülmüştür.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada sismik tehlikesi yüksek olan Eskişehir ili sınırları içerisinde konumlanan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (14 istasyon) farklı zamanlarda kaydettiği depremler kullanılarak zemin hakim frekans/periyo değerlerinin ve H/V spektral oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için her bir istasyon için en çok 15 adet farklı magnitüd ( $M > 3.5$ ) ve farklı uzaklıktaki deprem verileri kullanılmıştır. Bu depremlerin H/V spektral oran yöntemine göre zemin hakim frekans/periyo değerleri ve zemin H/V oranı (zemin büyütme faktörü) ve zemin sınıflamaları elde edilmiştir. Elde edilen zemin hakim frekans/periyo ve H/V oranlarının ortalama değerleri hesaplanarak her bir istasyona ait H/V spektral oran eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmada deprem verileri üzerinden elde edilen ortalama hakim frekans ve H/V oranları istasyonlara göre Şekil 8'de detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 8: İstasyonların ortalama hakim frekans değerlerine karşı H/V spektral oran değerleri  
Figure 8: H/V spectral ratio values versus average dominant frequency values of stations

Çalışma sonuçlarına göre bazı istasyonlarda (2601, 2602, 2610, 2611, 2613, 2615 ve 2618 istasyonları) düşük frekans değerlerinde (0-2 Hz arasında) yüksek H/V oran değerleri görülmektedir. Bunun yanında çoklu pik yapısı gösteren H/V spektral oran eğrileri elde edilmiştir. Bazı istasyonlarda yüksek frekans değerlerinde (4-8 Hz arasında) pik yapıları gözlenmektedir. İstasyon bazında en düşük hakim frekans değeri 2611 istasyonunda 0.25 Hz olarak ve en yüksek H/V oranı 9.10 olarak 2601 istasyonu için hesaplanmıştır. Kanai ve Tanaka (1961)'e göre yapılan zemin sınıflamasına göre istasyonların baskın bir şekilde çoğunluğunun zemin türü IV (kalınlığı 30 m'den fazla alüvyon) ve diğer istasyonların ise II (kalınlığı 5 m'den az alüvyon) ve III (kalınlığı 5 m'den fazla olan alüvyon) olarak belirlenmiştir. Türkiye Deprem Tehlikesi Haritasına göre (AFAD 2018) Eskişehir ili için 475 yıllık geri dönüş periyoduna göre beklenen en büyük ivme değerleri 0.2-0.3 g arasında değişmektedir. Fakat yerel zemin koşulları depremin ivmesini önemli derecede arttırarak yapısal hasarlara neden olmaktadır. Eskişehir il merkezinin de genel olarak alüvyon zemin üzerine konumlandırılmış olması, bu çalışma sonucunda elde edilen yüksek zemin hakim periyot ve yüksek H/V oranı değerlerinin yapı tasarım aşamasında dikkate alınması deprem zararlarının azaltılması çalışmalarına faydası olacaktır.

Bu çalışma sonucunda Eskişehir ilindeki sismik tehlikeyi arttıran derin sediman yapısının zemin hakim frekansı ve büyütme faktörünü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, çalışma sonuçları Eskişehir ilinin sismik tehlike ve risk değerlendirme çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Belediyeler başta olmak üzere kamu kurumlarının yapacağı deprem zarar azaltma çalışmalarına altlık bilgi sağlayacaktır. Bunların yanında Eskişehir ili için belirlenecek yeni yerleşim planlaması için katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Deprem verileri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından oluşturulan Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi (TADAS) üzerinden alınmıştır. Faylar ve Jeoloji bilgisi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yerbilimleri harita görüntüleyicisi kullanılarak sayısallaştırılmıştır (Akbaş ve diğ. 2011, Emre ve diğ. 2013, TADAS 2023). Yazarlar editöre, hakemlere ve veri sağlayan kurumlara teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKLAR

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

Akbaş B., Akdeniz N., Aksay A., Altun İ.E., Balcı V., Bilginer E., Bilgiç T., Duru M., Ercan T., Gedik İ., Günay Y., Güven İ.H., Hakyemez H.Y., Konak N., Papak İ., Pehlivan Ş., Sevin M., Şenel M., Tarhan N., Turhan N., Türkecan A., Ulu Ü., Uğuz M.F., Yurtsever A., ve diğ., 2011. 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.

Akın Ö., 2020. Trabzon-Ortahisar İlçesi Güneyindeki Heyelanlı Alanların Zemin Özelliklerinin Aktif ve Pasif Yüzey Dalgası Yöntemleriyle İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 110s., Trabzon.

Akın Ö., Sayil N., 2016. Site characterization using surface wave methods in the Arsin-Trabzon province NE Turkey, *Environ. Earth Sci.*, 75, 72.

Alkan H., 2022. Crustal structure in and around the East Anatolian volcanic belt by using receiver functions stacking. *Journal Of African Earth Sciences*, 191,1-11.

Alkan H., Akkaya İ., 2022. Deprem Kayıtlarından Elde Edilen Yatay/Düşey Spektral Oranların Ters Çözümüyle Kayma Dalga Hız Yapısının Belirlenmesi: Van Gölü Doğusu Örneği. *Van Yüzcü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 233-247.

Altunel E., Barka A., 1998. Neotectonic activity of Eskişehir fault zone between İnönü and Sultandere, *Geological Bulletin of Turkey*, 41(2),41-52.

Aydın U., Pamuk E., Özer C., 2022. Investigation of soil dynamic characteristics at seismic stations using H/V spectral ratio method in Marmara Region, Turkey, *Natural Hazards*, 110(1), 587-606.

Bayrak E., 2022. Investigation of soil dynamic properties using horizontal-to-vertical spectral ratio for Eastern Pontides, Northeast Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 81(21), 514.

Bayrak Y., Bayrak E., 2012. An evaluation of earthquake hazard potential for different regions in Western Anatolia using the historical and instrumental earthquake data. *Pure and Applied Geophysics*, 169(10), 1859-1873.

Bayrak E., Coban K.H., 2023. Evaluation of 08 August 2019 Bozkurt (Denizli-Turkey,  $M_w$  6.0) earthquake in terms of strong ground-motion parameters and Coulomb stress changes, *Environmental Earth Sciences*, 82(20), 470.

Bignardi S., Mantovani A., Zeid N.A., 2016. OpenHVSr: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSr modeling and inversion, *Computers & Geosciences*, 93, 103-113.

Büyüksaraç A., Bektaş Ö., Yılmaz H., Arısoy M.Ö., 2013. Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using microtremor and refraction microtremor (ReMi) measurements, *Journal of Seismology*, 17(2), 425-435.

Çoban K.H., Sayıl N., 2018. Investigation of the seismicity of East Anatolian fault zone (EAFZ) according to Poisson and Exponential distribution models, *Düzce University Journal of Science & Technology*, 6(2), 491-500.

Çoban K.H., Sayıl N., 2020a. Conditional Probabilities of Hellenic Arc Earthquakes Based on Different Distribution Models, *Pure Appl Geophys*, 177, 5133-5145.

Çoban K.H., Sayıl N., 2020b. Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones, *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 971.

Di Alessandro C., Bonilla L.F., Boore D.M., Rovelli A., Scotti O., 2012. Predominant-period site classification for response spectra prediction equations in Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(2), 680-695.

Diagourtas D., Tzanis A., Makropoulos K., 2002. Comparative study of microtremor analysis methods, *Earthquake Microzoning*, 2463-2479.

Dikmen Ü., Arısoy M.Ö., Akkaya İ., 2010. Offset and linear spread geometry in the MASW method, *Journal of Geophysics and Engineering*, 7(2), 211-222.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.



Gözler M.Z., Cevher F., Ergül E., Asutay H.J., 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Rapor No: 9973, 87 s.

Kanai K., Tanaka A.T., 1961. On Microtremors VII, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 39, 97-114.

Ketin İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey, *Bull. Min. Res. Exp.*, 71, 63–67.

Kinscher J., Krüger F., Woith H., Lühr B. G., Hintersberger E., Irmak T.S., Baris S., 2013. Seismotectonics of the Armutlu Peninsula (Marmara Sea, NW Turkey) from geological field observation and regional moment tensor inversion, *Tectonophysics*, 608, 980-995.

Le Pichon X., Chamot-Rooke N., Rangin C., Sengor A.M.C., 2003. The North Anatolian Fault in the Sea of Marmara, *J. Geophys Res.*, 108, 2179.

Lermo J., Chávez-García F.J., 1993. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5), 1574-1594.

Livaoğlu H., Şentürk E., Sertçelik F., 2021. A Comparative Study of Response and Fourier Spectral Ratios on Classifying Sites, *Pure and Applied Geophysics*, 178(5), 1745-1759.

McKenzie D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys J. R. Astr. Soc.*, 30, 109-185.

Mihaylov D., El Naggat M.H., Dineva S., 2016. Separation of high-and low-level ambient noise for HVSR: Application in city conditions for Greater Toronto Area. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(5), 2177-2184.

Molnar S., Ventura C.E., Boroschek R., Archila M., 2015. Site characterization at Chilean strong-motion stations: Comparison of downhole and microtremor shear-wave velocity methods. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 79, 22-35.

Molnar S., Sirohey A., Assaf J., Bard P.Y., Castellaro S., Cornou C., Cox B., Guillier B., Hassani B., Kawase H., Matsushima S., Sanchez-Sesma F.J., Yong A., 2022. A review of the microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVSR) method, *Journal of Seismology*, 26, 653-685, <https://doi.org/10.1007/s10950-021-10062-9>.

Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst.*, 30(1), 25-33.

Omori F., 1908. On micro-tremors, *Bull. Earth Inv. Com.*, 2(I-II), 1-6.

Öztürk S., 2018. Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian Region of Turkey: seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value, *Front Earth Sci.*, 12, 215-236.

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).

Pamuk E., Özer C., 2020. The Site Effect Investigation with Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio Method on Earthquake Data, South of Turkey, *Geotecton.*, 54, 563-576.

Panzeria F., Romagnoli G., Tortorici G., D'Amico S., Rizza M., Catalano S., 2019. Integrated use of ambient vibrations and geological methods for seismic microzonation, *Journal of Applied Geophysics*, 170, 103820.

Polat O., Gök E., Yılmaz D., 2008. Earthquake hazard of Aegean Extension Region, Turkey, *Turk. J. Earth Sci.*, 17, 593-614.

Rezaei S., Shooshpasha I., Rezaei H., 2020. Evaluation of ground dynamic characteristics using ambient noise measurements in a landslide area. *Bull. of Eng. Geo. and the Env.*, 79, 1749-1763.

SESAME WP12, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations-Measurements, processing and interpretation, SESAME European research project, Deliverable D23. 12., Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME, 62 pp.

Seyitoğlu G., Ecevitoglu G.B., Kaypak B., Güney Y., Tün M., Esat K., Avdan U., Temel A., Çabuk A., Telsiz S., Aldaş G.G.U., 2015. Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies, *Turk. J. Earth Sci*, 24(1), 1-20, <https://doi.org/10.3906/yer-1406-5>.

Şaroğlu F., Emre Ö., Doğan A., Yıldırım C., 2005. Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Potansiyeli, Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalışmayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, Eskişehir, 11-11.

Şengör A.M.C., Görür N., Şaroğlu F., 1985. Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle KT, Christie-Blick N, editors. Strike- Slip Faulting and Basin Formation. Tulsa, OK, USA: SEPM, pp.227–264.

Şenkaya M., Karslı H., Socco L.V., Foti S., 2020. Obtaining reliable S-wave velocity depth profile by joint inversion of geophysical data: the combination of active surface-wave, seismic refraction and electric sounding data, *Near Surface Geophysics*, 18(6), 659-682.

TADAS, 2023. Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Erişim adresi: <https://tadas.afad.gov.tr/login>.

Tün M., Ayday C., 2018. Investigation of correlations between shear wave velocities and CPT data: a case study at Eskişehir in Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77, 225-236.

Tün M., Pekkan E., Tunc S., 2015. Yer Sarsıntı Haritalarının Üretilmesinde Sismik Ağ Yapısı: Eskişehir Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 1-14.

Tün M., Pekkan E., Özel O., Güney Y., 2016. An investigation into the bedrock depth in the Eskişehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method. *Geophysical Journal International*, 207(1), 589-607.

Tün M., Pekkan E., Mutlu S., 2022. The depth of alluvial sediments and subsurface profiling along the Eskişehir Basin in Central Turkey using microtremor observations, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 81.

Wathelet M., Chatelain J.L., Cornou C., Giulio G.D., Guillier B., Ohrnberger M., Savvaidis A., 2020. Geopsy: A user-friendly open-source tool set for ambient vibration processing, *Seismological Research Letters*, 91(3), 1878-1889.

Yalçinkaya E., Alp H., Özel O., Görgün E., Martino S., Lenti L., Coccia S., 2016. Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey, *Journal of Applied Geophysics*, 134:23-35.

Yamanaka H., Özmen Ö.T., Chimoto K., Alkan M.A., Tün M., Pekkan E., Özel O., Polat O.D., Nurlu M., 2018. Exploration of S-wave velocity profiles at strong motion stations in Eskisehir, Turkey, using microtremor phase velocity and S-wave amplification, *Journal of Seismology*, 22, 1127-1137.

Zare M., Bard P.Y., 2002. Strong motion dataset of Turkey: data processing and site classification, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(8), 703-718.

### **ARAŞTIRMA VERİSİ** (*Research Data*)

Çalışma verisi Eşkisehir ilinde AFAD tarafından kurulan ve işletilen 14 kuvvetli yer hareketi istasyonundan alınmıştır (TADAS 2023). Bu istasyonların kaydettiği toplam 195 deprem verisi kullanılmıştır (TADAS 2023).

### **ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ** (*Conflict of Interest / Relationship*)

Makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI** (*Author Contributions*)

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